

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

Sborník příspěvků



Pasohlávky | 8.–9. října 2024

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. Dušan Jandačka, Ph.D. (Žilinská univerzita v Žiline)

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

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

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

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

Organizační výbor CDV:

Ing. Vilma Jandová, Ing. Iveta Pešková, Ing. Vítězslav Křivánek, Ph.D.,

Mgr. Ivo Dostál, Ph.D., 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., XI. česko-slovenská konference „Doprava, zdraví a životní prostředí“. Pasohlávky, 8. – 9.10. 2024. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2024, 183 s. ISBN 978-80-88655-33-6 (online, pdf)

© Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2024

ISBN 978-80-88655-33-6 (online, pdf)

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

Sborník příspěvků

📍 **Pasohlávky | 8.–9. října 2024**

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



Ministerstvo dopravy



MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ
ČESKÉ REPUBLIKY

Ministerstvo životního prostředí

Obsah sborníku

Vnímání kvality ovzduší obyvateli Jihomoravského kraje Vilém Pařil, Dominika Tóthová, Ondřej Mikeš	6
Monitoring kvality ovzduší v malých sídlech Jihomoravského kraje s lokálními topeništi pomocí senzorů Ondřej Mikeš, Pavel Čupr, Roman Prokeš, Jakub Vinkler, Ondřej Letocha, Simona Šatková, Dominika Tóthová, Vilém Pařil	8
Akční plán zlepšování kvality ovzduší Jihomoravského kraje Tomáš Helán, Daniela Fogašová, Jakub Bucek	11
Kvalita ovzduší v zóně Jihovýchod Radek Vít, Roman Ličbinský, Vilma Jandová, Jiří Huzlík, Karel Effenberger	20
Senzorická sieť kvality ovzdušia v mestskom prostredí – projekt REMoT Dušan Jandačka, Daniela Ďurčanská, Marek Drličiak, Michal Cingel	31
Monitorování vlivu lokálních topenišť na kvalitu ovzduší na Křivoklátsku Ondřej Svačina, Pavel Chaloupecký	42
Úspory emisí NO_x v silniční dopravě, dosažitelné pomocí aplikace finančních nástrojů v roce 2030 Leoš Pelikán, Libor Špička, Vojtěch Máca, Milan Ščasný, Petr David, Břetislav Andrlík, Anna Tišlerová	53
Resuspenze částic v městském prostředí: vyhodnocení dlouhodobých dat, detailní výpočtové modelování Jiří Pospíšil, Klaudia Köbölóvá, Jakub Linda	59
Aktualizace metodiky rozdělení trakční spotřeby nafty v železniční dopravě po krajích ČR Leoš Pelikán, Ivo Dostál, Zuzana Kačmárová, Anna Tišlerová	70
Výskyt impulzů u hluk z dopravy David Kresl, Dana Potužníková, Tomáš Hellmuth	79
Ochrana životního prostředí v rámci ŘSD Radek Kropelnický a kolektiv	86
Systém na stanovení koeficientů hlučnosti povrchů v České republice pro metodiku CNOSSOS-EU Filip Fikejz, Libor Ládyš, Martin Ládyš	88
Navržený způsob hodnocení hlučnosti povrchů vozovek pozemních komunikací Vítězslav Křivánek, Jan Machanec, Blanka Hablovičová, Petra Marková, Josef Stryk	99

UAM – městská vzdušná mobilita	106
Tomáš Hellmuth, Dana Potužníková, David Kresl	
Útlum hluku z dopravy vegetací – projekt ACUVEG	110
Blanka Hablovičová	
Čistota vodíku – důležitý parametr v dopravě	119
Karel Borovec a kolektiv	
Strategie pro dekarbonizaci dopravy v Česku	121
Jan Mertl	
Vliv chyb v dopravních modelech na enviromentální modelování	128
David Hrubý, Zdeněk Hejkal, Anna Tišlerová	
Doprava, zdraví a životní prostředí v primárním a preprimárním vzdělávání	134
Petr Anděl	
Teplotní poměry parkovišť	140
Jaroslav Rožnovský	
Zkušenosti se zpracováním dokumentace k prověřování z hlediska klimatického dopadu projektů dopravní infrastruktury	148
Jiří Jedlička, Hana Trávníčková, Richard Fleischer, Petr Klimeš, Martin Vokřál	
Indikátor dynamiky fragmentace krajiny	161
Petr Anděl, Ivo Dostál, Zdeněk Hejkal	
25 let ekoduktů v České republice	173
Ivo Dostál	

Vnímání kvality ovzduší obyvateli Jihomoravského kraje

Vilém Pařil¹, Dominika Tóthová¹, Ondřej Mikeš²

¹*Katedra regionální ekonomie, Ekonomicko-správní fakulta, Masarykova univerzita
Lipová 41a, 602 00 Brno*

²*RECETOX, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita
Kotlářská 2, 61137 Brno*

e-mail: Vilem.Paril@econ.muni.cz

Abstrakt:

Tento článek se věnuje subjektivnímu vnímání kvality ovzduší obyvatelstvem Jihomoravského kraje jako nejen ukazatele čistého životního prostředí ve svém okolí, ale i jako předpokladu dobrého zdravotního vztahu obyvatel samotných či dokonce jejich vlastních dětí. Cílem příspěvku je identifikovat povědomí obyvatel o významu kvality ovzduší a jeho dopadech v případě určitého znečištění s ohledem na zachycení možné změny tohoto vnímání při určité informační kampani či intervenci. Rozlišeno je také vnímání této kvality ve vztahu k sobě samému, ke svému okolí či ke svým dětem, což umožňuje zachytit změnu vnímání obyvatel ve vztahu k nejcitlivěji vnímaným členům jejich rodin. V rámci výzkumu byla realizována tři dotazníková šetření v několika po sobě jdoucích vlnách. Nejprve byly zjišťovány obecné postoje a možnosti změny chování domácností ve vztahu ke globálním změnám životního prostředí, a to na vzorku 205 domácností z 8 obcí metropolitního zázemí města Brna. Dále byly zjišťovány detailní návyky indoorových i outdoorových aktivit ovlivňujících kvalitu ovzduší v jejich bezprostředním okolí, a to na vzorku 339 obyvatel ze 6 obcí Jihomoravského kraje a dalších 172 obyvatel ze dvou městských částí města Brna. V posledním dotazníkovém šetření bylo zjišťováno vnímání kvality ovzduší, včetně zachycení vlivu jednotlivých aktivit, ve vztahu ke zdraví vlastních dětí, a to na vzorku 122 dětí a jejich rodičů, kteří se zúčastnili i měřicí kampaně a byly před druhou vlnou dotazníkového šetření intervenováni detailní informační kampaní, a dále na vzorku dalších 160 rodičů a jejich dětí, kteří tvoří kontrolní skupinu a této kampaně se nezúčastnili.

Perception of air quality by inhabitants in the South Moravian Region

Vilém Pařil¹, Dominika Tóthová¹, Ondřej Mikeš²

¹*Department of Regional Economics, Faculty of Economics and Administration,
Masaryk University*

Lipová 41a, 602 00 Brno, Czech Republic

²*RECETOX, Faculty of Science, Masaryk University*

Kotlářská 2, 61137 Brno, Czech Republic

e-mail: Vilem.Paril@econ.muni.cz

Abstract:

This article focuses on the subjective perception of air quality by the population of the South Moravian Region as an indicator of a clean environment in its surroundings and a prerequisite for the healthy life of the inhabitants themselves or even their children. The paper aims to identify the residents' awareness of the importance of air quality and its impacts in the case of inevitable pollution to capture possible changes in this perception during a particular information campaign or intervention. It also distinguishes the perception of this quality about oneself, one's surroundings, and one's children, which makes it possible to capture the change in residents' perception concerning the most sensitive members of their families. The research involved three questionnaire surveys in several successive waves. First, general attitudes and possibilities of changing household behaviour to global environmental changes were surveyed on a sample of 205 households from 8 municipalities in the metropolitan hinterland of Brno. Next, the detailed habits of indoor and outdoor activities affecting the air quality in their immediate surroundings were investigated in a sample of 339 inhabitants from 6 municipalities of the South Moravian Region and another 172 inhabitants from two urban districts of Brno. In the last questionnaire survey, the perception of air quality, including the perceived impact of individual activities concerning the health of their children, was measured in a sample of 122 children and their parents who also participated in the measurement campaign and were intervened with a detailed information campaign before the second wave of the questionnaire survey, and in a sample of another 160 parents and their children who formed the control group and did not participate in the campaign.

Monitoring kvality ovzduší v malých sídlech Jihomoravského kraje s lokálními topeništi pomocí senzorů

Ondřej Mikeš¹, Pavel Čupr¹, Roman Prokeš¹, Jakub Vinkler¹, Ondřej Letocha¹,
Simona Šatková¹, Dominika Tóthová², Vilém Pařil²

¹RECETOX, Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita
Kotlářská 2, 61 137 Brno

²Katedra regionální ekonomie, Ekonomicko-správní fakulta, Masarykova Univerzita,
Lipová 41a, 602 00 Brno

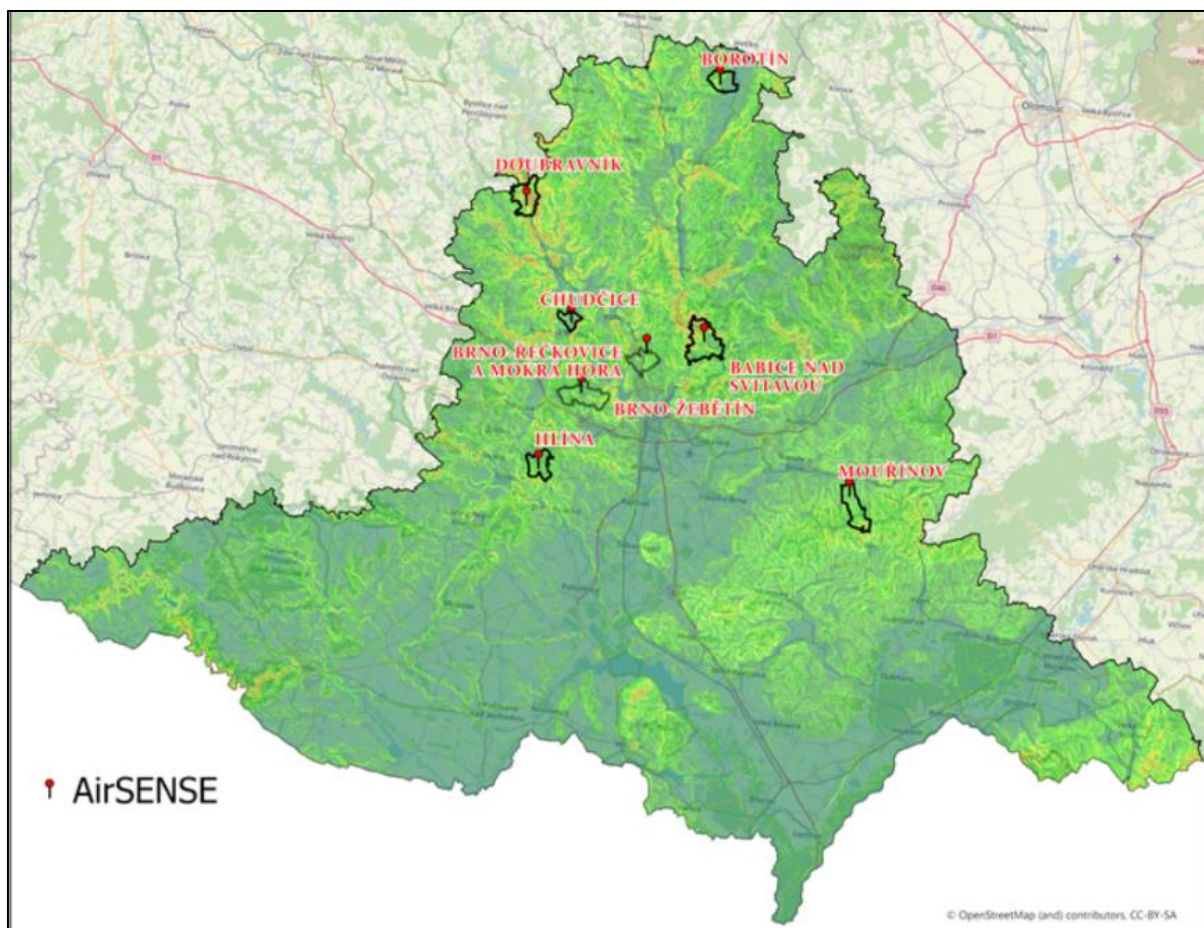
email: ondrej.mikes@recetox.mnui.cz

Abstrakt

Projekt AIRSENS, zaměřený na monitoring kvality ovzduší v malých sídlech Jihomoravského kraje a ve dvou městských částech Brna, se zabýval problémem znečištění ovzduší spojeného s lokálním vytápěním domácností. Lokální topeniště, především zastaralé a neudržované kotle na tuhá paliva, představují významný zdroj emisí škodlivých látek, včetně polycyklických aromatických uhlovodíků (PAHs), z nichž některé jsou prokázány jako karcinogeny. Cílem projektu bylo využít moderní senzorovou technologii k měření znečištění a vyhodnotit tak možný vliv lokálního vytápění na kvalitu ovzduší.

V šesti obcích Jihomoravského kraje a v Brně probíhalo měření během topné sezóny. Senzorová technika, doplněná akreditovanými odběry prachových částic, poskytla přesná data o přítomnosti PAHs. Kromě toho byly použity meteorologické senzory k zaznamenání směru a rychlosti větru, teploty a vlhkosti, které pomohly zpřesnit výsledky měření a analyzovat prostorové souvislosti znečištění.

Klíčovým přínosem projektu bylo ukázání praktického využití „nízkonákladových“ senzorů v monitoringu lokálního znečištění. Tyto senzory byly instalovány na více lokalitách v každé obci, což umožnilo vytvořit poměrně hustou měřicí síť. Výsledky ukázaly, že ve dvou obcích s vyšším podílem pevných paliv a složitějším terénem byl pravděpodobně překročen limit pro suspendované částice PM_{2.5}, což naznačuje nutnost opatření ke snížení emisí. Zvýšené koncentrace v daných lokalitách byly měřeny také pro PAHs, což jen podtrhuje významný vliv lokálních topenišť, jež jsou jejich hlavní zdrojem. Kolokace senzorů poukázala na nutnost časté kalibrace a identifikace odlehle měřících zařízení a dále na opatrnost při měření větších aerosolových frakcí.



Air quality monitoring in small settlements of the South Moravian Region with local heating systems using sensors

**Ondřej Mikeš¹, Pavel Čupr¹, Roman Prokeš¹, Jakub Vinkler¹, Ondřej Letocha¹,
Simona Šátková¹, Dominika Tóthová², Vilém Pařil²**

¹RECETOX, Faculty of Science, Masaryk University

Kotlářská 2, Brno 61137, Czech Republic

*²Department of Regional Economics, Faculty of Economics and Administration,
Masaryk University*

Lipová 41a, Brno-Pisárky 602 00, Czech Republic

email: ondrej.mikes@recetox.mnui.cz

Abstract

The AIRSENS project, focused on air quality monitoring in small settlements of the South Moravian Region and in two urban districts of Brno, addressed the problem of air pollution associated with local heating of households. Local heating systems, especially outdated and unmaintained solid fuel boilers, are a significant source of emissions of harmful substances, including polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), some of which are proven carcinogens. The aim of the project was to use modern sensor technologies to measure pollution and assess the potential impact of local heating on air quality.

Measurements were carried out in six municipalities in the South Moravian Region and in Brno during the heating season. The sensor technology, complemented by accredited dust particle sampling, provided accurate data on the presence of PAHs. In addition, meteorological sensors were used to record wind direction and speed, temperature and humidity, which helped to refine the measurement results and analyse the spatial context of pollution.

A key contribution of the project was to demonstrate the practical application of "low-cost" sensors in local pollution monitoring. These sensors were installed at multiple locations in each municipality, allowing for a relatively dense measurement network. The results showed that in two municipalities with a higher proportion of solid fuels and more difficult terrain, the limit for suspended PM_{2.5} was potentially exceeded, indicating the need for emission reduction measures. Elevated concentrations were also measured for PAHs in the localities, underlining the significant influence of small boilers used for local heating, which are the main source of these pollutants. The collocation of sensors highlighted the need for frequent calibration and identification of remote measuring devices, as well as caution when measuring larger aerosol fractions.

Akční plán zlepšování kvality ovzduší Jihomoravského kraje

Tomáš Helán¹, Daniela Fogašová², Jakub Bucek²

¹Jihomoravský kraj

Žerotínovo nám. 449/3, 601 82 Brno

²Bucek, s.r.o.

Libušino údolí 497/118 Brno 62300

e-mail: helan.tomas@jmk.cz

Abstrakt

Základním cílem Akčního plánu zlepšování kvality ovzduší Jihomoravského kraje (dále jen „akční plán“) je snížení znečištění ovzduší pod zákonem stanovené roční imisní limity na území cílových obcí a celého kraje a zajišťování zlepšování nebo alespoň udržení stávající kvality ovzduší i při budoucím rozvoji území.

Akční plán má sloužit primárně Jihomoravskému kraji a jeho orgánům. Součástí akčního plánu jsou však i opatření realizovatelná ze strany měst a obcí, které jsou akčním plánem pro obce Jihomoravského kraje doporučeny. Akční plán obsahuje 2 druhy opatření:

- opatření v působnosti Jihomoravského kraje a jeho orgánů,
 - opatření v působnosti měst a obcí a jejich orgánů (jedná se o doporučená opatření, u kterých Jihomoravský kraj v případě žádosti metodicky povede jejich implementaci).
- Opatření pro Jihomoravský kraj jsou členěna do 3 základních skupin, podle oblastí, na kterou cílí (průmysl, energetika a zemědělství; doprava; osvětová, informační a poradenská činnost). Součástí popisu opatření je i jeho časové vymezení. Součástí akčního plánu jsou i opatření, která nemají přímý efekt na zlepšení kvality ovzduší, vytváří však podmínky pro následné snižování emisí. Jedná se především o opatření osvětového charakteru. Samotné snižování emisí je pak důsledkem změny chování soukromého sektoru nebo veřejnosti, která je následkem provedení opatření.

1. Analytická část

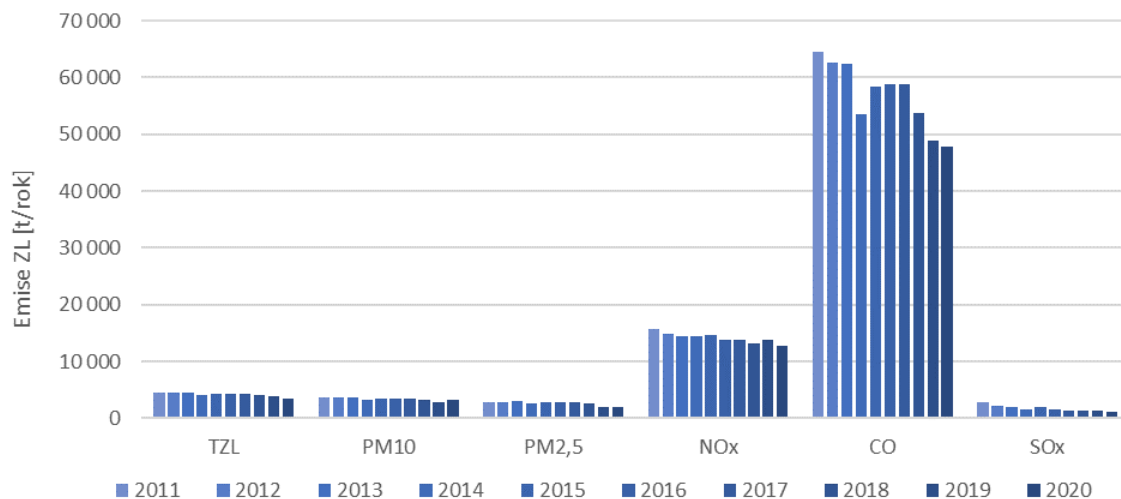
1.1. Zdroje znečišťování ovzduší na území kraje - emisní bilance

Souhrnné emise znečišťujících látek ze zdrojů znečišťování ovzduší na území Jihomoravského kraje vykazují z dlouhodobého hlediska (od roku 2005) obecně klesající trend. Největší pokles byl evidován u emisí SO₂ o 76,4 %. V roce 2021 meziročně došlo k nárůstu emisí všech sledovaných látek kromě SO₂ a PM₁₀, což je způsobeno především nízkými emisemi v roce 2020 vlivem opatření v rámci pandemie covid-19. Největší meziroční nárůst byl u emisí CO o 9,9 %. Celkové emise znečišťujících látek do ovzduší na plochu území v Jihomoravském kraji v roce 2021 dosahovaly podprůměrných hodnot vzhledem k ostatním krajům, podobně jako v předchozích letech. Jihomoravský kraj má nejméně emisí SO₂ v přepočtu na plochu území ze všech krajů.

Znečištění ovzduší v Jihomoravském kraji v roce 2021 ovlivňovaly především malé stacionární zdroje emisí, a také doprava začíná mít stále výraznější vliv (hlavně v aglomeraci Brno a v blízkosti dálničních tahů). Emise CO pocházely převážně z lokálního vytápění domácností, stejně jako emise PM₁₀ a PM_{2,5}. Emise NO_x byly emitovány převážně mobilními zdroji. V případě emisí SO₂ byly producentem velké

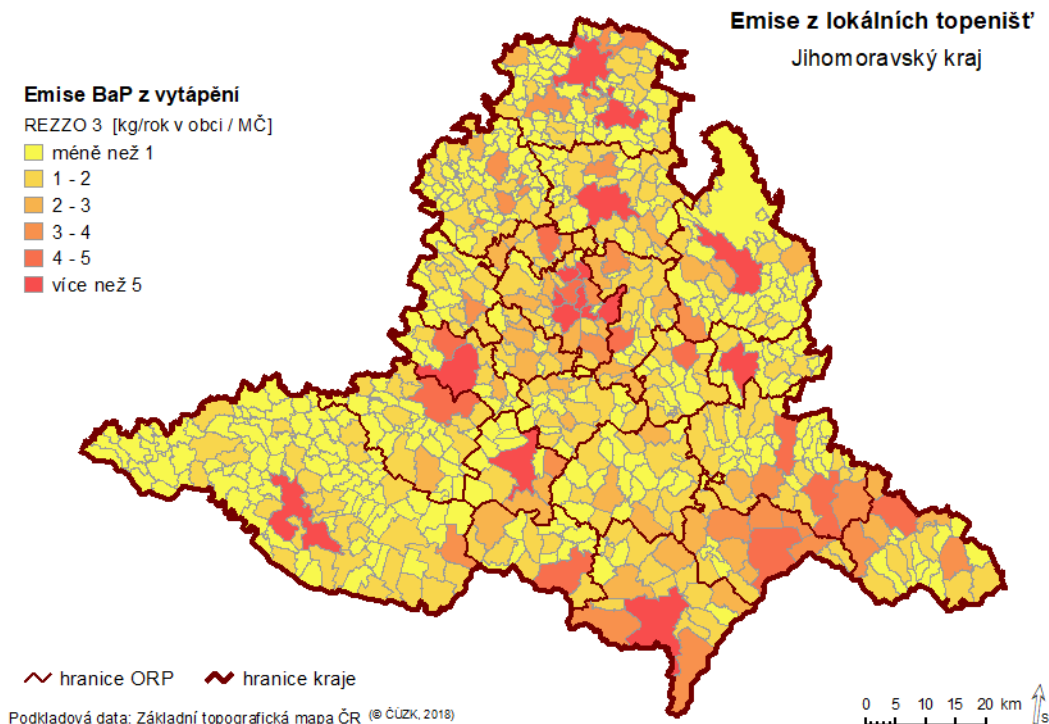
zdroje znečišťování, kam se zahrnuje hlavně výroba elektřiny a tepla. Poměr zdrojů emisí základních znečišťujících látek se ve sledovaném období 2005–2021 příliš neměnil. Výjimkou jsou emise SO_2 , kde podíl velkých zdrojů výrazně klesl, což je dáno především přechodem významných uhelných zdrojů na zemní plyn. Je evidentní také nárůst emisí NO_x z malých stacionárních zdrojů (lokální vytápění, zemědělské a stavební činnosti, aplikace hnojiv).

Obr. 1. Vývoj celkových emisí znečišťujících látek, Jihomoravský kraj, 2011–2020



Source: [1]

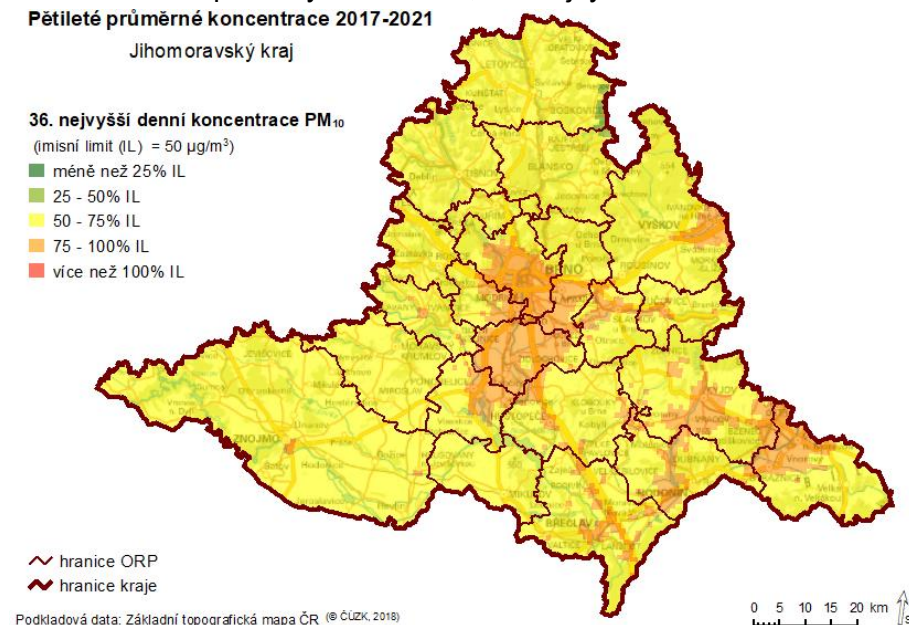
Obr. 2. Celkové emise BaP z lokálních topenišť (REZZO 3) na území obce nebo městské části



1.2. Kvalita ovzduší na území kraje – imisní charakteristika

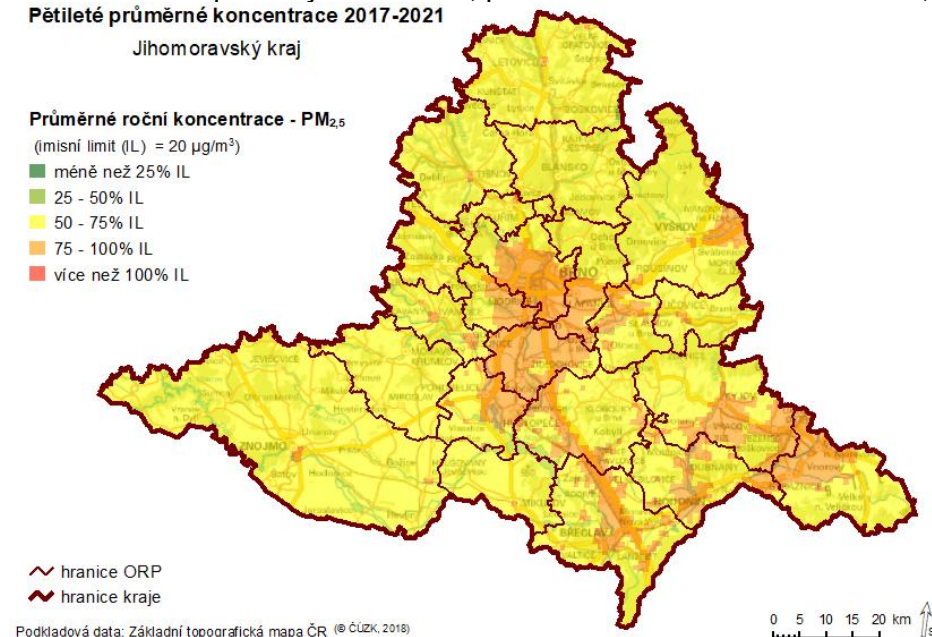
Dle analýzy kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v roce 2021 nebyl imisní limit $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na území kraje překročen. Na pouze necelých 4 % území JMK byly dle modelu průměrné roční koncentrace částic PM_{10} nad $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avšak nižší než $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedná se například o jižní část a centrum Brna, dále oblast v těsné blízkosti od Brna směrem na východ.

Obr. 3. Pětileté průměry 2017-2021, 36. nejvyšší denní koncentrace PM_{10} , Jihomoravský kraj



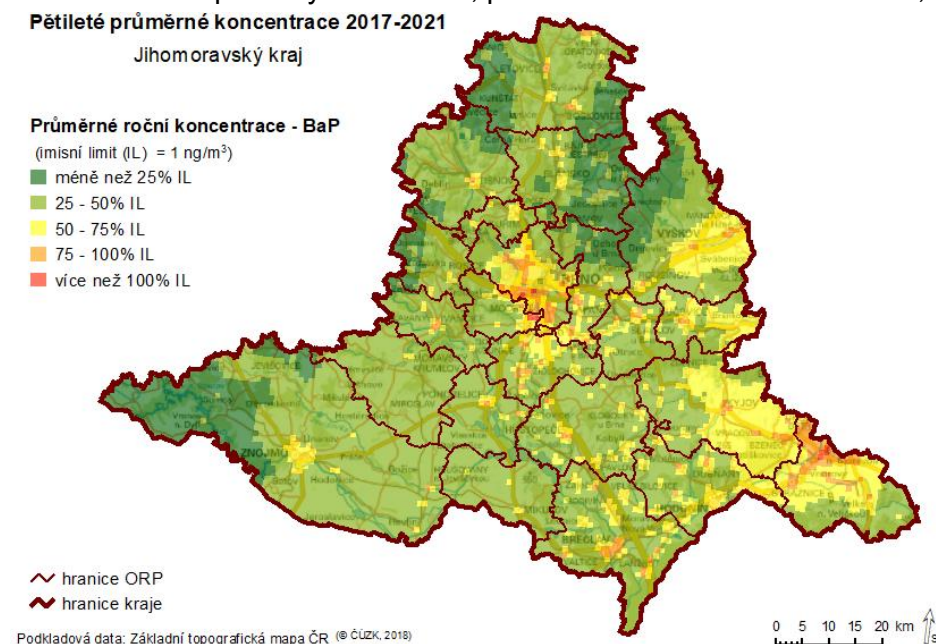
Dle analýzy kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v roce 2021 byly průměrné roční koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ na více než 40 % území (převážně v okrajových částech) nižší než $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hodnota imisního limitu $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zde dle modelového hodnocení průměrných ročních koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ v roce 2021 překročena nebyla.

Obr. 4. Pětileté průměry 2017-2021, průměrné roční koncentrace $\text{PM}_{2,5}$, Jihomoravský kraj



Průměrné roční koncentrace škodliviny BaP, stanovené jako 5-letý průměr za období let 2017-2021, se na území Jihomoravského kraje pohybují na úrovni 0,1 – 1,2 ng/m³, tedy na úrovni do 120 % imisního limitu. Imisní limit 1 ng/m³ pro průměrné roční koncentrace BaP je na území kraje překročen lokálně v oblasti Brna a jeho okolí (město Modřice) a v jihovýchodní části kraje (město Veselí nad Moravou). V ostatních lokalitách kraje jsou průměrné roční koncentrace BaP pod úrovní imisního limitu. Mírně vyšší koncentrace (nad úrovní 90 % IL) jsou dle tohoto způsobu hodnocení lokálně také v oblasti měst a obcí Moravany, Moravský Písek, Rajhrad, Slavkov u Brna, Strážnice a Vnorovy.

Obr. 5. Pětileté průměry 2017-2021, průměrné roční koncentrace BaP, Jihomoravský kraj



Z provedené analýzy kvality ovzduší na území Jihomoravského kraje vyplývá:

- Dle pětiletých průměrných koncentrací za období 2017-2021 je na území Jihomoravského kraje překročen imisní limit pro průměrné roční koncentrace BaP, a to lokálně v oblasti Brna a jeho okolí (město Modřice) a v jihovýchodní části kraje (město Veselí nad Moravou). Ostatní znečišťující látky jsou dle pětiletých průměrných koncentrací za období 2017-2021 na území celého kraje pod úrovní příslušných imisních limitů.

- V roce 2021 bylo jako oblast s překročením imisních limitů na území Jihomoravského kraje (bez aglomerace Brno) vymezeno 0,05 % území, v aglomeraci Brno se jedná o 7,75 % území. Vymezení oblastí se zhoršenou kvalitou ovzduší za rok 2021 zde bylo způsobeno nadlimitními průměrnými ročními koncentracemi BaP. Nadlimitní zatížení BaP způsobovalo vymezení oblasti s překročením imisních limitů i v minulých letech.

- Od roku 2019 byli na stanicích AIM v Jihomoravském kraji měřeny imisní koncentrace sledovaných znečišťujících látek pod úrovní příslušných imisních limitů, s výjimkou stanic významně ovlivněných stavební činností na území města Brna (stanice Brno – Úvoz v roce 2018, Brno – Zvonařka v roce 2020). V případě znečištění ovzduší benzo(a)pyrenem jsou z pohledu průměrných měsíčních koncentrací velmi důležité zimní měsíce – zatímco v létě jsou koncentrace prakticky nulové, v zimě se pohybují v průměru mezi 1-2 ng/m³.

- Na území Jihomoravského kraje proběhlo v minulosti několik měřících kampaní, zaměřených na zjištění kvality ovzduší v lokalitách mimo státní síť imisního monitoringu. Z výsledků měření ve vybraných obcích Jihomoravského kraje v topné sezóně vyplývá, že koncentrace BaP jsou velmi ovlivněny lokálními topeništi, typem paliva a způsobem vytápění. Koncentrace jsou rovněž závislé na meteorologických podmínkách – v chladné dny, kdy je potřeba více topit, jsou měřeny vyšší koncentrace. Naměřené koncentrace byly v sledovaných obcích násobně vyšší než byly koncentrace měřené na pozadové měřicí stanici AIM Brno – Líšeň ve stejném období. Měření imisních koncentrací BaP v menších obcích potvrzovalo předpoklad násobných rozdílů v koncentracích BaP v lokalitách s rozdílným způsobem vytápění a převažujících typů, kdy nejhorší výsledky byly sledovány v obci neplynofikované, příp. s vysokým podílem nevyužívaných plynových přípojek. V případě měření dopravních lokalit bylo zjištěno, že z hlediska koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ má na kvalitu ovzduší podstatně vyšší vliv plynulost dopravy než samotná intenzita (počet vozidel).

- Dosažené výsledky měření projektu PAUPZKO rovněž ukazují na výrazný podíl lokálních topenišť v zimě na kvalitu ovzduší v sledovaných lokalitách, a to jak pro koncentrace BaP tak i PM₁₀. Ze srovnání výsledků měření 2 zimních období lze pozorovat významnou závislost na teplotě (při nižších teplotách byly měřeny vyšší koncentrace). V případě letní měřicí kampaně byly koncentrace BaP měřeny na nízké úrovni.

- Lokálně se v některých oblastech Jihomoravského kraje může jako významný zdroj znečišťování ovzduší projevovat větrná eroze půdy. Z pohledu Jihomoravského kraje je větrnou erozí potenciálně ohroženo cca 40 % výměry zemědělské půdy, přičemž cca 11 % výměry spadá do kategorie nejohroženějších půd. Nejčtenější výskyt půd nejohroženějších větrnou erozí je v ORP Břeclav, Hodonín, Kyjov, Pohořelice, Znojmo a Židlochovice. Na základě měsíčních průměrů koncentrací suspendovaných částic vyplynulo, že v měsících červen–září jsou koncentrace PM₁₀ ovlivněny větrnou erozí, v měsících říjen–prosinec už jen velmi málo. V případě PM_{2,5} není vliv větrné eroze patrný.

- Měření imisních koncentrací znečišťujících látek na měřicích stanicích AIM a při měřicích kampaních potvrzuje, že znečištění ovzduší závisí nejen na zdrojích emisí v bezprostředním okolí, ale významnou roli sehrávají i meteorologické podmínky v době měření. Z analýzy výskytu vysokých koncentrací PM₁₀ na jižní Moravě ve vazbě na směr proudění větru pak vyplynulo, že při zhoršených rozptylových podmínkách a nízkých teplotách dochází k vysokým koncentracím téměř výhradně při proudění ze SV.

- Z analýzy příčin znečištění provedené v PZKO 2020+ vyplývá, že relativní podíl sekundárních anorganických částic z českých i zahraničních zdrojů se pohybuje kolem $\frac{2}{3}$ ročního průměru PM₁₀ a $\frac{3}{4}$ ročního průměru PM_{2,5}. Z pohledu emisí primárních částic PM₁₀ jsou nejvýznamnějšími kategoriemi lokální vytápění domácností a silniční doprava. V případě znečištění suspendovanými částicemi PM_{2,5} má z pohledu primárních částic z českých zdrojů vliv dominantně lokální vytápění. Dle výsledků PZKO 2020+ se lokální vytápění domácností podílí na průměrné roční koncentraci BaP v malých sídlech 60–80 %.

- Imisní koncentrace území jsou závislé nejen na zdrojích znečišťování v území. Významnou roli hraje i dálkový přenos a sekundární aerosoly (znečištění ze zdrojů mimo území kraje). Na kvalitě ovzduší se významně podílí meteorologické podmínky. Svou roli na znečištění ovzduší může významně sehrávat i orografie.

2. Akční plán– návrhová část

Mezi cíle Akčního plánu jsou zahrnuty především takové cíle, jejichž naplnění může Jihomoravský kraj, obce, jejich úřady a organizace v rámci svých částečných či plných kompetencí ovlivnit aplikací vhodných nástrojů a nebo realizací vhodných opatření (např. výstavba dopravní infrastruktury, podpora energetických úspor, stanovení podmínek rozvoje pro zdroje znečišťování, integrace systému hromadné dopravy osob s důrazem na snížení dopadů individuální automobilové dopravy, omezení spalování některých paliv nebo spalování rostlinných zbytků, výchovné a vzdělávací působení, aj.).

Seznam navržených nástrojů a opatření je přehledně uveden níže. Akční plán obsahuje 2 druhy opatření:

- opatření v působnosti Jihomoravského kraje nebo Krajského úřadu Jihomoravského kraje,
- opatření v působnosti měst a obcí a jejich úřadů (jedná se o doporučená opatření, u kterých Jihomoravský kraj v případě žádosti metodicky povede jejich implementaci).

Opatření pro Jihomoravský kraj jsou členěna do 3 základních skupin, podle oblastí, na kterou cílí (průmysl, energetika a zemědělství; doprava; osvětová, informační a poradenská činnost). Součástí popisu opatření je i jeho časové vymezení. Obecně lze opatření rozdělit na opatření s krátkodobým horizontem naplnění, opatření s dlouhodobým horizontem plnění a opatření průběžné. U opatření průběžných je efekt opatření navázán na jeho dlouhodobé a pravidelné naplňování. V případě opatření s dlouhodobým časovým horizontem je níže uvedený rok realizace pouze orientační a může být změněn na základě budoucího vývoje daného projektu nebo jiných objektivních okolností, které nelze předem definovat.

Součástí akčního plánu jsou i opatření, která nemají přímý efekt na zlepšení kvality ovzduší, vytváří však podmínky pro následné snižování emisí. Jedná se především o opatření osvětového charakteru. Samotné snižování emisí je pak důsledkem změny chování soukromého sektoru nebo veřejnosti, která je následkem provedení opatření.

Seznam opatření:

A Průmysl, energetika a zemědělství

- A.1 Účinná kontrola plnění požadavků na provozovatele spalovacích zdrojů zákonem o ochraně ovzduší
 - A.1.a Finanční podpora a administrace projektů pro poskytování finančních prostředků na obnovu spalovacích zdrojů („kotlíkové dotace“)
- A.2 Snížení spotřeby energií
 - A.2.a Snižování energetické náročnosti objektů, které spravuje kraj z titulu vlastnického či jiného práva
 - A.2.b Průběžné zavádění systému energetického managementu hospodaření s energií a vzdělávání osob podílejících se na jeho zavedení a fungování
- A.3 Aplikace vhodných nástrojů a opatření v rámci řízení dle § 11 odst. 2 zákona č. 201/2012 Sb.
- A.4 Omezování emisí ze stavební činnosti
- A.5 Omezení větrné eroze

B Doprava

- B.1 Rozvoj páteřní sítě silnic a dálnic a odklon tranzitní a části vnitroměstské dopravy mimo obydlené části obcí

- B.1.a Kompletní dostavba Velkého městského okruhu v Brně (VMO) a navazujících komunikací
- B.1.b Odklon části dopravy mimo obydlené části obcí – obchvaty obcí
- B.2 Rozvoj systému veřejné dopravy
- B.2.a Integrovaný dopravní systém Jihomoravského kraje
- B.2.b Výstavba přestupných uzlů, systémy P+R
- B.3 Vytvářet podmínky pro rychlou a kapacitní železniční síť
- B.4 Rozvoj bezemisní dopravy
- B.5 Rozvoj alternativních pohonů ve veřejné a individuální dopravě

C Osvětová, informační a poradenská činnost

- C.1 Zvýšení povědomí provozovatelů o vlivu spalování pevných paliv na kvalitu ovzduší, významu správné údržby a obsluhy zdrojů a volby správného paliva
 - C.1.a Distribuce propagačních materiálů „Jak správně topit“
 - C.1.b Osvěta formou edukativních vystoupení „SMOKEMAN ZASAHUJE“
 - C.1.c Navázání spolupráce se Společenstvím kominíků ČR nebo obdobným sdružením odborně způsobilých osob v oblasti kominictví
- C.2 Výchova a osvěta, informovanost občanů
- C.3 Podpora a využití projektů zaměřených na monitoring znečišťujících látek v území
- C.4 Spolupráce s obcemi a obecnými úřady obcí s rozšířenou působností
- C.4.a Metodická pomoc při aplikaci doporučených opatření pro obce a při tvorbě časových plánů obcí
- C.4.b Porada pracovníků ochrany ovzduší a edukativní vystoupení autorizovaných osob
- C.5 Dobrovolné dohody s provozovateli zdrojů znečišťování ovzduší, demonstrační projekty

D Doporučující opatření v působnosti měst a obcí, u kterých kraj v případě žádosti metodicky povede jejich implementaci

- D.1 Účinná kontrola plnění požadavků kladených na provozovatele spalovacích zdrojů zákonem o ochraně ovzduší
- D.2 Územní plánování a územní řízení, povolování staveb
- D.3 Vyjádření k žádosti o vydání a změnu integrovaného povolení
- D.4 Vyjádření v územním, stavebním a kolaudačním řízení a při posuzování vlivů na životní prostředí z hlediska ochrany ovzduší
- D.5 Zákaz spalování suchého rostlinného materiálu v otevřeném ohništi a určitých druhů paliv v malých zdrojích
- D.6 Územní energetická koncepce
- D.7 Úspory energií
- D.8 Částečné či úplné omezení vjezdu do některých městských částí, zpoplatněné parkování
- D.9 Environmentálně šetrná veřejná doprava, rozvoj alternativních pohonů ve veřejné a individuální dopravě
- D.10 Rozvoj veřejné dopravy
- D.11 Rozvoj bezemisní dopravy, rehabilitace pěší a cyklistické dopravy, zklidnění komunikací
- D.12 Zvýšení plynulosti dopravy v obcích
- D.13 Opatření k omezení primárních emisí a reemise tuhých znečišťujících látek z liniových a plošných zdrojů

D.14 Výchova a osvěta

D.15 Informovanost

D.16 Dobrovolné dohody s provozovateli zdrojů znečišťování ovzduší, demonstrační projekty

Pozn.: Řazení a číslování variant nevyjadřuje míru efektivnosti opatření ani jejich naléhavost.

Akční plán zlepšování kvality ovzduší Jihomoravského kraje byl schválen Radou Jihomoravského kraje usnesením č. 9127/24/R127 ze dne 27.03.2024 v souladu s § 59 odst. 3 zákona č. 129/2000 Sb., o krajích (krajské zřízení).

Literatura

- [1] Zpráva o životním prostředí v Jihomoravském kraji 2021, CENIA 2022.
- [2] Program zlepšování kvality ovzduší zóna Jihovýchod – CZ06Z, aktualizace 2020 (vydáno ve Věstníku MŽP 01/2021 - č.j. MZP/2021/130/65).
- [3] Podpůrná opatření k aktualizovaným programům zlepšování kvality ovzduší pro období 2020+, MŽP leden 2021.
- [4] Časový plán Jihomoravského kraje pro provádění opatření uvedených v Programu zlepšování kvality ovzduší aglomerace Brno – CZ06A, aktualizace 2020 a v Programu zlepšování kvality ovzduší zóna Jihovýchod – CZ06Z, aktualizace 2020.
- [5] Analýza kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v roce 2021, ČHMÚ, 09/2022.
- [6] Měření kvality ovzduší v malých obcích v topné sezoně 2015, odborný zpráva, Skeřil, Antoňová, 11/2015.
- [7] Měření kvality ovzduší v malých obcích v topné sezoně 2016, 2017 odborný zpráva, Skeřil, 11/2016 a 11/2017.
- [8] Analýza a kvantifikace větrné eroze ve vztahu na kvalitu ovzduší Jihomoravského kraje, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2012.
- [9] Monitoring větrné eroze v lokalitě Kuchařovice, červen–prosinec 2016, odborná zpráva, Skeřil, 2017.
- [10] Potenciální ohroženost orné půdy větrnou erozí (<http://geoportal.vumop.cz/index.php?projekt=vetrna&s=mapa>).
- [11] Projekt „Detailní monitoring polycyklických aromatických uhlovodíků v návaznosti na zpřesnění Plánu zlepšení kvality ovzduší zóny Jihovýchod CZ06Z 2020+“ (PAUPZKO), podporovaný z výzvy 2A „Tromso“ z programu „Životní prostředí, ekosystémy a změna klimatu“ financovaný z Norských fondů.

Poděkování

Tato práce vznikla jako součást projektu Detailní monitoring polycyklických aromatických uhlovodíků v návaznosti na zpřesnění Plánu zlepšení kvality ovzduší zóny Jihovýchod CZ06Z 2020+ (PAUPZKO) podporovaného z výzvy 2A „Tromso“ z programu „Životní prostředí, ekosystémy a změna klimatu“ financovaného z Norských fondů.

Action plan for improving the air quality of the South Moravian Region

Tomáš Helán¹, Daniela Fogašová², Jakub Bucek²

¹*South Moravian region*

Žerotínovo nám. 449/3, 601 82 Brno, Czech Republic

²*Bucek, s.r.o.*

Libušino údolí 497/118 Brno 62300, Czech Republic

e-mail: helan.tomas@jmk.cz

Abstract

The measures for the South Moravian region are divided into 3 basic groups, according to the areas they target (industry, energy and agriculture; transport; education, information and consultancy activities). Part of the description of the measure is also its time limit. The action plan also includes measures that do not have a direct effect on improving air quality but create conditions for the subsequent reduction of emissions. These are mainly measures of an educational nature. The reduction of emissions itself is then the result of a change in the behavior of the private sector or the public, which is a consequence of the implemented measure.

Kvalita ovzduší v zóně Jihovýchod

Radek Vít, Roman Ličbínský, Vilma Jandová, Jiří Huzlík, Karel Effenberger

Centrum dopravního výzkumu v. v. i.

Líšeňská 2657/33a, 636 Brno

e-mail: radek.vit@cdv.cz

Abstrakt

Cílem příspěvku je představit dílčí výsledky detailního zpracování naměřených dat, která byla získána v průběhu realizace projektu PAUPZKO podpořeného z prostředků Norských fondů. Hodnoceny byly zejména koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) a benzo(a)pyrenu (BaP) a to za účelem identifikace potencionálních zdrojů znečištění ovzduší. Vzorky byly získány v průběhu tří odběrových a měřících kampaní: zima 2022 (18. 1. – 18. 4. 2022), léto 2022 (14. 6. – 12. 9. 2022) a zima 2023 (18. 1. – 17. 4. 2023), a to celkem na 120 lokalitách na území Jihomoravského kraje (JMK) a Kraje Vysočina (VYS). V průběhu každé kampaně bylo odebráno 6 vzorků ovzduší (aerosolových částic PM_{10}), celkem tedy bylo odebráno a analyzováno 2160 vzorků ovzduší. Na 31 ze 120 lokalit byly naměřeny průměrné koncentrace BaP, vypočtené z 18 odebraných a analyzovaných vzorků, nad hodnotou 1 ng.m^{-3} . Tato hodnota je hodnotou imisního limitu pro BaP stanovená zákonem o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. [1], nicméně je definována jako roční průměrná koncentrace. Proto naměřené koncentrace BaP nelze interpretovat jako překročení imisního limitu, ale jako zvýšené koncentrace. V porovnání krajů se jednalo o 17 lokalit na území JMK a 14 lokalit na území VYS. V meziročním srovnání zimních kampaní došlo k nárůstu koncentrací BaP na 45 lokalitách v JMK a na 19 lokalitách VYS. Průměrně byly naměřeny vyšší koncentrace PAU (a to včetně BaP) na území JMK.

Na základě diagnostických poměrů vybraných polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) byly posouzeny jejich zdroje. Jako markery byly vybrány indeno[1,2,3-cd]pyren (IPy) a benzo[ghi]perylene (BPe). Z výsledků vyplývá, že v chladnějším období převládaly zdroje se spalováním tuhých paliv, případně smíšené zdroje spalování tuhých paliv a pohonných hmot. Zdroje ze spalování nafty a benzínu převládaly na minimu lokalit. V teplejším období přibývalo lokalit se znečištěním ovzduší ze spalování nafty a benzínu a snížil se počet lokalit znečišťovaných spalováním tuhých paliv. Kromě toho, na některých lokalitách byly koncentrace PAU pod limitem stanovení, a tudíž nebylo možné stanovit jejich diagnostické poměry [2,3].

1. Úvod

Příspěvek vznikl na základě 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.

Znečištění ovzduší polycyklickými aromatickými uhlovodíky (PAU) je v poslední době vysoce aktuální a sledované téma. Důvodem je fakt, že některé PAU mají závažné dopady na zdraví člověka vč. karcinogenních účinků a naměřené hodnoty benzo[a]pyrenu, který je jedním z této skupiny škodlivin, na mnoha stanicích v České republice pravidelně překračují legislativně stanovený roční imisní limit. Mnohé látky ze skupiny PAU jsou považovány za indikátory (markery) různých specifických zdrojů znečišťování ovzduší. Z toho důvodu je jejich monitoring a následné pokročilé vyhodnocení vhodným nástrojem pro identifikaci zdrojů znečišťování ovzduší. V malých obcích jsou zvýšené koncentrace většiny PAU indikátorem zvýšeného

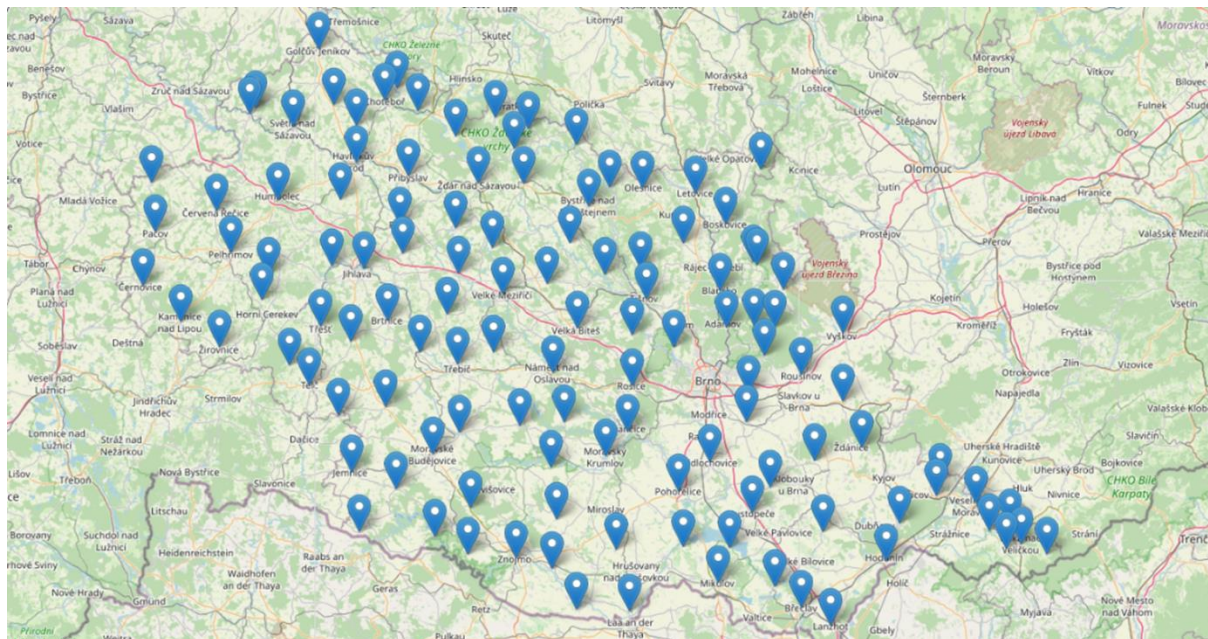
podílu lokálních zdrojů vytápění na emisní zdrojové skladbě. Projektový záměr vycházel z PZKO zóny Jihovýchod CZ06Z 2020+, ve kterém je benzo[a]pyren specifikován jako nejproblematictější znečišťující látka.

2. Metodika

2.1. Výběr lokalit

Za účelem výběru lokalit pro realizaci měření koncentrací a odběrů vzorků aerosolových částic a BaP byla definována kritéria výběru zahrnující velikost obce a města z hlediska počtu obydlí, kategorii převládajícího zdroje vytápění a počet obydlí na tuhá paliva, možný vliv velkého a středního zdroje znečišťování a silniční komunikace, charakter okolí zejména zakřivení reliéfu (rovina/údolí/vrcholová poloha). Při výběru byla zohledněna metodika zpracovaná v projektu č. TA 02021267 a rovněž byly využity znalosti prostředí uživatelů výsledků (zástupců obou dotčených krajů). Na základě těchto definovaných kritérií bylo vybráno celkem 120 lokalit, 60 na území každého kraje, přičemž byly vybrány lokality jak v malých sídlech, tak i v menších, středních a větších obcích a městech v rámci obou krajů tak, aby vybraná místa postihovala výše definovaná kritéria a byla proměřena místa různého charakteru a současně byla zahrnuta i zvláště chráněná území z pohledu ochrany přírody a krajiny (chráněné oblasti přirozené akumulace vod, chráněné krajinné oblasti, evropsky významné lokality a proměřeny byly také cílové obce specifikované v rámci PZKO pro realizaci nápravných opatření (viz. Obr. 1). Cílem projektu bylo proměřit plošně celé území zóny Jihovýchod, a to na 120 lokalitách (60 lokalitách Jihomoravského kraje a 60 lokalitách Kraje Vysočina). Na základě čehož vznikl mnohem detailnější a přesnější obraz o charakteru znečištění BaP a dalšími PAU v dotčeném území. Proměřeny byly samozřejmě i cílové obce zmíněné v PZKO.

Obr. 1: Vybrané lokality



2.2. Metodika měření

Odběrové dny se shodovaly s odběrovým kalendářem ČHMÚ (každý 3. den), tak aby bylo možné naměřené koncentrace porovnat i s daty dalších měřících institucí (především ČHMÚ). Datum odběru 6. vzorku bylo vybráno dle aktuálních potřeb (např. zastoupení víkendových dní apod.). Každá lokalita byla proměřena ve třech 14denních kampaních, a to 2x během topné sezóny a 1x během netopné sezóny za účelem zahrnutí možného vlivu různých zdrojů v různých ročních obdobích. Z každé lokality bylo během realizace projektu odebráno 18 vzorků PAU zachycených na filtru. Dohromady tak bylo odebráno 2160 vzorků PM₁₀ a následně analyzováno ke stanovení obsahů PAU vč. BaP.

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 – Referenční metoda a postup při terénní zkoušce ověření těsnosti shody mezi výsledky hodnocené a referenční metody“. Za účelem stanovení obsahů 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). Podle této metodiky byly měřeny i koncentrace ostatních PAU.

K posouzení zdrojů polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) bylo použito diagnostických poměrů vybraných PAU [2,3]. Jako markery byly vybrány indeno[1,2,3-cd]pyren (IPy) a benzo[ghi]perylene (BPe). Vzhledem k tomu, že v literatuře jsou diagnostické poměry uváděny v různé formě – jako prostý poměr, jako poměr jednoho PAU a součtu dvou PAU, byly diagnostické poměry sjednoceny ve formě

$$[IPy, BPe] = \frac{IPy - BPe}{IPy + BPe}$$

Tento diagnostický poměr je symetrický vůči oběma PAU a nabývá hodnot od -1 pro IPy=0 do +1 pro BPe=0. Pro IPy=BPe je hodnota [IPy,BPe] rovna 0.

Z tohoto důvodu byly přepočteny diagnostické poměry uváděné v literatuře podle uvedeného vzorce. Jejich hodnoty ukazuje Tab. 1. Pro potřeby identifikace zdrojů jsme vycházeli ze stanovení zdrojů dle Tobiszewski, Namiešnik, 2012.

Tab. 1: Přepočtené diagnostické poměry PAU

Původ PAU	IPy/(IPy+BPe)			[IPy,BPe]			Literatura
	min	max	střed	min	max	střed	
Petrogenní zdroje (úniky)	0,00	0,20		-1,00	-0,60		Tobiszewski, Namiešnik, 2012
Spalování benzínu			0,18			-0,64	Křůmal et al., 2012
Spalování benzínu	0,00	0,29		-1,00	-0,43		Křůmal et al., 2012
Spalování benzínu	0,2	0,50		-0,60	0,00		Tobiszewski, Namiešnik, 2012
Průmysl	0,36	0,57		-0,28	0,14		Křůmal et al., 2012
Spalování nafty	0,35	0,70		-0,30	0,40		Křůmal et al., 2012
Spalování trávy, dřeva, uhlí	0,50	1,00		0,00	1,00		Tobiszewski, Namiešnik, 2012
Spalování uhlí			0,56			0,12	Křůmal et al., 2012
Spalování dřeva			0,62			0,24	Křůmal et al., 2012
Výroba cementu			0,65			0,3	Křůmal et al., 2012

Při shlukové analýze byla použita Euklidovská metrika a Wardova metoda shlukování a k výpočtům byl využit OpenSource software R [4], balíček „cluster“ [5].

3. Výsledky a diskuse

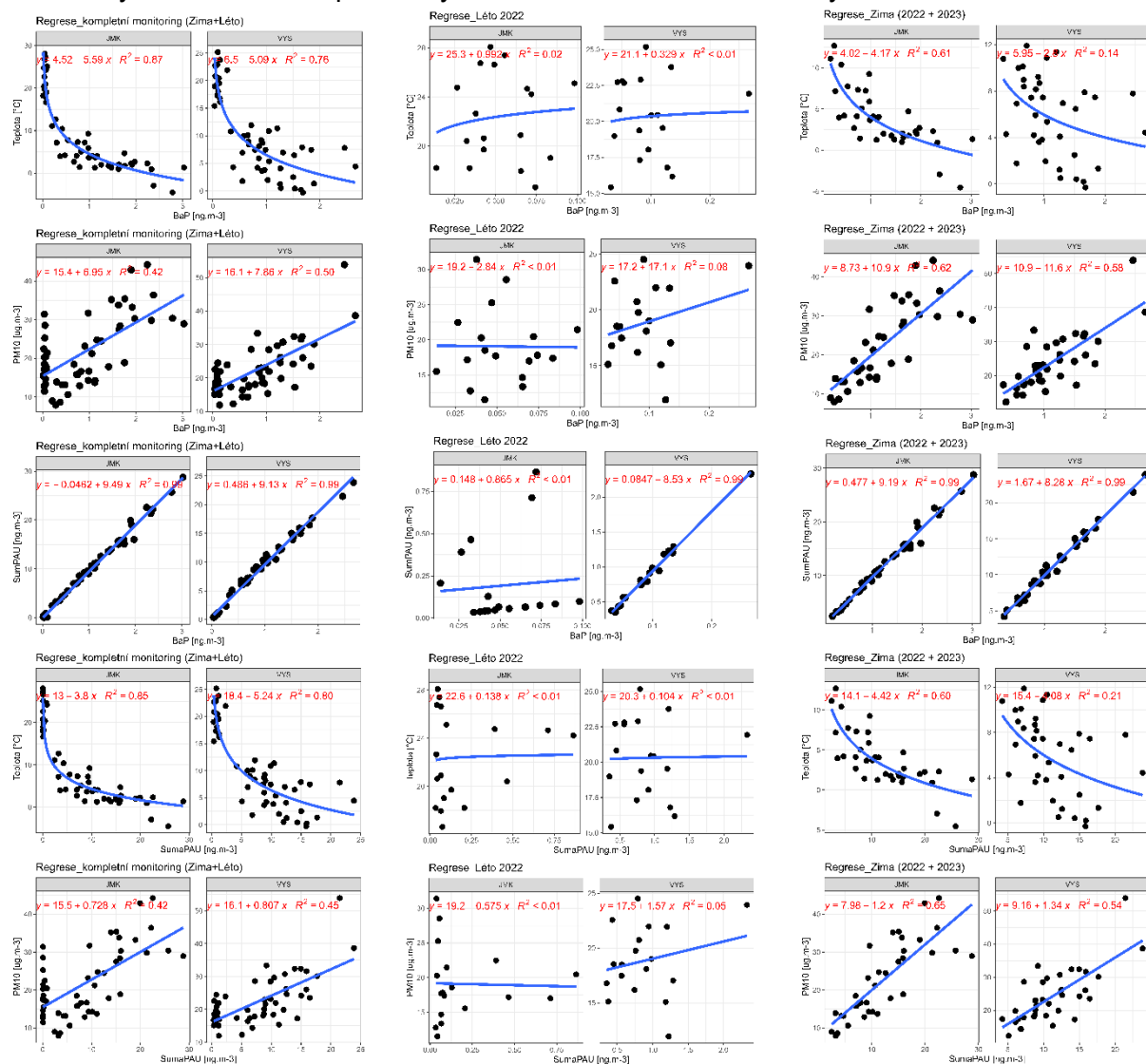
3.1. Průměrné denní koncentrace v jednotlivých krajích

Na základě průměrných výsledků z jednotlivých lokalit v jednotlivých odběrových dnech byly sestaveny regresní křivky zobrazující závislosti analyzovaných vzorků na dalších měřených parametrech (teplota), popřípadě vzájemně mezi jednotlivými výsledky (BaP, SumaPAU a PM₁₀) a to za účelem lepšího pochopení vzájemných vztahů v závislosti na čase odběru vzorku.

Výsledky jsou uvedeny pro kompletní dobou realizace monitoringu a dále pak také pro jednotlivá sledovaná období rozdělená na jednotlivé kraje (Obr. 2).

V případě PAU (včetně BaP) byla pozorována logaritmická závislost, kdy v případě vyšších teplot byly měřeny nižší koncentrace PAU (vč. BaP). Tento trend byl pozorován výrazněji na území JMK, kde při pohledu na data za celou dobu měření byl koeficient determinace odpovídající hodnotě 0,87 (v případě VYS je tato hodnota 0,76). V zimním období byla pozorována významná závislost (0,61) v případě JMK, naopak v případě VYS (koeficient determinace 0,21) byla závislost nevýznamná. V případě korelace mezi PM₁₀ a BaP pozorujeme významnou lineární závislost v zimních měsících. Vzájemná závislost v případě regrese za celou dobu měření je ovlivněna významným poklesem koncentrací BaP v letních měsících, kde koncentrace BaP nijak nekorelují s koncentracemi PM₁₀. Korelace mezi PAU a BaP byly až na výjimku v případě letních měření v JMK významné a ukazují na společný nárůst koncentrací směrem k zimním měsícům. V případě korelací PAU vůči teplotě a PM₁₀ bylo pozorováno shodné chování jako v případě BaP.

Obr. 2: Výsledné korelace průměrných denních koncentrací měřených látek



3.2. Posouzení zdrojů PAU

Pro upřesnění zařazení jednotlivých lokalit byla provedena shluková analýza naměřených hodnot. Pro analýzu byly použity průměrné hodnoty koncentrací jednotlivých PAU pro každou lokalitu zvlášť a pro každé období (teplejší – chladnější) zvlášť. Z takto vypočtených hodnot byly spočteny hodnoty [IPy,BPe] použité pro shlukovou analýzu.

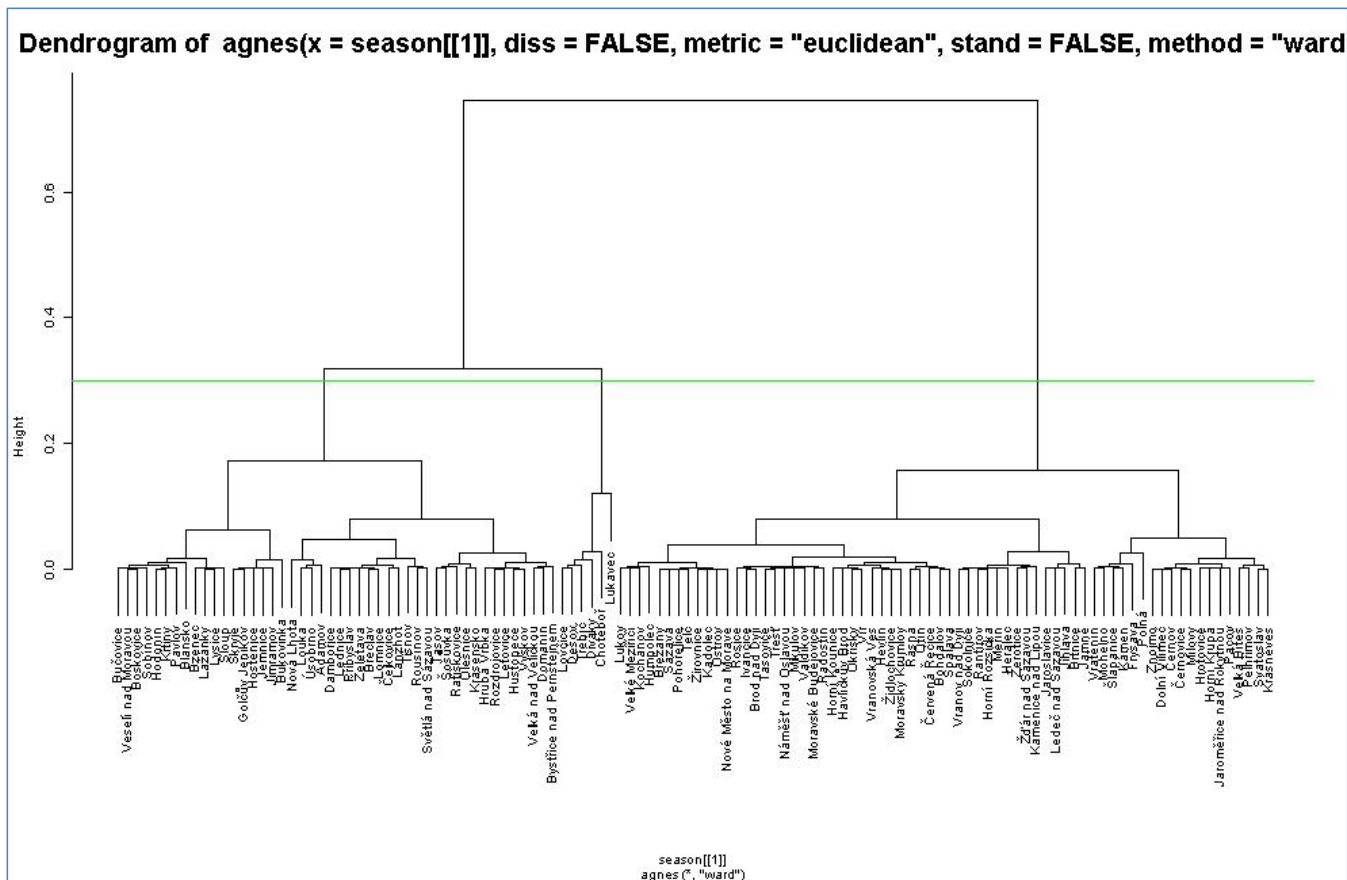
Výsledky shlukové analýzy ukazují Obr. 3 a Obr. 4, kde je vyznačeno oddělení jednotlivých shluků vodorovnými čarami na úrovni 40 % maximální vzdálenosti shluků.

Na základě diagnostických poměrů, které uvádí Tab. 1 a shlukové analýzy, která přiřadila jednotlivým lokalitám příslušné shluky vyznačené čísly ve sloupcích Cluster1 a Cluster2, byly pro jednotlivé skupiny lokalit provedeny odhady zdrojů podílejících se na znečištění ovzduší PAU vázanými na aerosolové částice. Klíč k tomuto přiřazení uvádí Tab. 2.

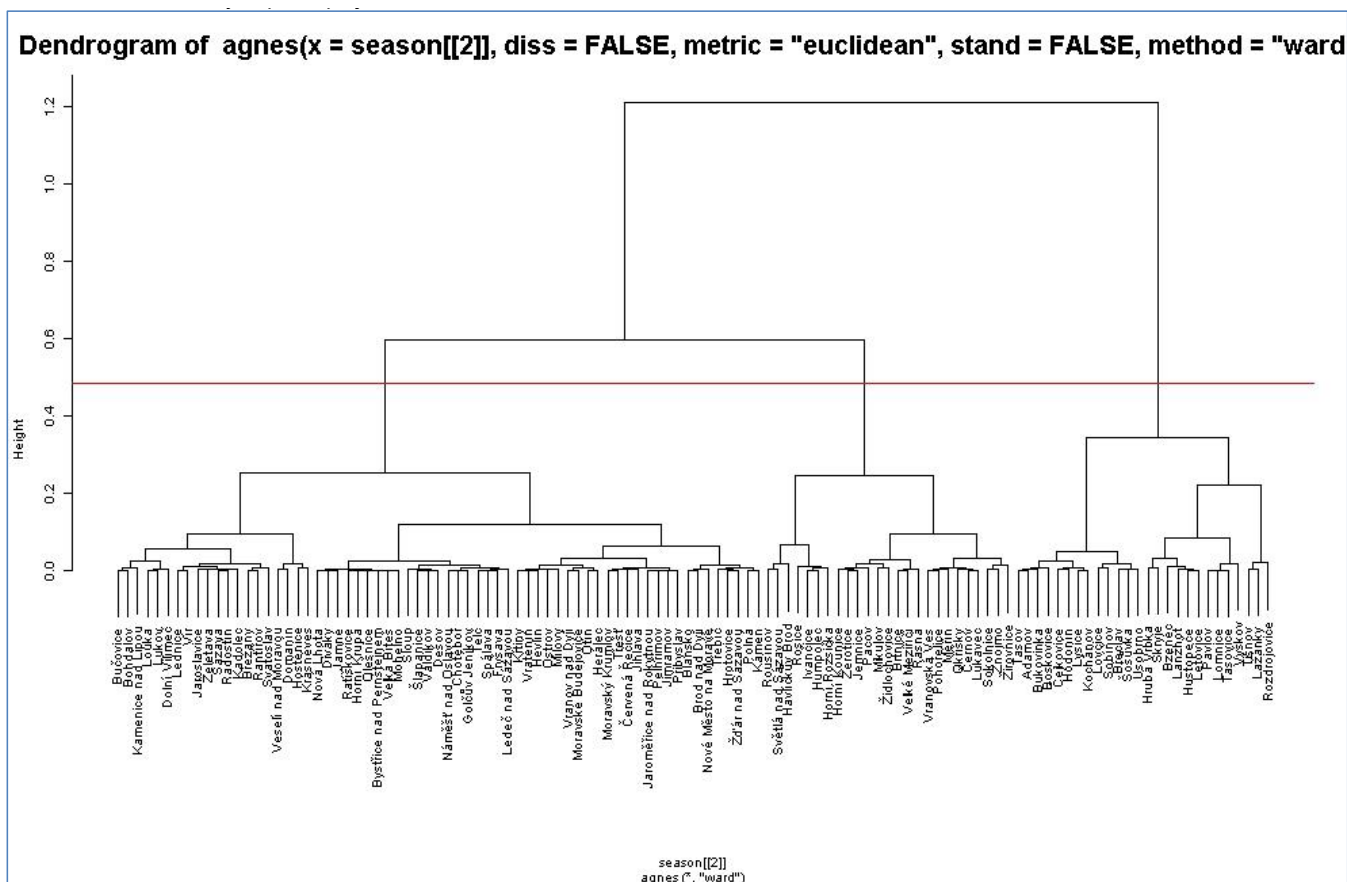
Tab. 2: Přiřazení zdrojů PAU jednotlivým shlukům lokalit

Zdroj znečištění	Chladné období		Teplé období		Rozmezí shluků
	Cluster1	[IPy,BPe]	Cluster2	[IPy,BPe]	
Spalování dřeva, uhlí, trávy	3	0,1722	3	0,3402	max
	3	0,0910	3	0,1330	min
Smíšené zdroje	1	0,0823	1	0,1101	max
	1	-0,0110	1	-0,0054	min
Spalování nafty, spalování benzínu	2	-0,0334	2	-0,0131	max
	2	-0,1394	2	-0,1379	min

Obr. 3: Shluková analýza pro chladnější období



Obr. 4: Shluková analýza pro teplejší období



Výsledky přiřazení zdroje znečištění v jednotlivých krajích a pro jednotlivé lokality jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 3).

Tab. 3: Rozdělení lokalit podle identifikovaných skupin zdrojů PAU

Jihomoravský kraj					Kraj Vysočina				
Lokalita	Chladné období		Teplé období		Lokalita	Chladné období		Teplé období	
	Cluster1	[IPy,BPe]	Cluster2	[IPy,BPe]		Cluster1	[IPy,BPe]	Cluster2	[IPy,BPe]
Adamov	1	0.0039	3	0.1543	Bohdalov	3	0.1116	1	0.0813
Blansko	1	0.061	1	-0.0049	Brtnice	3	0.0976	2	-0.0154
Boskovice	1	0.0514	3	0.1594	Bystřice nad Pernštejnem	1	0.0237	1	0.0428
Brod nad Dyjí	3	0.1192	1	-0.0054	Černov	3	0.1346	2	-0.0506
Břeclav	1	0.0208	3	0.1482	Černovice	3	0.1354		
Břežany	3	0.1233	1	0.0531	Červená Řečice	3	0.1109	1	0.0254
Bučovice	1	0.0504	1	0.0822	Dešov	2	-0.0415	1	0.0318
Bukovinka	1	0.0823	3	0.1555	Dolní Vilímeč	3	0.1344	1	0.0675
Bzenec	1	0.0484	3	0.2412	Fryšava	3	0.1576	1	0.0353
Čejkovice	1	0.0178	3	0.172	Golčův Jeníkov	1	0.0712	1	0.0381
Dambořice	1	0.0201			Havlíčkův Brod	3	0.1127	2	-0.1051
Diváky	2	-0.0334	1	0.0411	Herálec	3	0.1065	1	0.0084
Domanín	1	0.0261	1	0.0945	Horní Krupá	3	0.1384	1	0.0423
Hevlín	3	0.1162	1	0.0179	Horní Rozsička	3	0.1058	2	-0.1379
Hodonín	1	0.0549	3	0.1691	Hrotovice	3	0.1376	1	0.0032
Horní Kounice	3	0.1132	2	-0.0272	Humpolec	3	0.1308	2	-0.1321
Hostěnice	1	0.0708	1	0.1051	Chotěboř	2	-0.064	1	0.0386
Hrubá Vrbka	1	0.0324	3	0.2325	Jamně	3	0.0967	1	0.0409
Hustopeče	1	0.0308	3	0.2493	Jaroměřice nad Rokytnou	3	0.1368	1	0.0228
Ivančice	3	0.1193	2	-0.1327	Jemnice	1	0.0722	2	-0.0241
Jaroslavice	3	0.091	1	0.0555	Jihlava	3	0.0929	1	0.0241
Krásensko	1	0.0425			Jimramov	1	0.0729	1	0.0229
Křtiny	1	0.0551	1	0.0186	Kadolec	3	0.1243	1	0.0601
Lanžhot	1	0.0162	3	0.2514	Kámen	3	0.1517	1	0.0001
Lažánky	1	0.0465	3	0.3244	Kamenice nad Lipou	3	0.1018	1	0.0886
Lednice	1	0.0196	1	0.0634	Kochánov	3	0.1281	3	0.1666
Letovice	1	0.0316	3	0.2493	Krásněves	3	0.1419	1	0.1101
Lomnice	1	0.0206	3	0.2066	Ledeč nad Sázavou	3	0.0915	1	0.0339
Louka	1	-0.0015	1	0.0713	Lukavec	2	-0.1394	2	-0.0504
Lovčice	2	-0.0434	3	0.133	Měřín	3	0.1071	2	-0.0458
Lukov	3	0.1261	1	0.0707	Mílový	3	0.1351	1	0.0147
Lysice	1	0.0469	3	0.1662	Mohelno	3	0.1495	1	0.0433
Mikulov	3	0.1173	2	-0.0317	Moravské Budějovice	3	0.1214	1	0.0119
Moravský Krumlov	3	0.1164	1	0.0264	Náměšť nad Oslavou	3	0.1188	1	0.0389

Jihomoravský kraj					Kraj Vysočina				
Lokalita	Chladné období		Teplé období		Lokalita	Chladné období		Teplé období	
	Cluster1	[IPy,BPe]	Cluster2	[IPy,BPe]		Cluster1	[IPy,BPe]	Cluster2	[IPy,BPe]
Nová Lhota	1	-0.011	1	0.0406	Nové Město na Moravě	3	0.1241	1	-0.0039
Olešnice	1	0.0415	1	0.0429	Okříšky	3	0.1144	2	-0.0517
Pavlov	1	0.0533	3	0.2062	Ostrov	3	0.124	1	0.016
Pohořelice	3	0.1234	2	-0.0483	Otín	3	0.1097	1	0.008
Ratíškovice	1	0.0358	1	0.0423	Pacov	3	0.1396	2	-0.021
Rosice	3	0.1197	2	-0.1252	Pelhřimov	3	0.1452	1	0.0229
Rousínov	1	0.0137	2	-0.0925	Polná	3	0.1722	1	0.0012
Rozdrojovice	1	0.0319	3	0.3402	Přibyslav	1	0.0196	1	0.0232
Skryje	1	0.0713	3	0.2258	Radostín	3	0.1209	1	0.059
Sloup	1	0.0456	1	0.0288	Rantířov	3	0.1061	1	0.0522
Sokolnice	3	0.1053	2	-0.0625	Řásná	3	0.1093	2	-0.0131
Šlapanice	3	0.1527	1	0.031	Sázava	3	0.1233	1	0.0582
Šošůvka	1	0.0378	3	0.1467	Sobířov	1	0.052	3	0.1384
Tasov	1	0.0384	3	0.1538	Spálava	3	0.1115	1	0.0358
Tasovice	3	0.1183	3	0.2071	Svatoslav	3	0.1418	1	0.0478
Tišnov	1	0.0095	3	0.3207	Světlá nad Sázavou	1	0.012	2	-0.0905
Úsobrno	1	-0.001	3	0.1449	Telč	3	0.1236	1	0.0358
Velká nad Veličkou	1	0.0283			Třebíč	2	-0.0483	1	0.0051
Veselí nad Moravou	1	0.0511	1	0.099	Třešť	3	0.1181	1	0.0267
Vranov nad Dyjí	3	0.105	1	0.0124	Valdík	3	0.1177	1	0.031
Vranovská Ves	3	0.1156	2	-0.0483	Velká Bíteš	3	0.1457	1	0.043
Vratěšín	3	0.1501	1	0.0174	Velké Meziříčí	3	0.1276	2	-0.0147
Vyškov	1	0.0309	3	0.1917	Vír	3	0.1145	1	0.0637
Znojmo	3	0.1343	2	-0.0587	Žďár nad Sázavou	3	0.1045	1	0.0032
Žerotice	3	0.104	2	-0.0246	Želetava	1	0.0191	1	0.057
Židlochovice	3	0.1166	2	-0.0381	Žirovnice	3	0.1244	2	-0.0715

Z uvedeného tedy vyplývá, že v chladnějším období převládaly zdroje se spalováním tuhých paliv, případně smíšené zdroje spalování tuhých paliv a pohonných hmot. Zdroje ze spalování nafty a benzínu převládaly na minimu lokalit.

V teplejším období přibýlo lokalit se znečištěním ovzduší ze spalování nafty a benzínu a snížil se počet lokalit znečišťovaných spalováním tuhých paliv. Kromě toho, na některých lokalitách byly koncentrace PAU pod limitem stanovení, a tudíž nebylo možné stanovit jejich diagnostické poměry.

3. Závěr

Z výše uvedených výsledků lze vyvodit, že lokální topeniště hrají významnou roli v kvalitě ovzduší na území sledovaných krajů. Ukazují na to výsledky identifikace zdrojů na základě analýzy diagnostických poměrů vybraných PAU. Ty ukazují, že v případě 68 lokalit jsou PAU původem ze spalování dřeva, uhlí a trávy, ve 46 případech se jedná o smíšené zdroje a pouze v 6 případech o zdroje původem ze spalování paliv (dopravy). V průběh letních měření dochází ke zvyšování podílu PAU z dopravy, počet lokalit s původem PAU ze spalování rostlinného materiálu klesá na 26 (z toho 24 lokalit na území JMK). Na území VYS v zimních měsících převládá jako zdroj PAU spalování rostlinných materiálů, v letních měsících poté smíšené zdroje. Počet lokalit ovlivněných dopravou v zimních měsících na Vysočině byl 4, v letních měsících 14. V případě JMK převládají smíšené zdroje v zimních měsících a spalování rostlinných materiálů v letních měsících. Počet lokalit ovlivněných dopravou v průběhu zimy byl 2, v průběhu letních měsíců 4.

Koncentrace PAU (včetně BaP) významně korelují s teplotou, kdy s klesající teplotou dochází k nárůstu jejich koncentrací, a to na území obou krajů. Dále dochází také ke korelaci s koncentracemi PM_{10} a to v zimních měsících, v letních měsících dochází k výraznému poklesu koncentrací všech PAU, což se projevuje na vzájemné regresi a proto v případě letních odběrů nebyla pozorována závislost mezi PAU (BaP) a PM_{10} . Krom letní měřicí kampaně na území JMK sledujeme významnou korelaci mezi sumou PAU a BaP, koncentrace sumy PAU svým chováním vůči teplotě a PM_{10} přibližně odpovídají trendům jako tomu je v případě BaP. V případě letních měření v JMK nejspíše došlo k ovlivnění vybraných lokalit v daných dnech jiným zdrojem PAU (než v případě zdroje BaP).

Literatura

- [1] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů, 2012 - 2017, MŽP, 2012.
- [2] Křůmal, K., Mikuška, P., Večeřa, Z. Využití organických markerů pro identifikaci zdrojů atmosférických aerosolů. Chemické listy 106 (2012), 95-103
- [3] Tobiszewski, M., Namieśnik, J. PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emission sources Environmental Pollution 162 (2012), 110-119
- [4] R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- [5] Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., Hornik, K.(2023). cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 2.1.6.

Poděkování

Tento práce byla vytvořena za finanční podpory Ministerstva dopravy v rámci programu dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumných organizací.

Air quality in the Southeast zone

Radek Vít, Roman Ličbinský, Karel Effenberger

Transport Research Centre

Líšeňská 2657/33a, 636 Brno, Czech Republic

e-mail: radek.vit@cdv.cz

Abstract

The aim of this contribution is to present partial results from the detailed analysis of measured data obtained during the implementation of the PAUPZKO project, funded by the Norwegian Funds. The concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and benzo(a)pyrene (BaP) were evaluated to identify potential sources of air pollution. Samples were collected during three sampling and measurement campaigns: winter 2022 (January 18 – April 18, 2022), summer 2022 (June 14 – September 12, 2022), and winter 2023 (January 18 – April 17, 2023), across 120 locations in the South Moravian Region (JMK) and the Vysočina Region (VYS). During each campaign, six air samples (PM₁₀ aerosol particles) were collected, resulting in a total of 2,160 analysed air samples. Average BaP concentrations, calculated from 18 collected and analysed samples, exceeded 1 ng/m³ at 31 of the 120 locations. This value represents the air pollution limit for BaP established by the Air Protection Act No. 201/2012 Coll. However, it is defined as an annual average concentration. Therefore, the measured BaP concentrations cannot be interpreted as exceeding the limit but rather as elevated levels. In the regional comparison, this involved 17 locations in JMK and 14 locations in VYS. Year-on-year comparisons of winter campaigns showed an increase in BaP concentrations at 45 locations in JMK and 19 locations in VYS. On average, higher concentrations of PAHs (including BaP) were measured in the JMK region.

Based on diagnostic ratios of selected PAHs, their sources were assessed. Indeno[1,2,3-cd]pyrene (IPy) and benzo[ghi]perylene (BPe) were chosen as markers. The results indicate that during the colder months, sources predominantly involved the burning of solid fuels, or mixed sources of solid fuel and fossil fuels. Sources from burning diesel and gasoline were minimal. In warmer months, the number of locations affected by diesel and gasoline burning increased, while the number of sites polluted by solid fuel combustion decreased. Additionally, at some locations, PAH concentrations were below the detection limit, making it impossible to establish their diagnostic ratios.

Senzorická sieť kvality ovzdušia v mestskom prostredí – projekt REMoT

Dušan Jandačka¹, Daniela Ďurčanská¹, Marek Drličiak¹, Michal Cingel²

¹Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra cestného a environmentálneho inžinierstva,

² Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitný vedecký park,

^{1,2}Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko

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

Abstrakt

Úroveň kvality ovzdušia neustále rezonuje v spoločnosti. Extrémne znečistenie ovzdušia ovplyvňuje životné prostredie a obyvateľov sídelných útvarov čoraz viac, predovšetkým v zimných mesiacoch, kedy spojením zdrojov znečistenia ovzdušia a sekundárnych faktorov sú prekračované limitné hodnoty škodlivých látok určené na ochranu zdravia ľudí a živočíchov. Úlohou výskumu v tejto oblasti je predovšetkým objasnenie vyskytujúcich sa stavov kvality ovzdušia a ich zmien. Jednou z možností je zavádzanie senzorických sietí pre sledovanie kvality ovzdušia ako nástroja konceptu Smart city.

Koncept Smart city podľa definície Európskeho parlamentu predstavuje komplexný prístup k fungovaniu mestského regiónu, ktorý zasahuje do rôznych spoločenských oblastí ako kultúra, infraštruktúra, životné prostredie, energetika, sociálne služby a ďalšie. V každej z týchto oblastí sleduje viaceré ciele, ktoré sú vzájomne prepojené a spoločne vytvárajú systém, ktorý vychádza z princípov udržateľného rozvoja. V rámci projektu REMoT bude realizovaný pilotný projekt senzorovej siete na monitorovanie znečistenia ovzdušia cestnou dopravou v meste Žilina. V pilotnom projekte bude možné aktívne spracovávať údaje z meraní emisného zaťaženia cestnou dopravou a intenzity dopravy do aktívneho dopravného modelu. Potenciál poznania prínosov zníženia emisného zaťaženia prostredia cestnou dopravou bude hodnotným vstupom pre environmentálne prijateľné rozhodovanie v oblasti riadenia mobility.

1. Úvod

Určiť charakter mobility obyvateľstva je v súčasnosti často riešenou problematikou. Z pohľadu dopravno-plánovacieho procesu je nutné podmieniť početnosť ciest dopravným módom, vekovou skupinou obyvateľov alebo účelom ciest. Tento komplexný popis je možný získať len formou mobilitných prieskumov, ktoré sú časovo a finančne náročné. Z dôvodu absencie podrobných mobilitných prieskumov na Slovensku je cieľom výskumných aktivít identifikovať dopravný dopyt osobnej dopravy naprieč Slovenskom v závislosti od dostupnosti cestnej siete.

Sektor dopravy významne negatívne ovplyvňuje životné prostredie a ľudské zdravie. Doprava zodpovedá za štvrtinu emisií skleníkových plynov v EÚ a spôsobuje znečistenie ovzdušia, hluk a fragmentáciu biotopov [3]. Presnejšie povedané: doprava je jediný veľký hospodársky sektor v Európe, v ktorom sa od roku 1990 zvýšil objem skleníkových plynov a ktorý sa najviac podieľa na tvorbe emisií oxidov dusíka poškodzujúcich zdravie a životné prostredie [1,2]. Dve najdôležitejšie látky, ktorými cestná doprava znečisťuje ovzdušie, sú oxid dusičitý (NO₂) a jemné tuhé častice (PM_{2,5}). Jemná frakcia PM_{2,5} tvorí 40 – 80 % hmotnostnej koncentrácie PM₁₀ v okolitom ovzduší v Európe [4,7]. Zatiaľ čo výfukové emisie z vozidiel od roku 1990 klesajú vďaka

technologickým zdokonaleniam vozidiel, ako sú napríklad časticové filtre, zvyšujú sa nevýfukové emisie tuhých častíc vznikajúcich opotrebovaním brzd, pneumatík, povrchu vozovky, karosérie, súčastí cestnej komunikácie. Nevýfukové zdroje tvoria v súčasnosti veľkú časť celkových emisií tuhých častíc z vozidiel – približne polovicu častíc PM₁₀ a tretinu tuhých častíc PM_{2,5} [7].

Vo vedeckej literatúre panuje zhoda v tom, že nevýfukové emisie sú čoraz dôležitejším zdrojom PM z cestnej dopravy a dlhodobé vystavenie PM môže mať významné nepriaznivé účinky na ľudské zdravie [5,6,7,8]. Preto musí byť ruka v ruke s mobilitou riešené aj znečisťovanie životného prostredia.

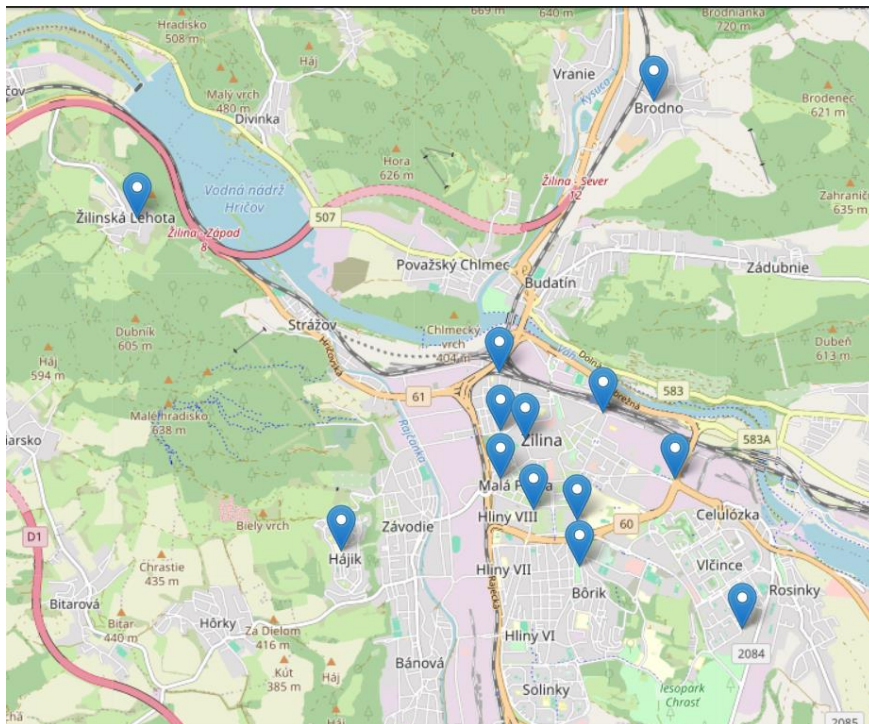
Každým využitím cestnej dopravy s cieľom zabezpečiť niektoré potreby jednotlivca, rodiny, spoločnosti, prispievame k zhoršovaniu životného prostredia, kvality ovzdušia. Jedným z cieľov projektu bude štúdia mobility v mestskom území so zameraním na dopad cestnej dopravy na stav a zmeny znečistenia ovzdušia. Mestské územie je z pohľadu dynamiky dopravy aktívnejšie a vystavenie obyvateľstva znečisťujúcim látkam intenzívnejšie. Z tohto dôvodu bude dopravný stav charakterizovaný aj cez optiku emisnej záťaže. V súčasnosti je povedomie o dopadoch využívania cestnej dopravy na kvalitu ovzdušia spoločnosťou veľmi filtrované. Základnom musí byť informácia o stave kvality ovzdušia. V rámci mestského územia bude vytvorený prototyp aktívnej senzorickej siete, kde budú získavané a hodnotené údaje o znečistení ovzdušia (znečisťujúce látky PM₁₀, PM_{2,5}), meteorologické parametre a intenzita dopravy. Vytvorený systém senzorickej siete bude slúžiť tiež ako kalibračný vstup do modelu cestnej dopravy v riešenom území. Mobilita bude teda skúmaná v kontexte s emisnou záťažou aktuálnych a modelových stavov cestnej dopravy. Bude optimalizovaná produkcia emisií generovaná cestnou dopravou ako podklad pre stanovenie „environmentálne prijateľnej“ mobility v procese rozhodovania a riadenia mestského životného prostredia.

2. Pilotný projekt senzorickej siete v meste Žilina

Údaje z dopravného modelu je možné použiť na posúdenie atraktivity dopravných zón a ich vplyvu na emisie v území. Súčasťou riešenia projektu REMoT je aj pilotný projekt senzorickej siete (obr. 1) na monitorovanie znečistenia ovzdušia cestnou dopravou v meste Žilina a spracovanie emisnej záťaže v dopravnom modeli.

Pilotný projekt, ktorého prvá časť je už v prevádzke, je zameraný na polozenie základu environmentálneho rozhodovania v procese voľby mobility. Zámerom je vytvoriť komplexnú senzoricкую sieť združujúcu informácie získané IoT zariadeniami: údaje o kvalite ovzdušia, meteorologické parametre, hlukové emisie zo smart senzorov (SM) (obr. 2) a údaje zo zariadení na sčítanie cestnej dopravy. Tieto údaje budú vhodne vizualizované a využívané pre kalibráciu modelu cestnej dopravy a stanovenie emisnej záťaže od mobility.

Obr. 1. Rozmiestnenie smart senzorov v meste Žilina (projekt REMoT a projekt Mesta Žilina)



Základná koncepcia systému pre monitorovanie kvality ovzdušia a intenzity dopravy je v projekte postavená na zariadeniach (IoT SMART senzory), ktoré sú rozmiestnené v priestore mesta a ktoré merajú požadované fyzikálne veličiny, následne ich reprezentujú vo forme digitálnej informácie a posielajú do vzdialenej databázy na serveri využitím systému LightNET, ktorý je v Žiline integrovaný.

Obr. 2. Smart senzory používané v rámci projektu REMoT pre monitorovanie kvality ovzdušia, meteorologických parametrov, hluku a osvetlenia



Senzorická sieť je zapojená do systému LightNET. Je to SMART systém zložený zo zariadení a služieb, ktoré zabezpečujú inteligentné riadenie a monitorovanie pripojených zariadení s reportovaním alarmov, udalostí, stavov všetkých zariadení a zozbieraných údajov na dispečing (v prvej fáze riešenia na KCEI UNIZA). Systém je možné využiť aj ako dátovú a napájaciu sieť iných IoT zariadení. Ďalší prínos takéhoto sieťového merania emisného zaťaženia je možné zhmotniť aplikáciou, ktorá bude pracovať v línii smart senzory - komunikácia - úložisko - vizualizácia údajov - kalibrácia dopravného modelu.

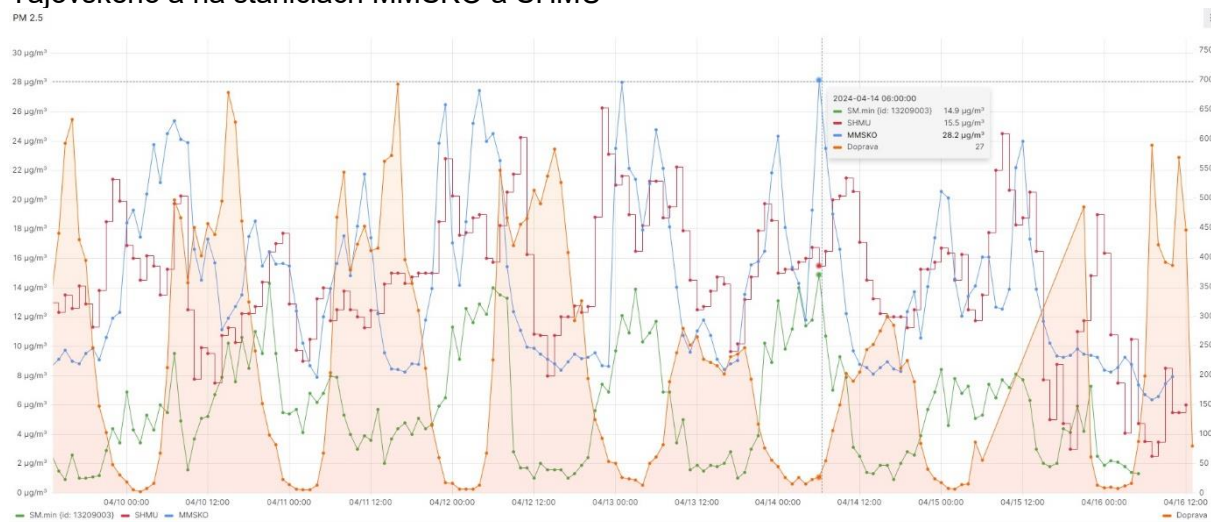
Mesto Žilina taktiež vybuďovalo sieť senzorických staníc, ktoré zlučujú merania kvality ovzdušia, hluku, intenzity osvetlenia a meteorologických parametrov. Jednotlivé senzorické stanice sú umiestnené na ôsmich miestach v rámci mesta Žilina. Do budúcnosti plánujeme prepojenie všetkých smart staníc a prezentáciu výsledkov na spoločnej platforme.

3. Vizualizácia a spracovanie dát

Navrhovaná senzorická sieť s výstupnými atribútmi (emisie znečisťujúcich látok, prašnosť $PM_{2,5}$ a PM_{10} a intenzita dopravy) je využívaná pre sledovanie reálneho stavu a zmien kvality ovzdušia vzhľadom na zmenu dopravných pomerov v sledovanom území.

Merania koncentrácií PM_{10} a $PM_{2,5}$ uskutočňované Smart senzormi SM (obr. 2) sú priebežne sledované a porovnávané s meraniami uskutočňovanými Žilinskou univerzitou v Žiline pomocou mobilnej monitorovacej stanice kvality ovzdušia (MMSKO). Smart senzory boli navrhnuté pre potreby projektu vývojármi firmy IS Industry Solutions Žilina. Prebieha tiež porovnanie výsledkov SM senzorov s meraniami realizovanými Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMÚ). Namerané dáta sú vizualizované pomocou platformy Grafana - „open source“ analytické a monitorovacie riešenie pre každú databázu (obr. 3).

Obr. 3. Porovnanie koncentrácií tuhých častíc $PM_{2,5}$ z meraní senzorom SM na ul. Tajovského a na staniciach MMSKO a SHMU



MMSKO je umiestnená v areáli Žilinskej univerzity v Žiline a využíva metódu absorpcie žiarenia beta na stanovenie koncentrácií PM_{10} a $PM_{2,5}$. Automatická monitorovacia stanica SHMU je umiestnená na ulici Obežná.

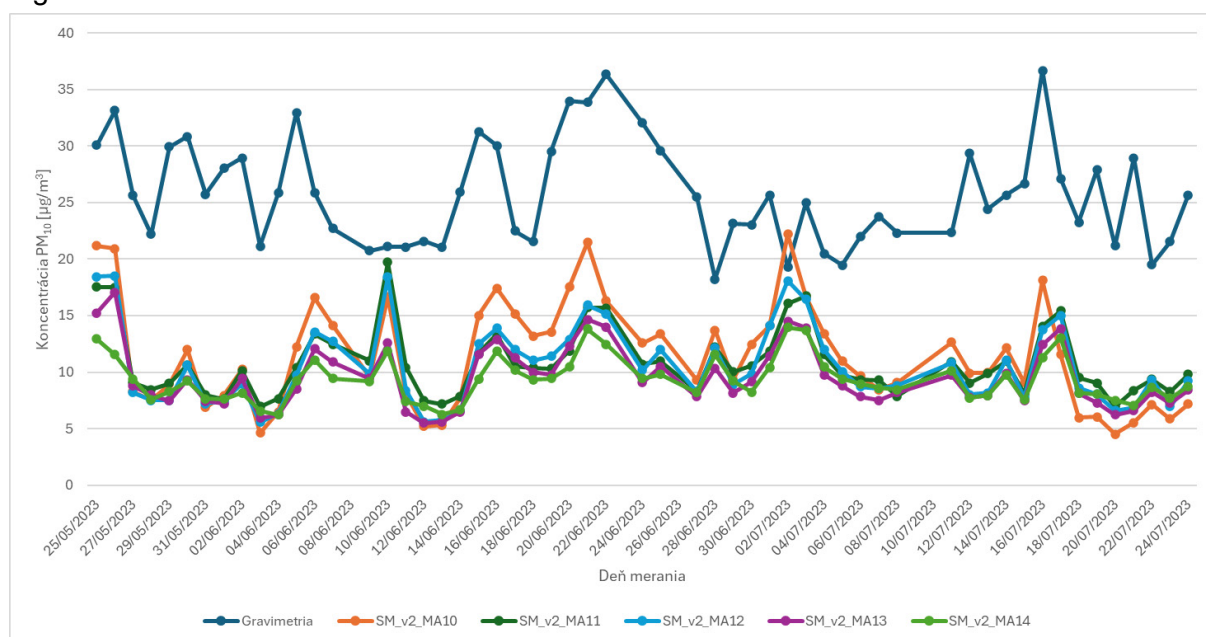
Taktiež prebiehajú podrobné porovnávacie merania PM_{10} a $PM_{2,5}$ používaného Smart senzoru (optická metóda merania PM) s referenčnou gravimetrickou metódou (obr. 4).

Bolo porovnávaných 5 smart senzorov používaných v rámci projektu REMoT. Vyhodnotených bolo 56 koncentrácií PM_{10} a $PM_{2,5}$ pre každý smart senzor. Merania boli uskutočňované počas letného obdobia 25. 5. – 24. 7. 2023. Namerané koncentrácie smart senzormi vykazujú nižšie koncentrácie ako gravimetrická metóda. Trend priebehu koncentrácií meranými smart senzormi a gravimetrickou metódou je podobný (obr. 5, 6).

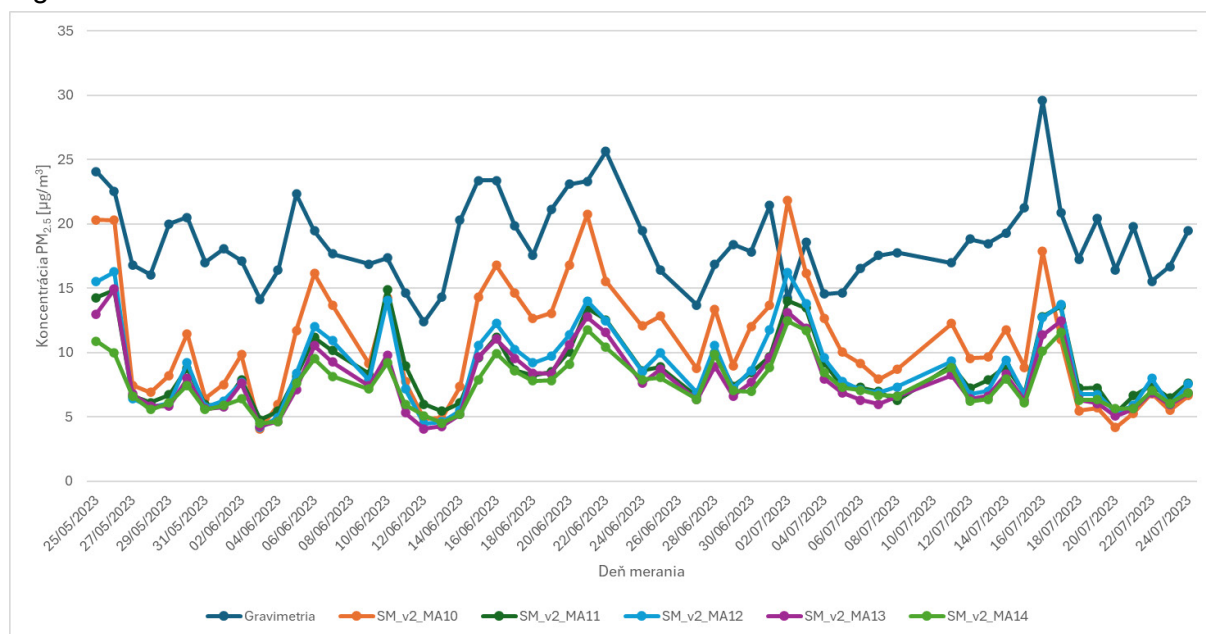
Obr. 4 Porovnávacie merania smart senzorov SM na meracom stanovišti v centre mesta Žilina



Obr. 5. Namerané koncentrácie PM_{10} počas porovnávacích meraní smart senzorov SM s gravimetrickou metódou



Obr. 6. Namerané koncentrácie PM_{2,5} počas porovnávacích meraní smart senzorov SM s gravimetrickou metódou



Pre porovnanie nameraných koncentrácií pomocou SM a gravimetrickou metódou bolo použité kritérium z-skóre. Z-skóre testuje, či je rozdiel medzi laboratóriami (metódami) nameranou hodnotou a vzťažnou hodnotou v medziach určeného kritéria a je počítané podľa vzťahu:

$$Z = \frac{x_i - X}{\sigma}, \quad (1)$$

kde x_i je priemerná hodnota laboratória pre každý meraný bod, X je vzťažná hodnota, σ je smerodajná odchýlka pre hodnotenie odbornej spôsobilosti.

Hodnotenie výsledkov podľa z-skóre sa vykonáva podľa nasledujúcich kritérií:

- výsledok merania je vyhovujúci ak $|z| \leq 2$
- výsledok merania je otázny/sporný ak $2 \geq |z| \leq 3$
- výsledok merania je nevyhovujúci ak $|z| \geq 3$.

Podľa uvedeného kritéria boli hodnotené 24-hodinové koncentrácie PM z meraní Smart senzorom a gravimetrickou metódou.

Tab. 1. Výsledky analýzy z-skóre pre koncentrácie PM₁₀ a PM_{2,5} testovaných smart senzorov

Smart senzor	z-skóre	
	PM ₁₀	PM _{2,5}
SM_v2_MA10	-3.1	-2.4
SM_v2_MA11	-3.2	-3.1
SM_v2_MA12	-3.3	-3.0
SM_v2_MA13	-3.5	-3.3
SM_v2_MA14	-3.6	-3.4

V prípade vyhodnotenia uvedených 56 meraní je výsledok z-skóre pre priemernú hodnotu PM_{10} priemernú hodnotu $PM_{2,5}$ nevyhovujúci pre každý smart senzor (tab. 1). Tieto výsledky poukazujú na skutočnosť, že koncentrácie merané smart senzormi sú nízke a nereprezentujú reálne hodnoty koncentrácií vyskytujúce sa vo vonkajšom ovzduší. Pomocou lineárnej regresnej analýzy boli definované regresné funkcie pre každý porovnávaný smart senzor z nameraných hodnôt gravimetrickou metódou a smart senzormi a boli pomocou nich prepočítané koncentrácie namerané smart senzormi. Následne boli hodnoty z-skóre jednotlivých meraní vyhovujúce.

Merania kvality ovzdušia realizované senzorickou sieťou v meste Žilina boli hodnotené za rok 2023. Vo všeobecnosti môžeme pozorovať na všetkých sledovaných lokalitách ročnú časovú variáciu znečisťujúcich látok súvisiacu predovšetkým s vonkajšou teplotou. Prejavuje sa to hlavne pri znečisťujúcich látkach PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 a CO, pri ktorých pozorujeme vyššie koncentrácie pri nižších teplotách počas roka.

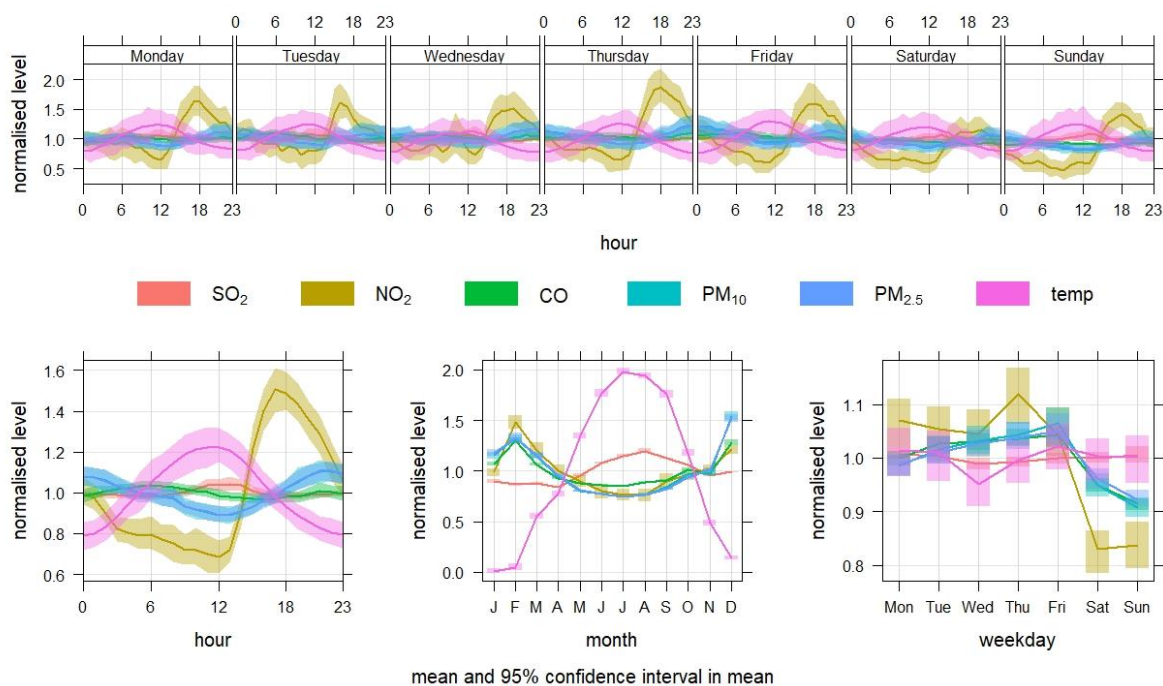
Z pozorovania časového priebehu nameraných koncentrácií jednotlivých znečisťujúcich látok možno konštatovať, že počas zimných mesiacov (vykurovacia sezóna) v roku 2023 bola kvalita ovzdušia horšia ako počas letného obdobia. Zhoršená kvalita ovzdušia sa prejavila predovšetkým z pohľadu koncentrácií tuhých častíc PM_{10} a $PM_{2,5}$ (obr. 7). Práve v období počas vykurovacej sezóny boli zaznamenané veľmi nízke teploty ovzdušia, čo výrazne ovplyvňuje aktuálny stav znečistenia ovzdušia (sekundárna tvorba tuhých častíc, prítomnosť väčšieho počtu zdrojov znečistenia ovzdušia ako napríklad lokálne vykurovanie).

Z pohľadu týždennej variácie znečisťujúcich látok (PM_{10} , $PM_{2,5}$ a NO_2) môžeme pozorovať na všetkých lokalitách opakujúci sa pokles koncentrácií počas víkendových dní. Tieto zmeny súvisia s rozvrhom týždňa, a teda pracovnými dňami, kedy obyvatelia intenzívne dochádzajú za prácou prostredníctvom cestnej dopravy, ktorá sa podieľa na znečistení ovzdušia týmito znečisťujúcimi látkami. Z pohľadu dňového priebehu môžeme konštatovať trend znečisťujúcich látok súvisiaci opäť s pracovným dňom, kedy sú vyššie koncentrácie znečisťujúcich látok v ranných hodinách a počas podvečerných hodín. Tento trend súvisí predovšetkým s využívaním cestnej dopravy (obr. 7).

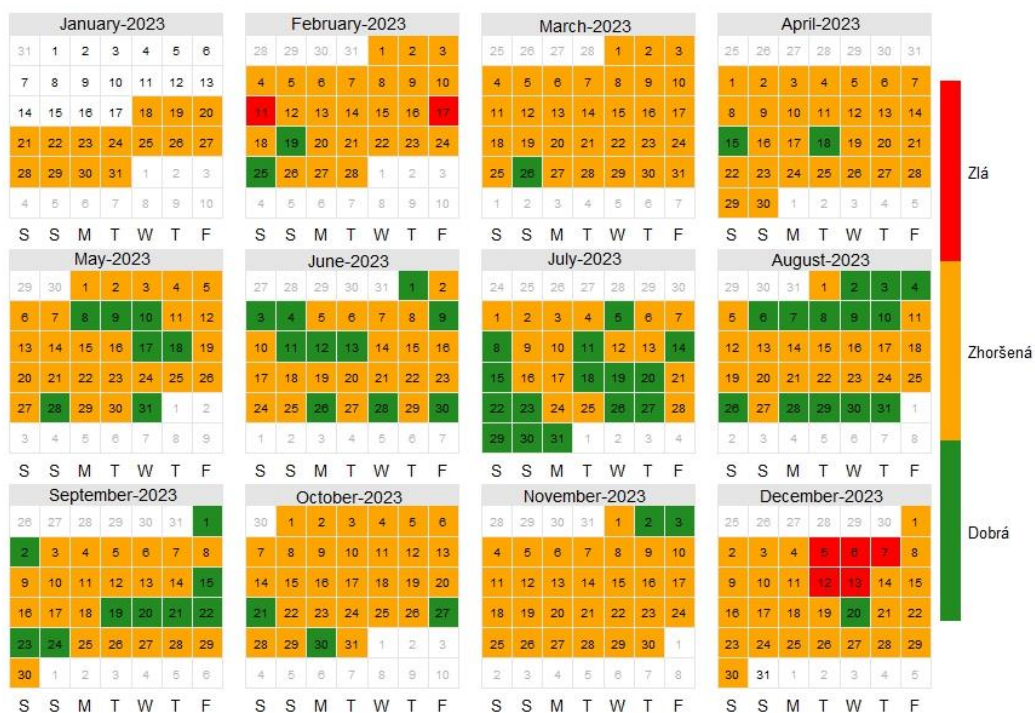
Kvalita ovzdušia bola vyhodnotená na jednotlivých lokalitách aj pomocou navrhnutého hodnotenia úrovne kvality ovzdušia – „dobrá“, „zhoršená“, „zlá“. Za týmto účelom boli vyhotovené kalendáre pre rok 2023 pre jednotlivé lokality a znečisťujúce látky s vyobrazením uvedených úrovní kvality ovzdušia v danom dni roka. Úroveň kvality ovzdušia boli stanovené pre priemerné 24 hodinové koncentrácie znečisťujúcich látok. Kvalita ovzdušia sa hodnotí podľa najhoršej znečisťujúcej látky, ktorá v tomto prípade vyšla $PM_{2,5}$. Úroveň kvality ovzdušia pre $PM_{2,5}$ môžeme pozorovať na obrázku obr. 8. Najviac dní so zhoršenou úrovňou kvality ovzdušia podľa znečisťujúcej látky $PM_{2,5}$ bolo pozorovaných na lokalite autobusová stanica Žilina. Na ostatných lokalitách bola vyhodnotená kvalita ovzdušia ako zhoršená predovšetkým počas zimných mesiacov – vykurovacia sezóna.

Z analyzovaných nameraných údajov o kvalite ovzdušia, t.j. koncentráciách znečisťujúcich látok, vyplynulo, že najmarkantnejšími znečisťujúcimi látkami z pohľadu početnosti zhoršenej úrovne kvality ovzdušia v meste Žilina za rok 2023 sú tuhé častice PM_{10} a $PM_{2,5}$. Tieto znečisťujúce látky sú výrazne problematické z hľadiska škodlivosti na ľudské zdravie a životné prostredie. Predurčuje ich k tomu predovšetkým ich chemické zloženie, ktoré zahŕňa veľkú škálu chemických prvkov a zlúčenín.

Obr. 7. Časová variácia znečisťujúcich látok a teploty na lokalite autobusová stanica Žilina



Obr. 8. CalendarPlot pre 24-hodinové priemery koncentrácií PM_{2.5} na lokalite autobusová stanica Žilina v roku 2023 s definovanou kategoriálnou stupnicou



3. Záver

Kvalita ovzdušia je pretrvávajúcim problémom, predovšetkým v mestách. Preto je vhodné o tomto probléme vedieť viac, tzn. aké znečisťujúce látky sú tie kritické, aké vysoké sú koncentrácie znečisťujúcich látok, do akej miery môžu byť škodlivé pre človeka, aké zdroje znečistenia ovzdušia sú potencionálnymi pôvodcami škodlivých látok. Následne na základe bližšieho poznania stavu a pôvodu znečistenia ovzdušia, môžeme stanoviť opatrenia na zlepšenie kvality ovzdušia.

Samosprávy majú už dnes viacero inštalácií smart zariadení, ktoré však nie vždy fungujú v súčinnosti alebo sú vhodne prezentované verejnosti. Najčastejšie sa jedná o platformu zameranú na poskytovanie aktuálnych správ o počasí, kvalite ovzdušia, úrovni hluku alebo dopravnej situácii. Všetko sú to koncepty „inteligentného mesta“ alebo „inteligentnej dopravy“, ktoré sa rýchlo rozvíjajú.

Mesto Žilina v súčinnosti s realizovanými projektami (tiež projekt REMoT) disponuje senzorickou sieťou pozostávajúcou zo smart staníc, ktoré zlučujú merania kvality ovzdušia, hluku, intenzity osvetlenia a meteorologických parametrov, intenzity dopravy.

Prezentované výsledky sú tiež súčasťou prác na prebiehajúcom projekte „Výskum mobility a emisných atribútov dopravného procesu“, ktorý riešia pracovníci Katedry cestného a environmentálneho inžinierstva Stavebnej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline. Projekt prebieha od roku 2022, bude ukončený v roku 2025.

Projekt IoT senzorickej siete monitorovania znečistenia ovzdušia cestnou dopravou v meste Žilina bude slúžiť pre stanovenie emisnej záťaže mobilitou. V nadväznosti na dopravný model bude spracovaný emisný model mesta Žilina s aktívnym kalibračným nástrojom zo senzorickej siete monitorovania ovzdušia.

Využitie informácií o zmenách environmentálnej záťaže spôsobenej cestnou dopravou je žiadúce v rozhodovacích procesoch samosprávy a verejnej správy. Na každej úrovni je nutné vytvoriť možnosť voľby pre environmentálne prijateľnú mobilitu predovšetkým v dobe, kedy rezonujú nezvratiteľné klimatické zmeny v spoločnosti.

Literatúra

- [1] EEA *Decarbonising road transport - the role of vehicles, fuels and transport demand*. 2022. 1–92 s. ISBN 9789294804730.
- [2] EEA *Transport and Environment Report 2022 (TERM2022) Digitalisation in the mobility system: challenges and opportunities [No 07/2022]*. 2022. 214 s. ISBN 9789294805195.
- [3] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA) *Air quality in Europe - 2020 report*. 2020. 162 s. ISBN 978-92-9480-292-7.
- [4] JANDACKA, D. et al. Characterization of Road Dust, PM_x and Aerosol in a Shopping–Recreational Urban Area: Physicochemical Properties, Concentration, Distribution and Sources Estimation. In *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 12674*. 2023. Vol. 15, no. 17, s. 12674.
- [5] JANDACKA, D. - DURCANSKA, D. Seasonal Variation, Chemical Composition, and PMF-Derived Sources Identification of Traffic-Related PM₁, PM_{2.5}, and PM_{2.5–10} in the Air Quality Management Region of Žilina, Slovakia. In *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18, no. 19, s. 10191.
- [6] KHOMENKO, S. et al. Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment. In *The Lancet Planetary Health*. 2021. Vol. 5, no. 3, s. e121–e134.
- [7] OECD *Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport* [online]. OECD, 2020. ISBN 9789264452442.
- [8] OECD *The Cost of Air Pollution* [online]. OECD, 2014. ISBN 9789264210424.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol v rámci projektu APVV-21-0416 „REMoT - Výskum mobility a emisných atribútov dopravného procesu“ podporeného Agentúrou na podporu výskumu a vývoja.

Air quality sensor network in the urban environment - REMoT project

Dušan Jandačka¹, Daniela Ďurčanská¹, Marek Drličiak¹, Michal Cingel²

¹*University of Žilina, Faculty of civil engineering, Department of highway and environmental engineering*

²*University of Žilina, University science park,*

^{1,2}*Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia*

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

Abstract

The level of air quality constantly resonates in society. Extreme air pollution affects the environment and residents of residential areas more and more, especially in the winter months, when the combination of air pollution sources and secondary factors exceed the limit values of harmful substances intended to protect the health of people and animals. The task of research in this area is primarily to clarify the existing air quality conditions and their changes. One possibility is the introduction of sensor networks for air quality monitoring as a tool of the Smart city concept.

The concept of Smart cities, as defined by the European Parliament, represents a comprehensive approach to the functioning of the urban region, which affects various social areas such as culture, infrastructure, environment, energy, social services and others. In each of these areas, it pursues multiple goals that are interconnected and together create a system based on the principles of sustainable development. As part of the REMoT project, a pilot project of a sensor network for monitoring air pollution by road traffic in the city of Žilina will be implemented. In the pilot project, it will be possible to actively process the data of road transport emission load measurements and traffic volume into an active transport model. The potential of knowing the benefits of reducing the emission load of the environment by road transport will be a valuable input for environmentally acceptable decision-making in the field of mobility management.

Monitorování vlivu lokálních topenišť na kvalitu ovzduší na Křivoklátsku

Ondřej Svačinka, Pavel Chaloupecký

ENVitech Bohemia s.r.o.

Ovocná 1021/34, 161 00 Praha 6

e-mail: chaloupecky@envitech.eu

Abstrakt

Střední tok Berounky se v centrální části CHKO Křivoklátsko vyznačuje meandrovitým rázem toku s říčním korytem zanořeným místy až 200 metrů pod strmě stoupajícími svahy okolních kopců. Podobný ráz má též údolí Rakovnického potoka, levostranného přítoku Berounky se soutokem v obci Roztoky. Kotlinový ráz obou údolí v této lokalitě ve velké části roku, především při bezvětří a při inverzním zvrstvení atmosféry, negativně ovlivňuje rozptylové podmínky v obcích. Vytápění tuhými palivy v lokálních topeništích je zde stále primárním zdrojem tepla. Znečištění z lokálních topenišť mnohdy způsobuje, že koncentrace aerosolových částic dosahují dlouhodobě zvýšených hodnot oproti obcím ležícím nad údolím. Ačkoliv je tato situace v širokém povědomí místních obyvatel, reálná data o míře znečištění nejsou k dispozici. Projekt si kladl za cíl pomocí senzorické sítě prachoměrných a meteorologických jednotek zmapovat koncentrace aerosolových částic frakcí PM_{10} , $PM_{2.5}$ a PM_1 a porovnat koncentrace daných látek v údolních obcích oproti obcím ležícím nad těmito údolím.

Obr. 1. Fotografie údolních obcí v regionu Křivoklátsko



1. Metodika měření

Celkem bylo v katastrálních územích šesti obcí nainstalováno 12 prachoměrných optických senzorických jednotek a 2 meteorologické jednotky s měřením rychlosti a směru větru, teploty, tlaku a vlhkosti vzduchu tak, aby byla logicky pokryta většina vymezeného území dotčených obcí.

Pro monitoring byly použity optické senzory vhodné pro použití ve venkovním prostředí se zárukou životnosti 12 měsíců. Pro měření aerosolových částic PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁ byly využity senzorické jednotky enviDUST od firmy ENVitech Bohemia s.r.o. měřící na optickém principu. Koncentrační rozsah jednotek je 0 – 500 µg/m³ a nejistota měření nepřesahuje 35%. K měření meteorologických veličin byla využity senzorické meteostanice enviMET od firmy ENVitech Bohemia s.r.o. schopné detekovat teploty - 20°C až +50°C, relativní vlhkost, atmosférický tlak, směr větru a sílu větru.

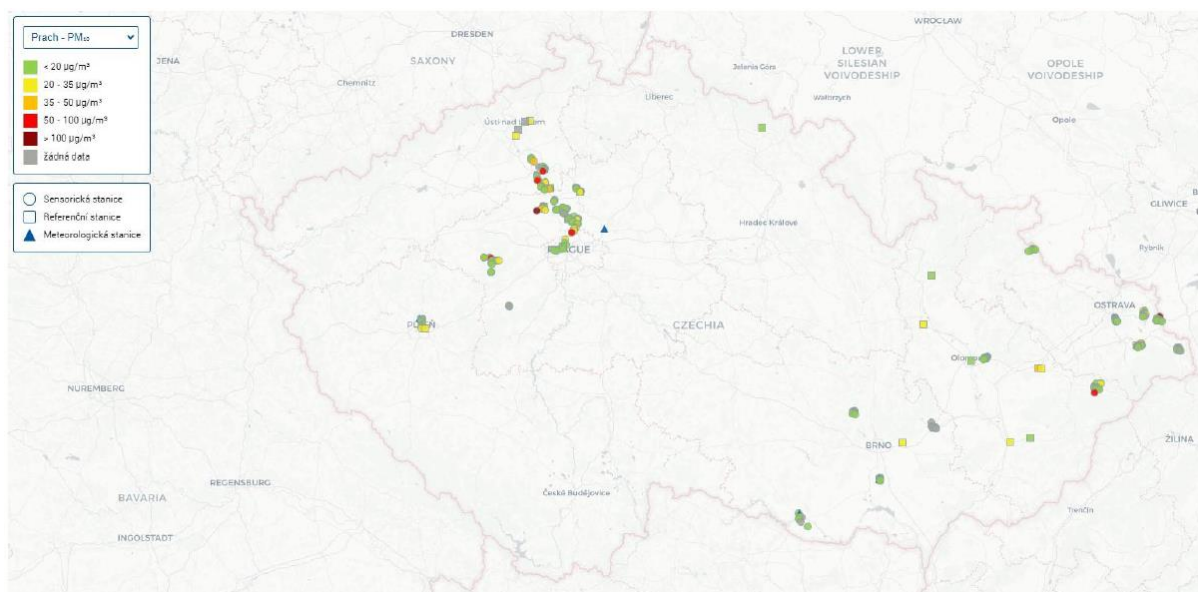
Měřicí jednotky byly instalovány na místech s možností připojení na 230 V ve výšce 2 – 4 m nad zemským povrchem, v bezpečné zóně, kde nehrozí jejich poškození lidmi či jinými vlivy, mimo přímý dosah emisních zdrojů, ale zároveň v lokalitách, kde lze očekávat zvýšené imisní koncentrace vlivem lokálních topenišť. Při rozmístění čidel byl zohledněn záměr projektu, tj. porovnat koncentrace látek v nižších údolních polohách s horšími rozptylovými podmínkami a v lépe provětrávaných vyšších polohách na svazích nad Berounkou a Rakovnickým potokem.

Obr. 2. Prachoměrná senzorická jednotka enviDUST, senzorická meteostanice enviMET



Po celou dobu monitoringu byla naměřená data dostupná na webovém portálu SmartENVI. SmartENVI nabízí přehledné geografické zobrazení monitorovaných lokalit, umožňuje rozdělení do projektů, poskytuje grafické zobrazení detailů stanic s aktuálními hodnotami, umožňuje snadné a přehledné srovnání různých veličin mezi stanicemi, nabízí návštěvníkům možnost stahovat data a vytvářet tak vlastní analýzy o stavu ovzduší. SmartENVI zobrazuje data jak ze senzorických, tak vybraných referenčních stanic a umožňuje tak laické veřejnosti i odborníkům sledovat stav ovzduší v mikroregionálním i celostátním měřítku.

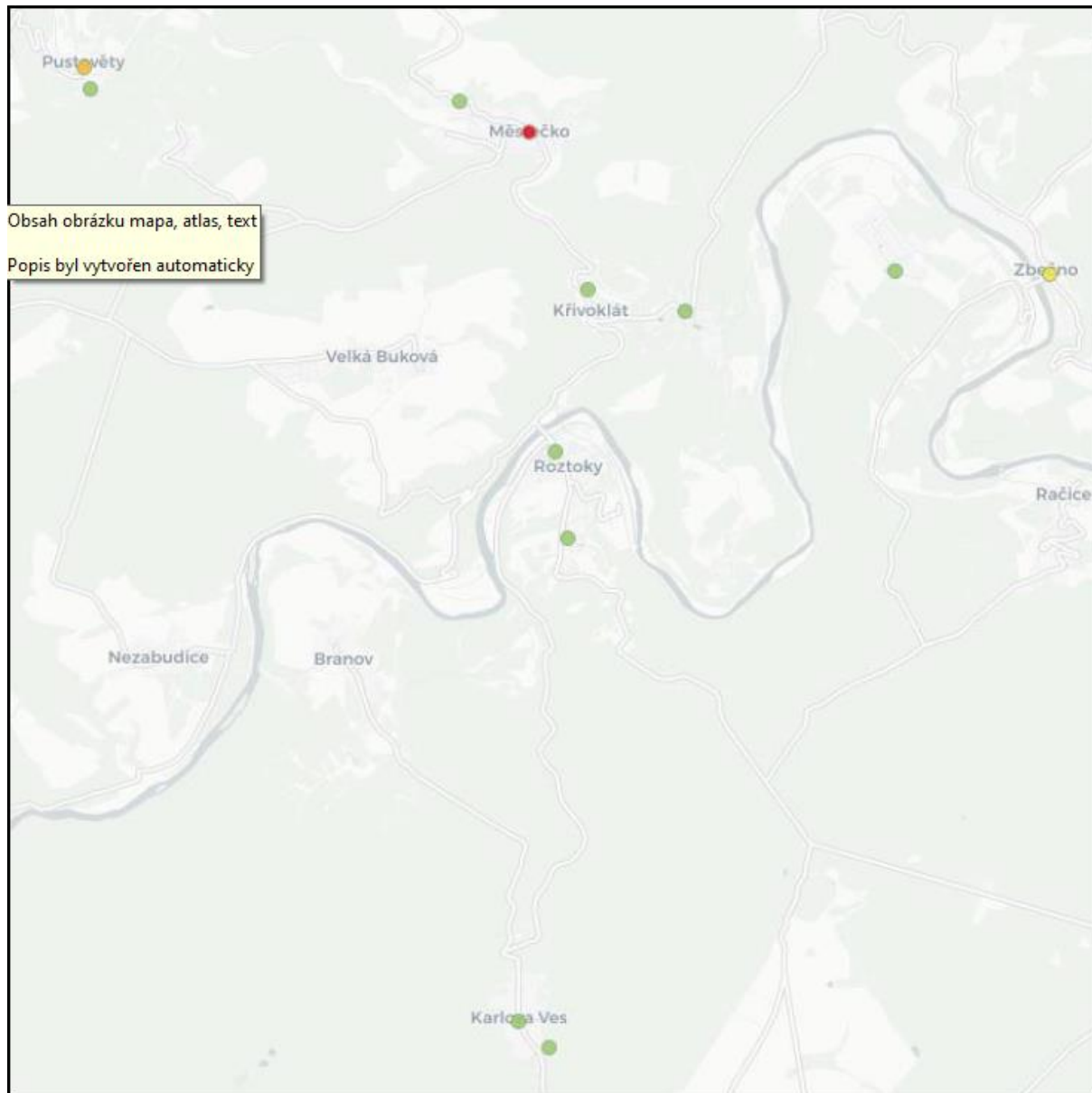
Obr. 3. Ukázky z webové aplikace SmartENVI



3. Lokality měření

Pro monitoring aerosolových částic frakce PM_{10} , $PM_{2.5}$ a PM_1 bylo v údolí středního toku Berounky, resp. Rakovnického potoka v CHKO Křivoklátsko vybráno 6 obcí. Primárně byly sledovány špatně provětrávané obce s kotlinovou polohou a silným vlivem lokálního vytápění na kvalitu ovzduší. Monitoring probíhal též v lokalitách s lepšími rozptylovými podmínkami, kde bylo možné očekávat nižší koncentrace sledovaných veličin. Do každé obce byly nainstalovány dvě prachoměrné optické senzorické jednotky, přičemž většina z nich měřila koncentrace v lokalitách s očekávaným vlivem vytápění z lokálních topenišť, naproti tomu jedna nebo dvě jednotky byly v pozadových lokalitách nad údolími zmíněných toků. Z každého typu lokalit (údolí x vyvýšené místo) byla vybrána jedna lokalita pro sledování meteorologických veličin. Obcemi reprezentujícími údolní polohu jsou Pustověty, Městečko, Křivoklát (vše Rakovnický potok), Roztoky a Zbečno (údolí Berounky). Naopak nad údolími obou toků se nachází obec Újezd nad Zbečnem, část obce Křivoklát a Karlova Ves.

Obr. 4. Přehled lokalit, celkový pohled



4. Vyhodnocení

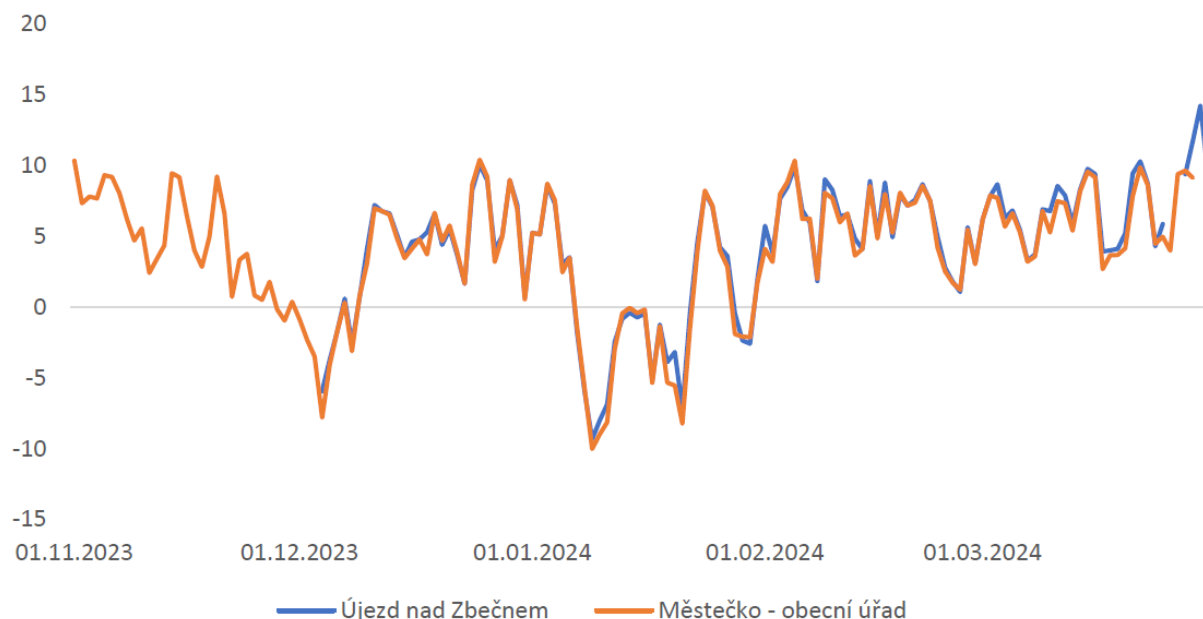
4.1. Meteorologické podmínky

Meteorologické podmínky byly sledovány v lokalitách Újezd nad Zbečnem, hasičárna a Městečko – obecní úřad. Graf níže ukazuje průměrnou denní teplotu vzduchu v obou lokalitách.

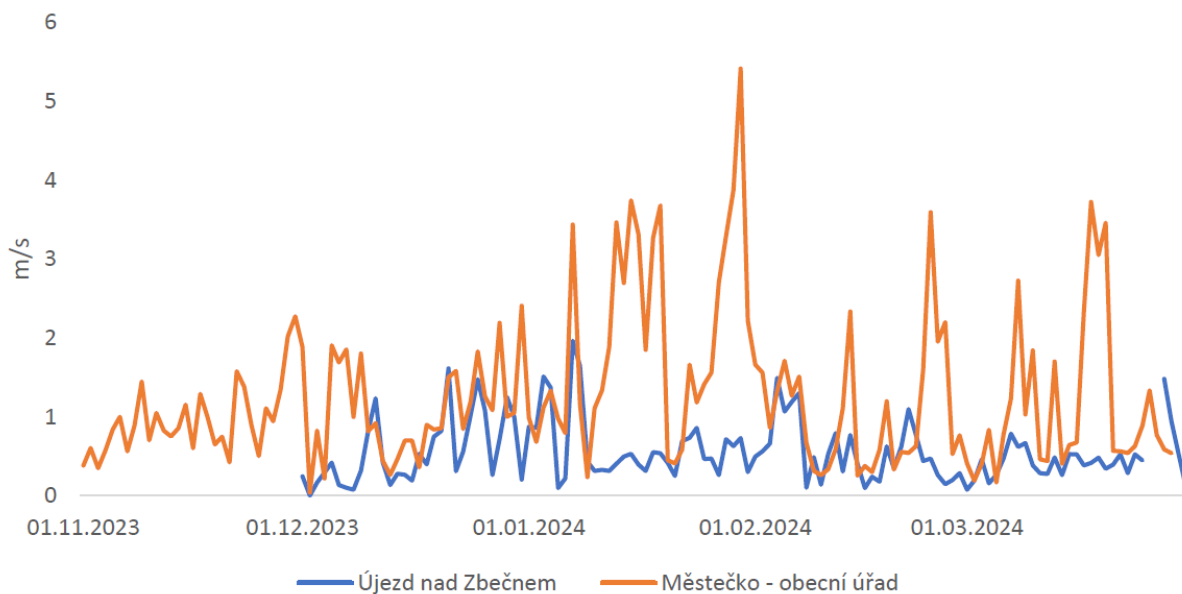
Přestože se teplota vzduchu může lišit i na relativně malou vzdálenost, v dlouhodobějším hledisku není její prostorová variabilita tak vysoká. Dokazuje to i graf níže, kde se obě křivky vzájemně téměř stoprocentně překrývají.

Z výše uvedeného grafu je také důležité všimnout si nejchladnějších období, což byl začátek prosince a druhý lednový týden. V tyto týdny tedy také lze očekávat nejvyšší intenzitu vytápění, což se projeví zejména v lokalitách výrazně zatížených právě znečištěním z lokálních topenišť.

Obr. 5. Průměrná denní teplota vzduchu v lokalitách Újezd nad Zbečnem, hasičárna a Městečko – obecní úřad



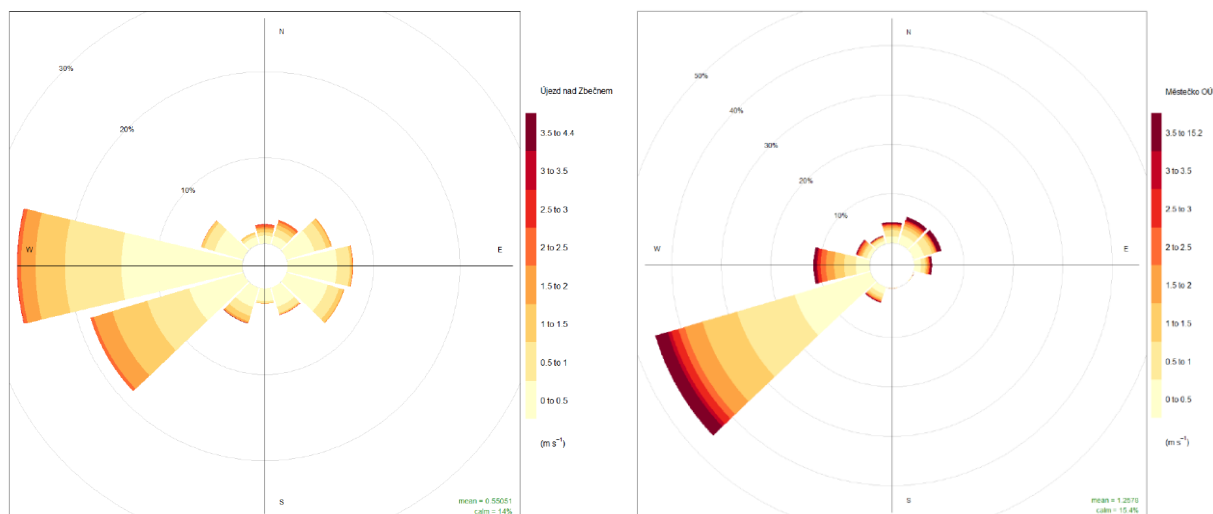
Obr. 6. Průměrná denní rychlost větru v lokalitách Újezd nad Zbečnem, hasičárna a Městečko – obecní úřad



Naopak v případě rychlosti větru, jak ukazuje graf výše, průměrná rychlost větru byla výrazně vyšší v lokalitě Městečko – obecní úřad. Rychlost větru v této přízemní vrstvě však primárně ovlivňují právě překážky v blízkém okolí, plošné proudění ve vyšších hladinách může být výrazně podobnější.

Z grafů níže je zřejmé, že v obou lokalitách bylo dominantní západní a jihozápadní proudění.

Obr. 7. Kombinovaná větrná růžice vyjadřující četnost směru a rychlosti větru v lokalitách Újezd nad Zbečnem a Městečko – obecní úřad za celé hodnocené období

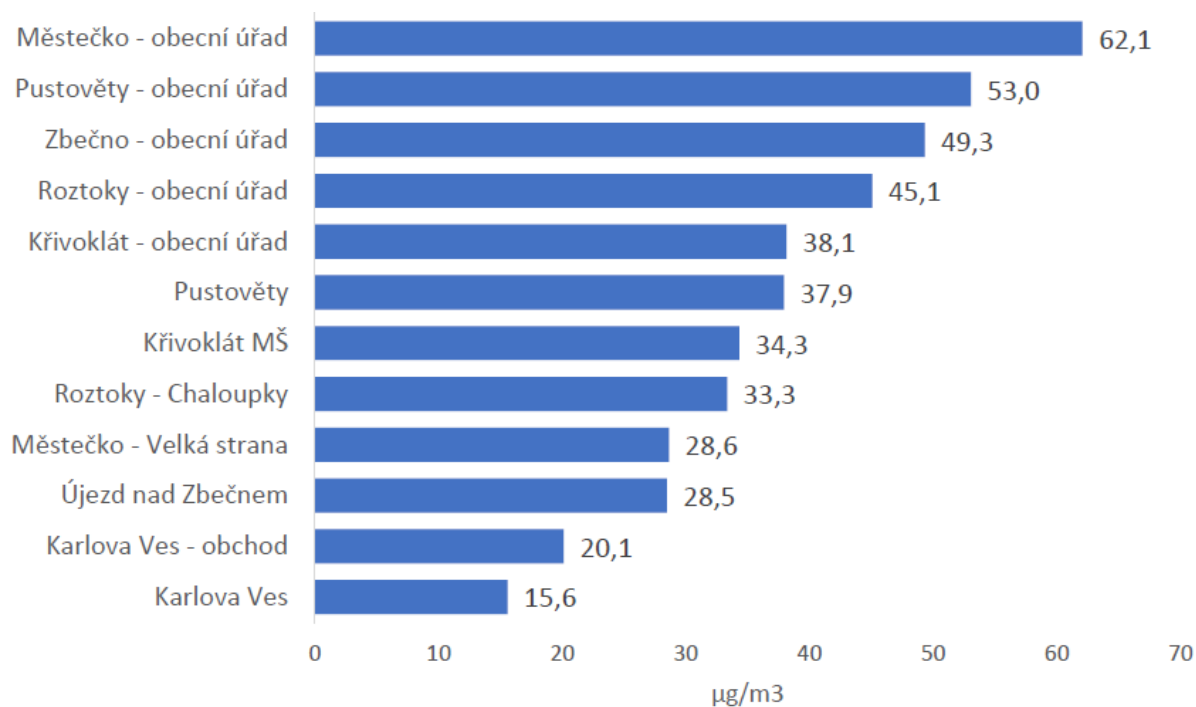


4.2. Aerosolové částice

Následující graf ukazuje průměrné koncentrace částic PM₁₀ v jednotlivých lokalitách za období od XII/2023 do III/2024.

Jednoznačně nejvyšší byly koncentrace částic PM₁₀ i PM_{2,5} v lokalitě Městečko – obecní úřad. Naopak nejnižší byly v lokalitě Karlova Ves.

Obr. 8. Průměrná koncentrace částic PM₁₀ v jednotlivých lokalitách za období od prosince 2023 do března 2024

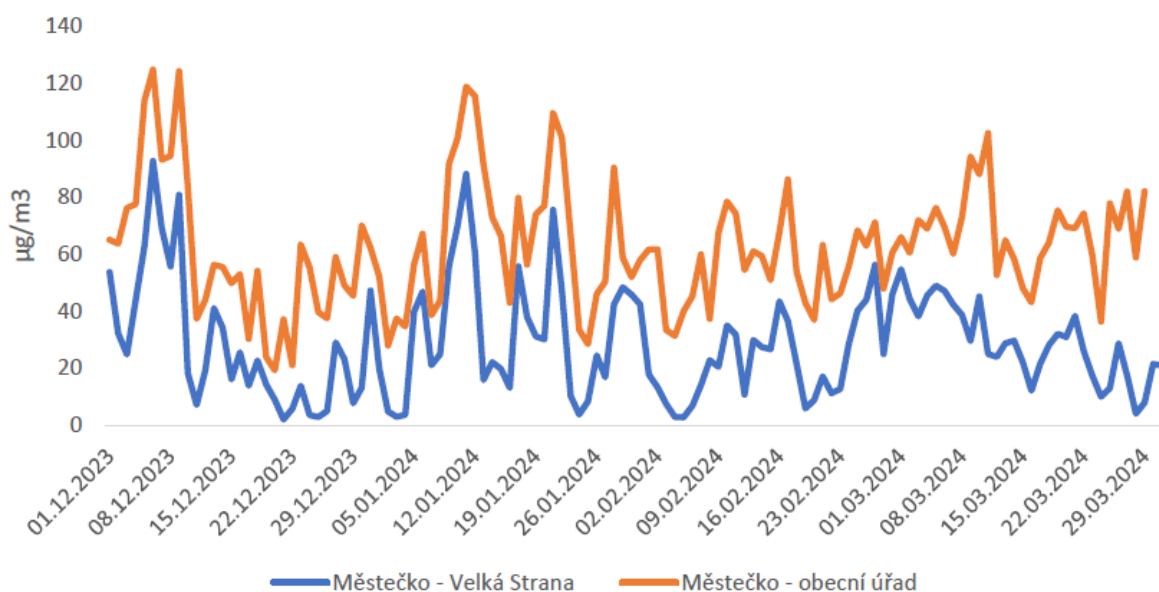


Z grafu na obr. 9 je zřejmé, že jednoznačně vyšší koncentrace částic PM₁₀ (totéž platí i pro PM_{2,5}) byly pozorovány v lokalitě Městečko – obecní úřad, kde byly vůbec nejvyšší i v rámci všech lokalit v rámci projektu. V případě částic PM₁₀ je rozdíl

v průměrné koncentraci více než dvojnásobný (123 %), v případě frakce $PM_{2,5}$ je rozdíl přibližně 127 %.

Lokalita u obecního úřadu je o zhruba 50 výškových metrů níže než lokalita Velká Strana. Právě v údolích bývá kvalita ovzduší zejména v zimním období problematická, protože je zde nižší rychlost proudění a znečištění se zde může kumulovat. V centrech menších obcí také bývá poblíž jejich středu často starší zástavba, ve které jsou běžné staré kotle na pevná paliva. Tento obecný fakt se v lokalitě Městečko velmi dobře potvrdil – koncentrace v níže položené lokalitě byly více než dvojnásobné.

Obr. 9. Průměrné koncentrace částic PM_{10} v lokalitě Městečko – Velká Strana a Městečko – obecní úřad

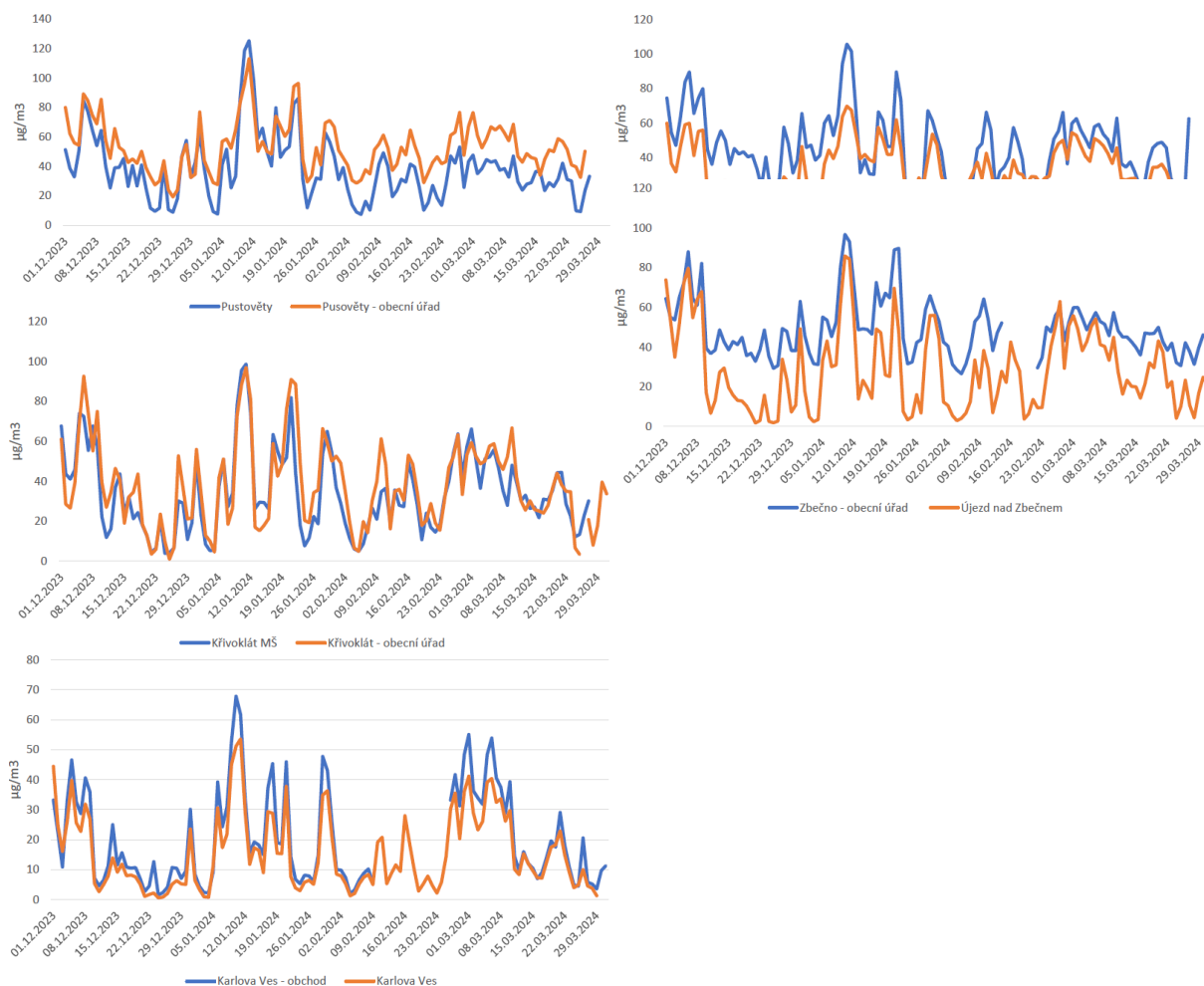


Z grafů na obr. 10 je patrné, že také v lokalitách Roztoky a Zbečno je patrný podobný trend jako v lokalitě Městečko, tj. znatelně vyšší koncentrace aerosolových částic PM_{10} (i $PM_{2,5}$) v údolních lokalitách. V lokalitě Křivoklát je tento rozdíl méně patrný, jelikož lokalita Křivoklát MŠ se nachází také ve starší zástavbě a výškový rozdíl obou lokalit není tak výrazný jako ve výše zmíněných lokalitách.

Obě měřící lokality v rámci obce Pustověty se nachází v údolí Rakovnického potoka. Znatelně vyšší koncentrace v lokalitě Pustověty – obecní úřad tak jsou patrně způsobeny lokálními zdroji domácího vytápění v nejbližším okolí.

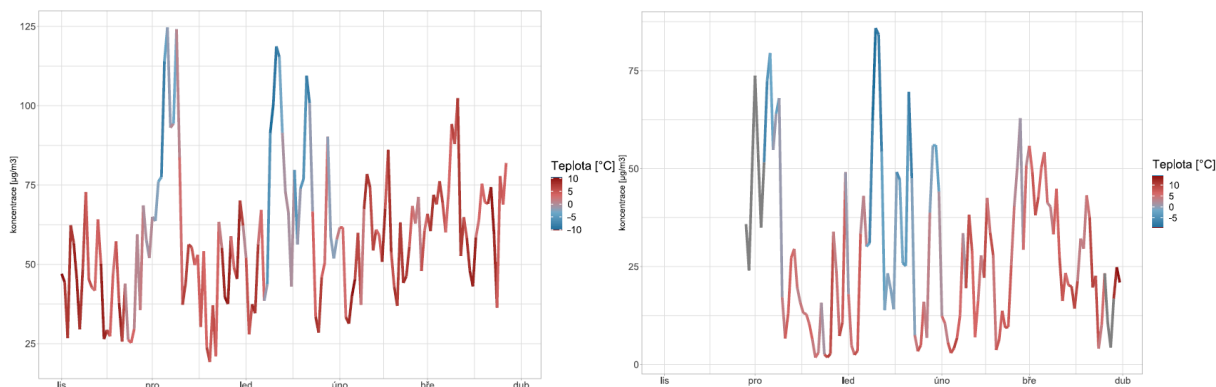
Naopak obec Karlova Ves se rozprostírá v dobře provětrávané poloze vysoko nad údolím Berounky. Proto naměřené koncentrace na obou lokalitách v této obci zdaleka nedosahují úrovně naměřené v ostatních lokalitách v rámci projektu. Nepatrně vyšší koncentrace v lokalitě Karlova Ves - obchod jsou patrně způsobeny lokálními zdroji domácího vytápění v nejbližším okolí.

Obr. 10. Průměrné koncentrace částic PM₁₀ v lokalitách Pustověty, Křivoklát, Roztoky, Zbečno a Karlova Ves



Grafy na obr. 11 ukazují závislost koncentrací částic PM₁₀ a PM_{2.5} na teplotě vzduchu v lokalitách Městečko a Újezd nad Zbečnem, kde se měřily také základní meteorologické parametry. Graf ukazuje hodnotu koncentrace částic jako denní průměr, barva čáry znázorňuje teplotu vzduchu rovněž jako denní průměrnou hodnotu. Z grafů je jednoznačně patrné, že nejvyšší koncentrace byly naměřeny v obdobích, kdy byla také nejnižší teplota vzduchu. Tento fakt jasně poukazuje na dominantní vliv lokálního vytápění na koncentrace prашných částic.

Obr. 11. Koncentrace částic PM₁₀ jako denní průměr s vyznačením průměrné denní teploty vzduchu pomocí barvy čáry – lokality Městečko – obecní úřad (vlevo) a Újezd nad Zbečnem – hasičárna (vpravo)



2. Shrnutí

Chod denních koncentrací částic PM₁₀ i PM_{2,5} ukazuje na vliv lokálního vytápění ve sledovaných lokalitách. Na naprosté většině lokalit byl patrný postupný nárůst od pozdních odpoledních až večerních hodin, což je typické právě pro lokality s výraznějším vlivem vytápění.

V rámci srovnávaných lokalit byl jasně patrný rozdíl mezi koncentracemi naměřenými poblíž obecních úřadů a lokalitami v rámci stejné nebo blízké obce ve vyšší nadmořské výšce. V případě lokalit obecních úřadů byly ve všech případech naměřeny vyšší koncentrace částic PM. Tento fakt je dán několika skutečnostmi. Tou první je horší rozptyl. Obecní úřady bývají většinou umístěny blízko centra obce s hustou zástavbou v okolí. Ta obecně snižuje rychlost proudění, a tedy provětrávání lokalit a znečišťující látky zde mají vyšší tendenci se kumulovat. Dále může být tato zástavba, často navíc tvořena staršími domky blízko centra obce, zdrojem výrazného množství emisí z vytápění. Nejvýraznější problém – vytápění ve starých kotlech na pevná paliva – je typické spíše pro starší zástavbu, neboť v nově postavených stavbách již tento způsob vytápění nebývá povolován a většinou jsou tedy tyto lokality obecně méně zatížené tímto zdrojem.

V případě částic PM_{2,5}, které jsou primárně produkovány spalovacími procesy, byly ze všech hodnocených lokalit koncentrace PM nejvyšší v lokalitě Městečko – obecní úřad, dále Pustověty – obecní úřad a Zbečno – obecní úřad. Tato lokalita má údolní charakter a o to více je zde omezen rozptyl v horizontálním směru. Jedná se o hůře provětrávanou náves se starší zástavbou v okolí. Koncentrační růžice z této lokality ukazuje na vliv znečištění zejména z jihozápadního a jihovýchodního směru.

Ve všech lokalitách byla jasně patrná vazba teploty vzduchu na koncentracích částic PM. Obecně lze říci, že čím byla teplota vzduchu nižší, tím byly koncentrace vyšší. Nejchladnějšími dny hodnoceného období byl druhý lednový týden, a to plošně v celé České republice. Ve všech sledovaných lokalitách byl v toto období patrný nárůst a zvýšené koncentrace částic PM v ovzduší. Naopak velmi nízké byly koncentrace částic PM plošně kolem 21. prosince 2023, kdy na celém našem území relativně vydatně pršelo, foukalo a bylo relativně teplo (teploty vzduchu v denním průměru až kolem +8 °C) a panovaly tak extrémně příznivé rozptýlové a meteorologické podmínky pro nízké koncentrace znečišťujících látek.

Měření dále potvrdilo využitelnost senzorického měření k orientačnímu zhodnocení úrovně znečištění v konkrétní lokalitě. Toto měření však má svá specifika, která zahrnují například nutnost srovnávacího měření s referenčním přístrojem a případnou úpravu koeficientu měření, dále neustálý dohled nad naměřenými trendy koncentrací (některé senzory mohou měřit zcela odlišně a je nutná jejich výměna), v neposlední řadě pak mohou nastávat situace, které senzorické měření nedokáže detekovat. V případě této měřicí kampaně se jednalo zejména o epizodu intenzivního přechodu saharského písečného prachu přes Českou republiku v závěru hodnoceného období na přelomu března a dubna. Zatímco referenční přístroje detekovaly extrémní nárůst koncentrací, zejména frakce PM₁₀, který na většině území vedl až k vyhlášení smogových situací, senzorické jednotky v ani jednom případě toto zvýšení nezaznamenaly, přestože je jisté, že v daných lokalitách byly koncentrace rovněž zvýšené.

Monitoring the impact of local heating plants on air quality in the Křivoklátsko region

Ondřej Svačina, Pavel Chaloupecký

ENVitech Bohemia s.r.o.

Ovocná 1021/34, 161 00 Praha 6

e-mail: chaloupecky@envitech.eu

Abstract

The middle course of the Berounka River in the central part of the Křivoklátsko Protected Landscape Area is characterised by its meandering nature with a riverbed sunk in places up to 200 metres below the steeply rising slopes of the surrounding hills. The valley of the Rakovnický Brook, a left-side tributary of the Berounka River with its confluence in the village of Roztoky, has a similar character. The basin-like character of both valleys in this locality negatively affects the dispersion conditions in the villages for a significant part of the year, especially in the absence of wind and during inversion of the atmosphere. Heating with solid fuels in local stoves is still the primary source of heat in this region. Pollution from local heating plants often causes aerosol particle concentrations to reach long-term elevated values compared to municipalities higher above the river bed. Although this situation is widely known by local residents, real data on pollution levels are not available. The project aimed to map the concentrations of aerosol particles of PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ fractions using a sensor network of dust and meteorological units and to compare the concentrations of the substances in the valley municipalities with those of the municipalities lying above the valleys.

Úspory emisí NO_x v silniční dopravě, dosažitelné pomocí aplikace finančních nástrojů v roce 2030

Leoš Pelikán¹, Libor Špička¹, Vojtěch Máca, Milan Ščasný, Petr David,

Břetislav Andrlík, Anna Tišlerová¹

¹Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

²Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí

Ovocný trh 560/5, 116 36 Praha 1

³Mendelova univerzita v Brně, Provozně ekonomická fakulta

Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

e-mail: leos.pelikan@cdv.cz

Abstrakt

Příspěvek shrnuje výsledky projektu SS03010156, který se zabýval aplikací vybraných daňových a poplatkových nástrojů i bonusů v oblasti silniční dopravy. Účelem bylo modelovat efekt těchto opatření na stimulaci obnovy vozového parku a na urychlení nástupu nízkoemisních a bezemisních technologií a díky tomu i na úsporu emisí v roce 2030. Zároveň byly řešeny i ekonomické dopady a byla formulována doporučení ve vztahu k efektivitě nástrojů a k náročnosti jejich aplikace. Efekty na emise byly modelovány metodou „Tank to wheel“ a pomocí výpočetního programu COPERT 5, TIMES-CZ. V rozšířeném a kalibrovaném programu COPERT 5 byly vytvořeny emisní faktory pro modelové roky (2018, 2025 a 2030). V programu TIMES (řeší celkový energetický a technologický mix pro uspokojení poptávky po energiích a službách) byly modelovány dopady na vozový park, spotřebu energie a emise látek. Model CGE (ekonomický model všeobecné rovnováhy) pak počítal dopady na HDP, veřejné finance, zaměstnanost a změnu struktury odvětví národního hospodářství. Výstupy projektu mají sloužit jako podklad při tvorbě strategických dokumentů (např. pro aktualizaci Národního akčního plánu čisté mobility [1], aktualizace strategií ke snížení emisí v ČR [2], Dopravní politiky ČR [3] a dalších) a rozhodování státní správy v oblasti plánování a směřování silniční dopravy směrem k čisté mobilitě. Tento příspěvek je zaměřen na emise oxidů dusíku, které silniční doprava produkuje nejvýznamněji, a to obzvláště ve městech.

1. Metodika

Před zahájením samotného modelování byly nejprve analyzovány nástroje **regulace emisí ze silniční dopravy na úrovni ČR a EU**. Zejména bylo hodnoceno **zdanění a zpoplatnění pořízení, vlastnictví a provozu silničního motorového vozidla v zemích Evropské unie a vývoj počtů registrací vozidel v zemích EU**.

Mezi základní vstupy do modelu patří poplatkové a fiskální nástroje, které lze použít pro motivaci k obměně vozového parku. U poplatkových a fiskálních nástrojů byly popsány jejich základní parametry, mezi které patří:

- Výchozí stav v ČR
- Popis podstaty nástroje a jeho možných variant
- Obdoba tohoto nástroje v EU
- Emise ve výchozím roce dle zpoplatněných kategorií vozidel.

Navrženy byly následující poplatkové a fiskální nástroje a jejich podrobný popis je uveden v dokumentu „Studie“ [4].

- Registrační poplatek – rozšíření poplatku na další EURO normy, aplikace na první přeregistraci vozidel všech kategorií.
- Registrační daň – aplikace na první registraci vozidla OA (osobní automobily) a LUV (lehká užitková vozidla) v České republice. Zpoplatnění dle emise CO₂. Aplikace bonus malus systému.
- Silniční daň – úprava zákona o dani silniční pro zvýhodnění environmentálně šetrných vozidel.
- Silniční daň všeobecná – rozšíření předmětu daně i na vozidla soukromých vlastníků.
- Časové zpoplatnění – vozidla do 3,5t a aplikace zvýšení jmenovité hodnoty dálniční známky.
- Výkonové zpoplatnění – vozidla nad 3,5t, aplikace plošného navýšení mýtného ve formě zavedení příplatku za CO₂.
- Spotřební daň – úprava sazeb spotřební daně na nová EU minima a zavedení EU ETS2 (Evropský systém obchodování s emisními povolenkami).
- Daň z příjmů – zvýhodnění pořízení a vlastnictví environmentálně šetrnějších, zejména elektrických, vozidel.

Dalším důležitým vstupem byly **emisní faktory** vytvořené na základě Emission inventory Guidebook 2019 [5], databáze HBEFA (Handbook Emission Factors for Road Transport) a rešerše literatury. Byla vytvořena emisní databáze pro modelové roky 2018 (547 kategorií vozidel), 2025 (673 kategorií vozidel) a 2030 (673 kategorií vozidel včetně Euro 7/VII). V modelování byly rovněž zohledněny **elasticity poptávky** po dopravě získané z vlastních empirických šetření preferencí domácností při pořízení osobního automobilu a šetření o rozhodování a preferencí při volbě dopravního módu. Tato šetření byla doplněna o poznatky ze zahraniční literatury. Na základě analýzy časové řady nových registrací a deregistrací v Registru silničních vozidel (RSV) a proběhů z propojených dat RSV a CIS STK (Centrální informační systém stanic technické kontroly) byly odvozeny **parametry dynamiky obnovy a využívání vozového parku v ČR**. Dále byly Bassovým modelem [6] analyzovány **trendy v obměně vozového parku** do roku 2050. Pro modelování efektu poslední novelizace směrnice 1999/62/ES („Euroviněta“) směrnicí 2022/362 byl použit **Národní dopravní model ČR**. Všechny uvedené vstupy byly využity pro vyhodnocení scénářů modelem TIMES-CZ a modelem CGE.

Dále byl použit model **TIMES-CZ**, což je energetický, technologicky orientovaný, dynamický model využívající modelový generátor TIMES, který hledá optimální řešení celkového energetického a technologického mixu pro uspokojení exogenně stanovené poptávky po energiích a energetických službách při dosažení nejnižších možných celkových diskontovaných nákladů za celé analyzované období. Model je rozčleněn na 7 energetických modulů, kdy nejvýznamnějším modulem pro účely projektu je modul dopravních výkonů a vozového parku, který byl v projektu nejvíce rozpracován.

Na model TIMES CZ pak navazuje **model všeobecné rovnováhy (CGE)**, který vychází z neoklasické mikroekonomické teorie, kdy se předpokládá rovnováha na trzích skrz cenový mechanismus a dokonalá konkurence. CGE je ekonomickým

modelem patřícím do skupiny modelů fungujících na principu top-down, který využívá pro své vstupy reálná ekonomická data a sleduje, jak ekonomika reaguje na změny v oblasti politiky, technologií či na další externí faktory. V modelu je podrobněji rozpracována diskrétní volba nově registrovaných osobních automobilů a relativně podrobná reprezentace osobních vozidel ve vozovém parku a při jeho obnově. Nákladní doprava je modelována jako vstup pro ostatní výrobní sektory s možností substituce mezi silniční a železniční dopravou a je parametrizována skrze změnu exogenního podílu spotřeby fosilních paliv a elektřiny.

2. Hodnocené scénáře

Pro modelování byly použity scénáře, ze kterých vycházela aktualizace Vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu (NKEP). Ty shodně jako NPSE-WM 2023 (Národní program snižování emisí) zohledňují novou legislativu (mj. zpřísnění výkonových limitů na CO₂ emise z nových lehkých vozidel) a tomu korespondující efekt na budoucí nabídku těchto vozidel. Nad scénářem NKEP *wam* (*with additional measures*) je modelováno zavedení jak jednotlivých nástrojů, tak jejich vzájemné kombinace. Jedinou výjimkou je ETS2, jehož zavedení již bylo schváleno směrnicí 2023/959 s počátkem od roku 2027 (případně 2028 při vysokých cenách energií) a je proto zahrnut již ve scénáři *wam* (scénářem bez zavedeního ETS2 je scénář *wem*). Vzhledem k táhnoucímu se legislativnímu procesu ohledně nové emisní normy Euro 7/VII (a i s ohledem na značné zmírnění původního návrhu Komise a nejistotu ohledně data vstupu v platnost) není pro horizont roku 2030 s touto emisní normou počítáno. Databáze modelových scénářů je jedním z hlavních výstupů projektu a je veřejně dostupná na adrese vmac.shinyapps.io/NOx2030_database/.

3. Výsledky

Efekty jednotlivých nástrojů jsou ukazují **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Modelové vyhodnocení revize registračního (emisního) poplatku ukazuje velmi malý přínos, když v roce 2030 došlo ke snížení emisí NO_x o 0,08 kt. Díky revizi by došlo hlavně k redukci dovozu vozidel Euro 4 a hlavně Euro 5, avšak efekt je jednoznačně závislý na nastavení konkrétních sazeb.

Registrační daň (+ případný bonus) vychází jako jeden z nejúčinnějších hodnocených nástrojů, když v roce 2030 vede ke snížení emisí NO_x o **0,25 kt**. Předností tohoto nástroje je přímý efekt na nově pořizovaná vozidla – jak nová, tak i dovážená ojetá. Doplnění registrační daně o bonus v uvažované výši 100 tis. Kč na bezemisní vozidlo nemá v roce 2030 prakticky žádný dodatečný efekt (a to primárně kvůli dosažení stropu 400 tis. BEV v modelu). Jeho přínos je však v urychlení rozvoje elektromobility, kdy dochází k mírnému snížení emisí oproti referenčnímu scénáři již před rokem 2030.

Zavedení všeobecné silniční daně odvozené dle CO₂ emisí vozidla má v modelované podobě potenciál přispět ke snížení emisí NO_x v roce 2030 o 0,144 kt. Tento nástroj dopadá na celý vozový park, což má na jednu stranu plošný motivační

efekt, na druhou stranu působí nepřímo retroaktivně a může tak vést k nezanedbatelným sociálním dopadům; výběr takové daně způsobem obdobným stávajícímu systému daně silniční by byl spojen se značnými administrativními přírůmy a vyvolanými náklady.

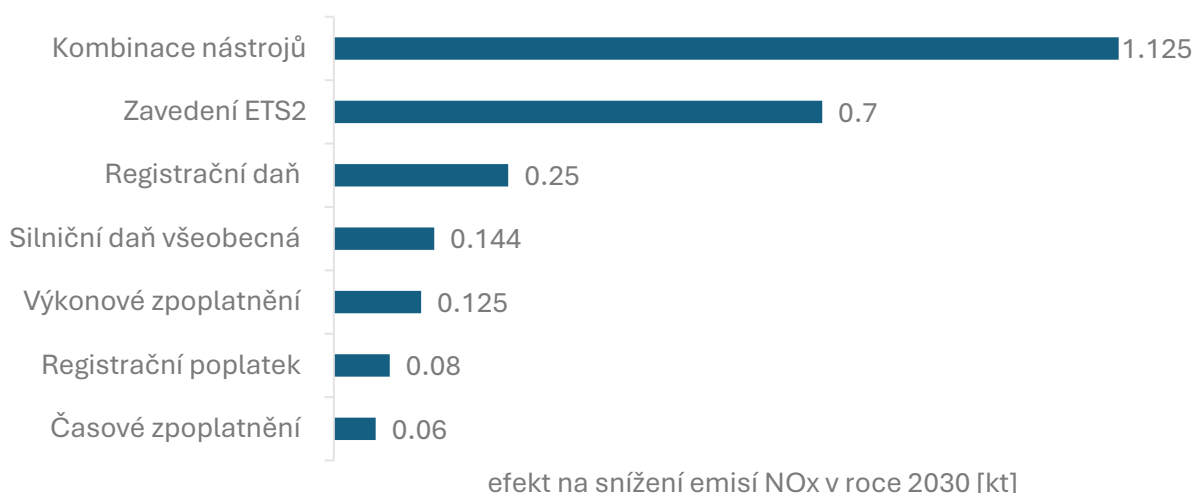
Již schválené navýšení časového zpoplatnění (dálniční známky) má dle modelových výpočtů velmi malý efekt na emise NO_x, v roce 2030 okolo 0,06 kt. Jelikož se ale jedná o svého druhu uživatelský poplatek, je to vhodný doplňkový nástroj v nástrojovém mixu s jiným významnějším nástrojem či nástroji.

Zavedení nového systému emisního obchodování s povolenkami ETS2 pro CO₂ ve fosilních palivech pro silniční dopravu má na emise nejvýraznější vliv ze všech modelovaných nástrojů. Odhadovaný **efekt na snížení emisí NO_x v roce 2030 dosahuje 0,7 kt**. U tohoto efektu lze navíc očekávat prohlubování v dalších letech, neboť cena emisní povolenky v čase velmi pravděpodobně poroste.

Efekt navýšení výkonového zpoplatnění (mýtného) pro nákladní vozidla nad 3,5 t byl modelován jiným přístupem s použitím Národního dopravního modelu. Toto modelové vyhodnocení ukázalo pokles výkonů silniční nákladní dopravy o 2,12 %. Odhadovaný efekt na snížení emisí NO_x ze silniční dopravy v roce 2030 činí 0,125 kt.

Kombinací nástrojů – registračního poplatku, silniční daně, dálniční známky a ETS2 – lze dle modelového výpočtu dosáhnout snížení emisí NO_x o cca **1 kt** v roce 2030, přičemž hlavní podíl na tomto snížení má (již schválené) zavedení ETS2. Připočteme-li k tomu separátně modelovaný efekt zvýšeného mýtného, lze kombinací nástrojů dosáhnout cca **1,125 kt** dodatečného snížení emisí NO_x v roce 2030 oproti referenčnímu scénáři.

Obr. 1. Srovnání efektu jednotlivých nástrojů na snížení emisí NO_x v roce 2030 oproti referenčnímu scénáři



4. Závěr

Jako varianta s maximálním efektem byla vyhodnocena kombinace nástrojů (tj. revize registračního poplatku, zavedení všeobecné silniční daně, navýšení ceny dálniční známky, zavedení ETS2 a CO₂ příplatku u mýtného) s efektem na snížení emisí NO_x v roce 2030 o 1,125 kt. Minimální variantou je pak zavedení nové registrační daně (snížení emisí NO_x o 0,25 kt). Tento postup se zároveň jeví i jako optimální varianta, protože zavedení této daně je v porovnání s dalšími kombinacemi, které nepřináší výrazný nadstavbový efekt snížení emisí, výrazně jednodušeji realizovatelné. Doplnění registrační daně o poskytování dotace-bonusu urychluje nástup bezemisních vozidel, ale v čase se tento náskok prakticky smazává. Všeobecná silniční daň je méně efektivní než registrační daň, přitom by byla takřka nevyhnutelně podstatně administrativně náročnější na zavedení a výběr.

Porovnání výsledků projektu s analýzou registrací nových vozidel v kombinaci se zavedením finančních nástrojů pro stimulaci obnovy vozového parku ukázalo, že těmito nástroji lze determinovat vývoj registrací především osobních vozidel ve prospěch alternativních paliv. Je zřejmé, že funkčnost politik v oblasti emisí silniční dopravy může zajistit pouze komplex opatření s alespoň jednou výraznou komponentou. Lze předpokládat, že revize zdanění paliv povede ke zřetelnému nárůstu cen fosilních pohonných hmot s možným vychýlením spotřebitelských preferencí ve prospěch benzínu (relativně oproti naftě), celkově ale k redukci využívání fosilních paliv a vyšší preferenci elektromobility.

Literatura

- [1] MPO ČR, MŽP ČR, MD ČR. (2019). Národní akční plán čisté mobility (NAP CM). Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky, Ministerstvo životního prostředí České republiky a Ministerstvo dopravy České republiky. Praha. 124 s.
- [2] MŽP ČR. (2019). Aktualizace Národního programu snižování emisí České republiky. Ministerstvo životního prostředí České republiky. Praha. 186 s.
- [3] MD ČR. (2021). Dopravní politika České republiky pro období 2021-2027 s výhledem do roku 2050. Ministerstvo dopravy České republiky. Praha. 53 s.
- [4] Pelikán, L. et. al. (2023). Studie o vlivu daňové politiky a dalších opatření na snížení produkce NO_x ze silniční dopravy v roce 2030. Centrum dopravního výzkumu. Brno. 2023. 202 s.
- [5] Ntziachristos, L., Samaras, Z., et al. (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. European Environmental Agency, 2019. 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>
- [6] Bass, F. (1969). A new product growth for model consumer durables. Management science, 15 (5), 215–227.

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.

NO_x emission savings in road transport in 2030, achievable through the application of financial instruments

**Leoš Pelikán¹, Libor Špička¹, Vojtěch Máca², Milan Ščasný², Petr David³,
Břetislav Andrlík³, Anna Tišlerová¹**

¹Transpor Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00 Brno, Czech Republic

²Charles University, Environment Centre

Ovocný trh 560/5, 116 36 Praha 1, Czech Republic

³Mendel University in Brno, Faculty of Business and Economics

Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Czech Republic

e-mail: leos.pelikan@cdv.cz

Abstract

This paper will summarise the results of the project SS03010156, which looked at the application of selected tax, fee instruments and bonuses in the road transport sector. The purpose was to model the effect of these measures on stimulating fleet renewal and accelerating the uptake of low and zero emission technologies and, as a result, on emission savings in 2030. At the same time, the economic impacts were also addressed. The effects on emissions were modelled using the "Tank to wheel" method and the calculation software COPERT 5, TIMES-CZ. In the extended and calibrated COPERT 5 program, emission factors for the model years (2018 and 2030) were developed. In TIMES (model for overall energy and technology mix to meet energy and service demand), impacts on the vehicle fleet, energy consumption and substance emissions were modelled. The CGE model (a general equilibrium economic model) then calculated the impacts on GDP, public finances, employment and changes in the sectoral structure of the national economy. This paper focuses on NO_x emissions, which are the most important emissions from road transport, especially in cities.

Resuspenze částic v městském prostředí: vyhodnocení dlouhodobých dat, detailní výpočtové modelování

Jiří Pospíšil, Klaudia Köböllová, Jakub Linda

Fakulta strojního inženýrství – Vysoké učení technické v Brně

Technická 2896/2, 602 00 Brno

e-mail: klaudia.kobolova@vutbr.cz

Abstrakt

Je dobře známo, že znečištění ovzduší pevnými částicemi (PM) je ve většině měst stále velkým problémem, přičemž dominantním zdrojem je doprava. V budoucnu budeme svědky přechodu na elektromobilitu a nízkoemisní zdroje tepla. Dominantní postavení budou mít jiné než výfukové zdroje PM. Resuspenze dříve usazených PM je jedním ze zdrojů, který bude převažovat a který je jen stěží ovlivnitelný zmírňujícími opatřeními. Resuspenze může být vyvolána větrem nebo vozidly, která znečišťují ovzduší opakovaně. Oba typy lze rozpoznat vyhodnocením dlouhodobých měření, jak prezentuje tento příspěvek. V studii identifikujeme a charakterizujeme resuspenzi pro velikostní frakce $PM_{10-2,5}$, $PM_{2,5-1}$ a PM_1 . Studie ukazuje, že resuspenze frakce PM_1 vyvolaná větrem je rozpoznatelná. K resuspenzi vyvolané vozidly dochází hlavně v době dopravní špičky a ovlivňuje nejsilněji frakci $PM_{10-2,5}$. Detailní hodnocení procesu resuspenze je dále řešené s využitím detailního numerického modelování, které v této oblasti stále naráží na řadu omezení.

1. Úvod

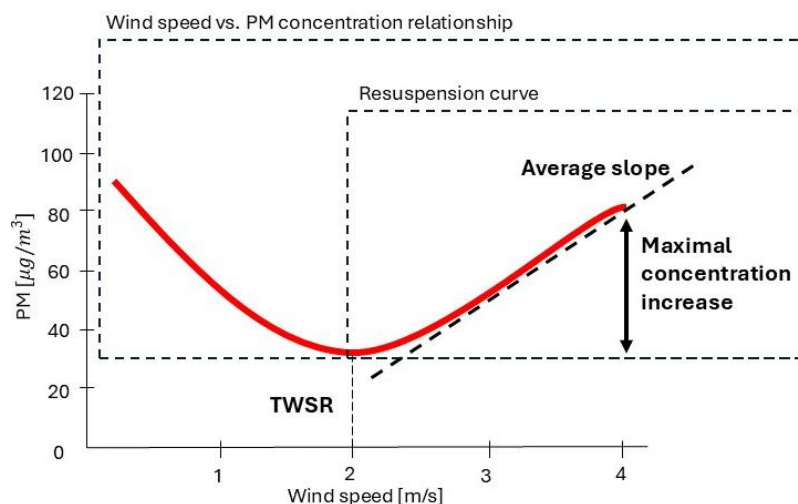
Znečištění ovzduší pevnými částicemi (PM) v urbanizovaných oblastech je rostoucí a vážný problém. Světová zdravotnická organizace (WHO) identifikovala znečištění ovzduší jako největší zdravotní riziko století, které způsobilo 4,2 milionu předčasných úmrtí v roce 2019 [1]. Podle Organizace spojených národů 99 % lidí dýchá vzduch znečištěný PM [2]. Primárním zdrojem tohoto znečištění je intenzivní lidská činnost [3], zejména související se spalováním fosilních paliv. V průměru 45 % koncentrace PM ve městech pochází z dopravy a domácího vytápění [4]. Politiky změny klimatu podporují přechod na elektrická vozidla a snižování závislosti na pevných palivech pro vytápění [5]. To však zcela nevyřeší problém znečištění ovzduší, protože nevýfukové zdroje částic budou přetrvávat nebo dokonce narůstat [6]. Tyto zdroje jsou obtížně zachytitelné pomocí mitigačních opatření [7], jako je čištění ulic nebo zelená infrastruktura [8,9]. Kromě toho je často přehlížený přírodní zdroj částic, a to větrem způsobená resuspenze. Dříve deponované částice mohou být silným větrem zvednuty z povrchu. Jedna částice může takto několikrát přispět ke znečištění ovzduší [10]. Za vhodných podmínek může resuspenze představovat až 18 % celkové koncentrace znečištění ovzduší [4]. Neustálá produkce pevných částic v urbanizovaném prostředí, spojená se sušším klimatem, bude tento problém pouze zhoršovat.

1.1. Postupy identifikace resuspenze v městském prostředí

Existují dva hlavní přístupy k identifikaci větrem vyvolané resuspenze v městských oblastech. První přístup zahrnuje analýzu dlouhodobých dat o kvalitě ovzduší, za účelem vytvoření charakteristického U-vztahu mezi koncentrací PM a rychlostí větru

[11–14]. Jak uvádí autoři tohoto postupu [12], U-funkce se skládá ze dvou odlišných složek PM. Jedna složka klesá s rostoucí rychlostí větru v důsledku intenzivního ředění znečištěného prostředí čerstvým vzduchem, zatímco druhá roste, primárně poháněná resuspenzí částic. Tento vztah umožňuje určit prahovou rychlost větru, při které dochází k resuspenzi, a její příspěvek k celkovému znečištění. Tyto charakteristiky jsou známy jako prahová rychlost větru způsobující resuspenzi (TWSR) a intenzita resuspenze. Extrakcí křivky resuspenze z U-funkce získáváme lepší pochopení chování resuspenze.

Obr. 1. Charakteristiky resuspenze vyvolané větrem [11]



Druhá metoda využívá nástroje pro detailní modelování dynamiky tekutin (Computational Fluid Dynamics, CFD) k simulaci procesu resuspenze [10,15]. CFD může vypočítat proudové pole větru v rámci města, zejména v blízkosti zemského povrchu a určit smykové napětí u stěny (WSS). WSS přímo ovlivňuje, zda dojde k resuspenzi na konkrétním povrchu [16]. Studie [10] ukázala, že resuspenze může nastat v komplexních městských prostředích, když rychlost větru překročí 7 m/s ve výšce 40 metrů. Povrchy náchylné k resuspenzi se často nacházejí v místech intenzivního proudění vzduchu nebo v místech proudění proudu vzduchu od povrchů a opětovného přiblížení. Autoři [15] ve své práci dosáhli srovnatelných výsledků. Obě studie dospěly k závěru, že resuspenze může rozptylovat částice na významné vzdálenosti, čímž znečišťuje celé město.

Dosud existující dva odlišné přístupy k modelování resuspenze, shora dolů (top-down) a zdola nahoru (bottom-up), vzájemně však nebyly nikdy přímo srovnány. Z tohoto důvodu vyvstává otázka, do jaké míry stávající studie přesně popisují proces resuspenze, zejména s ohledem na potenciální systematické chyby. Není zcela jasné, jaký podíl na celkovém znečištění PM má větrem indukovaná resuspenze a jak dlouho takto resuspendované částice setrvávají ve vzduchu.

Cílem této studie je proto komplexně popsat proces resuspenze a následně pomocí kombinace analytického a numerického modelování (CFD) predikovat koncentrace PM a jejich variabilitu v komplexním městském prostředí.

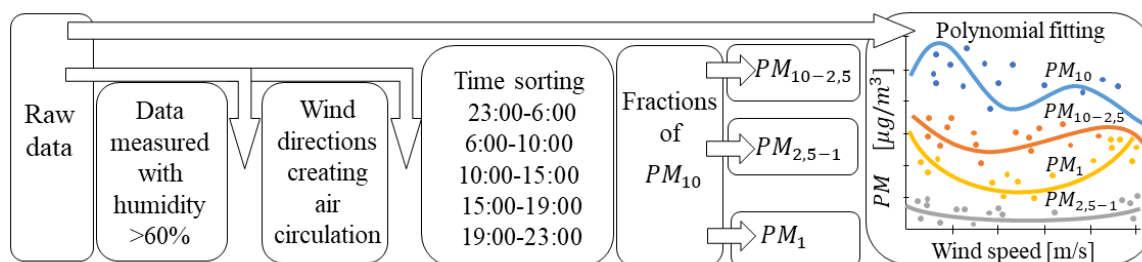
Zvláštní pozornost bude věnována resuspenzi submikronových částic (PM₁), pro které dosud chyběla dostatečná data. Díky nově dostupným datům je nyní možné tuto mezeru zaplnit. Očekáváme, že resuspenze PM₁ bude vykazovat odlišné charakteristiky ve srovnání s hrubými částicemi, což bude pravděpodobně způsobeno rozdílnými fyzikálními vlastnostmi těchto částic.

2. Metodologie

2.1. Datová analýza

Data pro tuto studii byla získána z měření v Brně (data za roky 2011, 2016 a 2019 s desetiminutovým rozlišením). Charakteristiky resuspenze, jako je míra resuspenze (MR) a její intenzita, jsou dlouhodobými vlastnostmi konkrétního místa a vyžadují dlouhodobá měření (alespoň jeden rok). K resuspenzi nedochází za všech okolností [11,12]. Při analýze dat je nutné zohlednit vliv denní doby, vlhkosti a směru větru. Vzhledem k tomu, že resuspenze neprobíhá při vysoké vlhkosti [17], byla pro analýzu použita pouze data s relativní vlhkostí nižší než 55 %. Dále byla z analýzy vyřazena data, kdy vítr nesměřoval z otevřených prostorů směrem k měřicí stanici, což by mohlo ovlivnit proces resuspenze [18]. Předpokládalo se, že resuspenzi podléhají především částice ve velikostní třídě $PM_{10-2.5}$ μm . Pro porovnání byly stejným způsobem analyzovány i částice ve velikostních třídách $PM_{2.5-1}$ μm a PM_1 . Posledním krokem analýzy bylo určení korelace s koncentrací NO_x , abychom vyloučili případy, kdy částice pocházejí ze spalování fosilních paliv.

Obr. 2. Postup zpracování dat s cílem identifikovat resuspenze



Hodnoty MR jsou pro účely porovnání různých poměrů proudění převedeny na hodnotu třecí rychlosti u^* , která může být vyjádřena z rovnice rychlostního profilu:

$$U_z = \frac{u^*}{\kappa} \cdot \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right) \quad (1)$$

Kde U_z [m/s] je rychlost proudění ve výšce z [m]. κ [-] je Karmánova konstanta, z_0 [m] je parametr drsnosti. Intenzita resuspenze je určena jako rozdíl mezi koncentracemi při hodnotě MR a maximální koncentrací, která byla na dané lokalitě dosažena v závislosti na rychlosti větru.

2.2. Kombinovaný model proudění a resuspenze

Modelování proudění pomocí CFD je dnes standardním inženýrským přístupem. Prvním krokem je rozdělení výpočetní domény na konečný počet objemových elementů. Na tyto elementy jsou následně aplikovány rovnice zachování hmoty, hybnosti a energie. Výsledkem CFD simulace je prostorové a časové rozložení rychlosti proudění. Z takto získaného rychlostního pole lze dále vypočítat řadu dalších parametrů proudění. Pro modelování resuspenze je klíčová hodnota třecí rychlosti u^* [m/s]. Tato veličina je určena z hodnoty smykového napětí na stěně τ_w , které je přímo úměrné gradientu rychlosti v blízkosti stěny.

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \left[\frac{m}{s} \right]; \tau_w = \mu \frac{du}{dy} [Pa] \quad (2)$$

Kde ρ [kg/m³] je hustota vzduchu, τ_w [Pa] je smykové napětí na stěně, které je úměrné gradientu rychlosti vynásobeného viskozitou μ [Pa.s]. K překonání adhezních sil, které vážou částice k povrchu, je zapotřebí určitá síla. Z tohoto důvodu je v literatuře definována mezní smyková rychlost u_{th}^* . Na základě analytických vztahů [19], experimentů v aerodynamickém tunelu [20] a analýzy údajů o kvalitě ovzduší [11,12,21] lze tuto mezní hodnotu kvantifikovat jako $u_{th}^*=0,142$ m/s pro vlastnosti částic, které tvoří tzv. silniční prach. Posledním krokem modelu je definování emisního faktoru resuspenze v takové podobě, aby jej bylo možné použít v CFD. Dobré výsledky poskytuje analytický vztah odvozený z experimentů, který lze pro případ vlastností částic silničního prachu a počáteční povrchové koncentrace částic $sL=250$ mg/m² formulovat ve tvaru [20]:

$$E = 2,4713 \cdot 10^{-7} u_*^{2,13} \left[\frac{kg}{s \cdot m^2} \right] \quad (3)$$

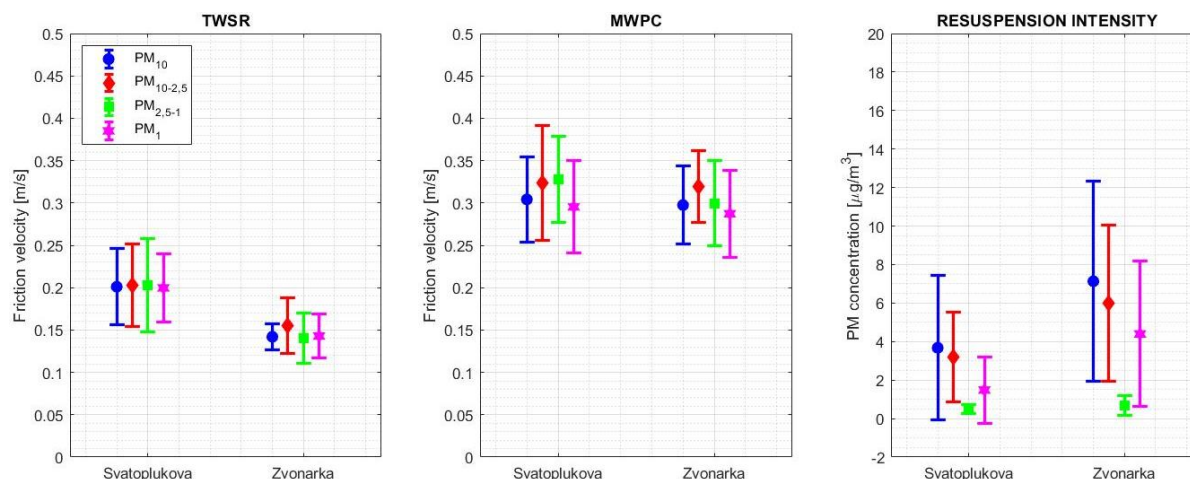
Částice se do výpočtové domény vpouštějí přes povrchovou síť ve výšce 0,4 mm nad povrchem. Každá buňka má určitou hodnotu smykové rychlosti a z ní je odvozena hodnota emisního faktoru. Ve studii je modelově řešen idealizovaný uliční kaňon, který je jedním z nejlépe prostudovaných případů v CFD. Testovány byly tři geometrické modifikace kaňonu s různým poměrem výšky H [m] a šířky W [m], $H/W=1, 0,5$ a $0,25$. Pro každý geometrický případ bylo proudění vypočteno pro vstupní rychlosti 8,75, 10, 12,5 a 15 m/s. Poté byly do domény vpouštěny částice a sledována jejich koncentrace v bodech ve výšce 1,5 až 3,5 m nad zemí.

3. Výsledky

3.1. Charakteristiky resuspenze

Pro analýzu resuspenze ve městě byly použity dvě monitorovací lokality v Brně (Svatoplukova, Zvonarka). Pro každý rok a stanici byly získány hodnoty mezní rychlosti větru vyvolávající resuspenzi a intenzity resuspenze.

Obr. 3. Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky resuspenzních charakteristik v lokalitách ve sledovaných letech



Větre indukovaná resuspenze je zřetelná pro všechny frakce. Překvapivě jsou hodnoty mezní rychlosti větru způsobující resuspenzi (TWSR, z angl. threshold wind speed causing the resuspension) a maximální rychlosti větru způsobující příspěvek resuspenze (MWPC, z angl. maximum wind speed causing a progressive contribution of resuspension) pro různé frakce velmi podobné. To naznačuje, že resuspenze

různých frakcí se děje téměř současně. Hodnoty TWSR v mnoha případech postupně klesají v průběhu dne. Totéž platí pro intenzitu resuspenze, která během dne klesá nebo zůstává konstantní. To naznačuje změnu v separaci a množství částic silničního prachu. Na druhé straně hodnoty MWPC se zvyšují a snižují bez jakékoli pravidelnosti. Všechny frakce a jejich charakteristiky se během dne mění téměř identicky. Největší rozdíl mezi frakcemi je však viditelný pouze při průměrování hodnot z let 2011 a 2016, jak je znázorněno na Obr. 3.

I přes poměrně velkou směrodatnou odchylku zůstávají hodnoty TWSR napříč PM frakcemi relativně konstantní. Nicméně intenzita resuspenze je u frakce $PM_{2.5-1}$ výrazně nižší ve srovnání s ostatními frakcemi. Z tohoto důvodu může být frakce $PM_{2.5-1}$ a její charakteristiky zanedbána.

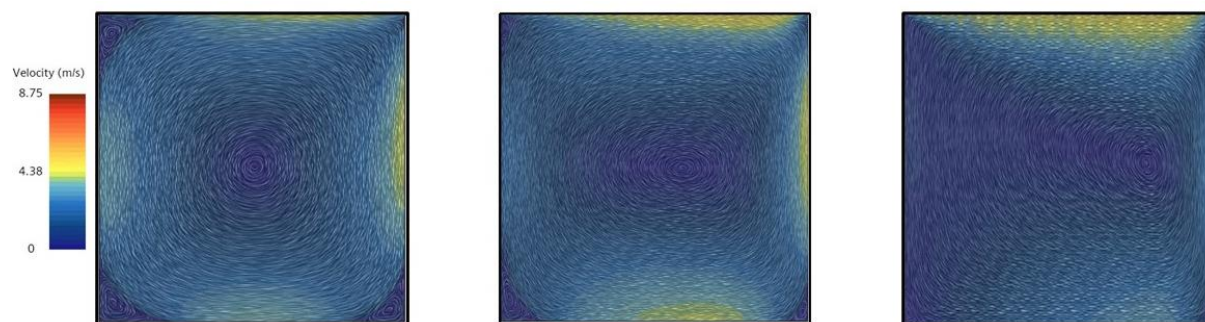
Při zkoumání dat $PM_{10-2.5}$ a PM_1 se objevuje opakující se trend: Hodnoty TWSR a MWPC jsou obecně nižší pro PM_1 . Průměrná TWSR pro PM_1 je pouze o 4,5 % nižší než pro $PM_{10-2.5}$, avšak směrodatná odchylka je poměrně vysoká. Ve všech případech s výjimkou jednoho jsou horní a dolní limity hodnot TWSR a MWPC nižší pro PM_1 . To naznačuje, že resuspenze frakce PM_1 se může vyskytnout při mírně nižších rychlostech větru.

Průměrná intenzita resuspenze je o 27 % nižší pro PM_1 než pro $PM_{10-2.5}$. Tato hodnota je stále překvapivě vysoká vzhledem k velikostnímu rozdílu mezi PM_1 a $PM_{10-2.5}$. Co se týče TWSR a MWPC, neexistují žádné významné rozdíly mezi PM_{10} a ostatními frakcemi, s výjimkou intenzity resuspenze, která je nejvyšší u této frakce. To není překvapující, protože PM_{10} obsahuje jak $PM_{10-2.5}$, tak PM_1 .

3.2. Výsledky CFD modelu uličního kaňonu

Vzhledem k relativně vysokým vstupním rychlostem větru se ve všech případech tvoří charakteristický vír otáčející se v příčném řezu uličního kaňonu, žádné jiné významné režimy proudění nejsou patrné [22]. Proudění v poli uličních kaňonů je ustálené a identické u 4. a všech dalších kaňonů. První tři kaňony jsou silně ovlivněny předchozí budovou a charakteristický vír je zde deformován. Vzhledem k produkci a přenosu turbulence přes kaňony však hodnoty smykového napětí na stěně (WSS) rostou s každým dalším kaňonem. To platí až do 7. kaňonu, kde jsou hodnoty WSS napříč šířkou uličního kaňonu relativně stabilní. Celkový profil u^* napříč šířkou pouličního kaňonu odpovídá těm, které byly nalezeny v [15] a je identický mezi studiemi pro případy se stejným u_{ref} , což znamená, že stav proudění je v této studii platný. Celkové zvýšení u^* se zvyšujícím se u_{ref} je nelineární.

Obr. 4. Vektorové rychlostní pole uvnitř kaňonu pro u_{ref} 10 m/s. Zleva, $H/W=1$; 0,5 a 0,25



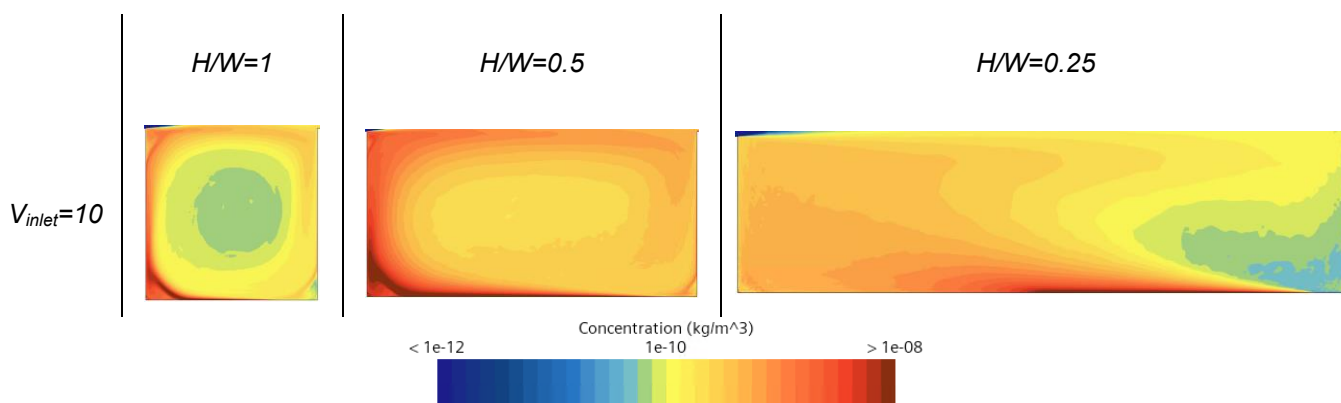
Z Obr. 4 lze pozorovat, že vrchol u^* se nachází těsně pod středem příčného víru, kvůli vysokému gradientu rychlosti v blízkosti povrchu. V místech dále od středu víru se hlavní proud od povrchu odděluje a u^* klesá. Se zvyšující se šířkou kaňonu se střed

víru posouvá směrem k návětrné straně kaňonu. I pro případ s $H/W=1$ není vír centrován. Na okrajích kaňonu jsou přítomny malé víry (pro $H/W=1$ a 0.5 jsou přítomny 2 víry, pro $H/W=0.25$ je přítomen pouze jeden vír), také produkující lokální extrémy u^* . Nejnižší hodnoty u^* se nachází mezi hlavním vírem a menšími víry. Pouze hlavní vír může produkovat $u^* > u_{th}^*$.

Disperze částic ve vypočteném rychlostním poli je znázorněna na Obr. 5. Z povrchových ploch částice nejprve putují na závětrnou stranu kaňonu, což vede k vyšším hodnotám koncentrace. To odpovídá mnoha studiím zabývajícím se znečištěním v pouličních kaňonech [18,23,24], i když koncentrační pole jsou v případě resuspenze jedinečná. Poté některé z částic opouští kaňon. Částice rotující v uličním kaňonu často narážejí do stěny, což vede k nepoměrně nižším koncentracím na návětrné straně, kde se částice také usazují. Se změnou směru větru mohou být tyto částice znovu resuspendovány.

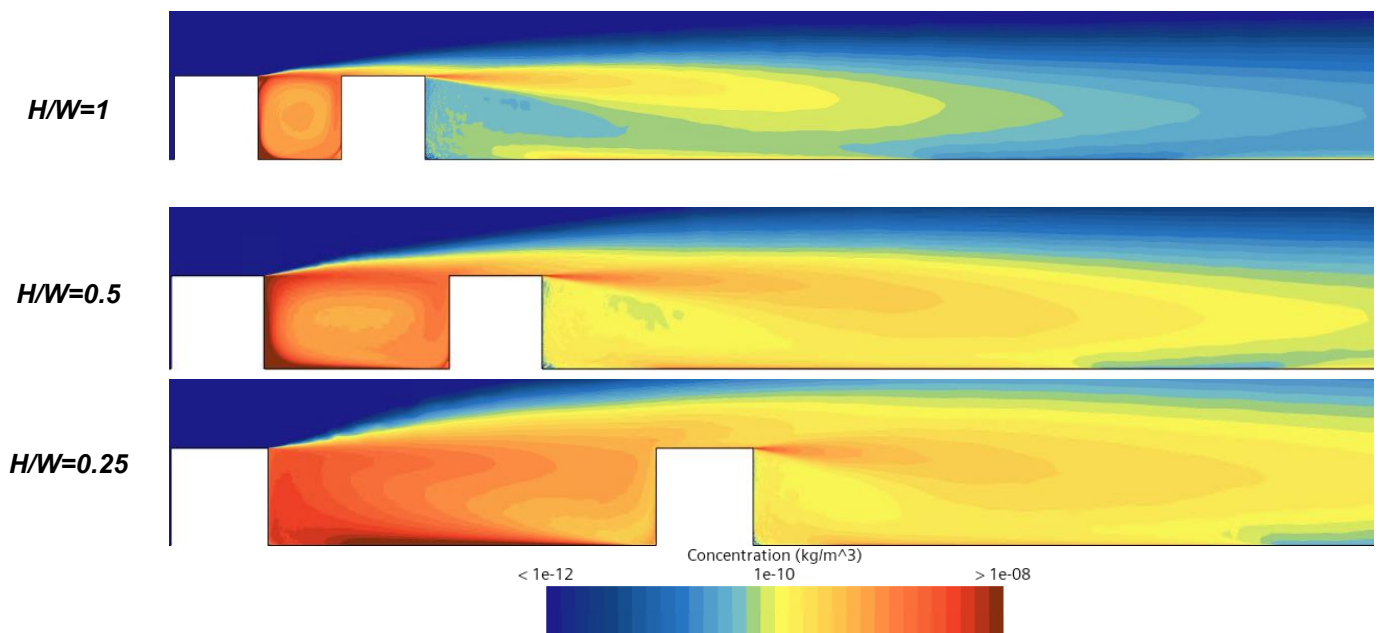
Tvar koncentračního pole se příliš nemění se zvyšující se rychlostí proudění u_{ref} , ale koncentrační hladiny C_{PM10} [$\mu g/m^3$] se zvyšují. Částice se pohybují převážně v okrajových oblastech toku kaňonu v případě $H/W=1$, kde rychlost toku má velmi silný gradient směrem ke středu víru. Se snižujícím se poměrem H/W se částice lépe rozptylují směrem ke středu kaňonu. Zejména díky nižšímu gradientu rychlosti a delší době setrvání částice v kaňonu. Avšak při $H/W=0.25$ již koncentrační pole dobře nekoreluje s tvarem charakteristického víru uličního kaňonu. V tomto případě mají částice čas se rozptýlit do okolí a vytvořit relativně homogenní koncentrační pole. C_{PM10} vyšší než $1 \mu g/m^3$ ve výšce 2 m lze považovat za významné [1,4]. V každém případě je C_{PM10} [$\mu g/m^3$] > 1 velmi blízko dna kaňonu a dosahuje hodnot kolem $0,1 \mu g/m^3$ pro $u_{ref} = 8.75$ m/s. Aby se dosáhlo $C_{PM10} > 1 \mu g/m^3$ pro výšky pod 2 m ve všech případech, bylo nutné alespoň $u_{ref} = 15$ m/s. V případě $H/W=0.25$ dosáhly hodnoty koncentrace $C_{PM10} > 1 \mu g/m^3$ i v případě $u_{ref} = 12,5$ m/s. Je však třeba připomenout, že vypočtené hodnoty koncentrace jsou platné tam, kde sL dosahuje hodnoty 250 mg/m^2 . Pro jiné hodnoty by byly hodnoty koncentrace úměrně odlišné.

Obr. 5 Koncentrační pole částic PM10



Část částic opouští uliční kaňon, viz Obr. 6 a dlouhodobě setrvávají ve vzduchu unášené na značnou vzdálenost. Největší množství částic je uvolňována z kaňonu s $H/W=0.5$. V konfiguraci $H/W=1$ částice zůstávají v kaňonu, kde nějakou dobu rotují, pro $H/W=0.25$ hraje významnou roli depoziční ukládání.

Obr. 6 Transport částic z uličního kařonu při $u_{ref} = 15$ m/s



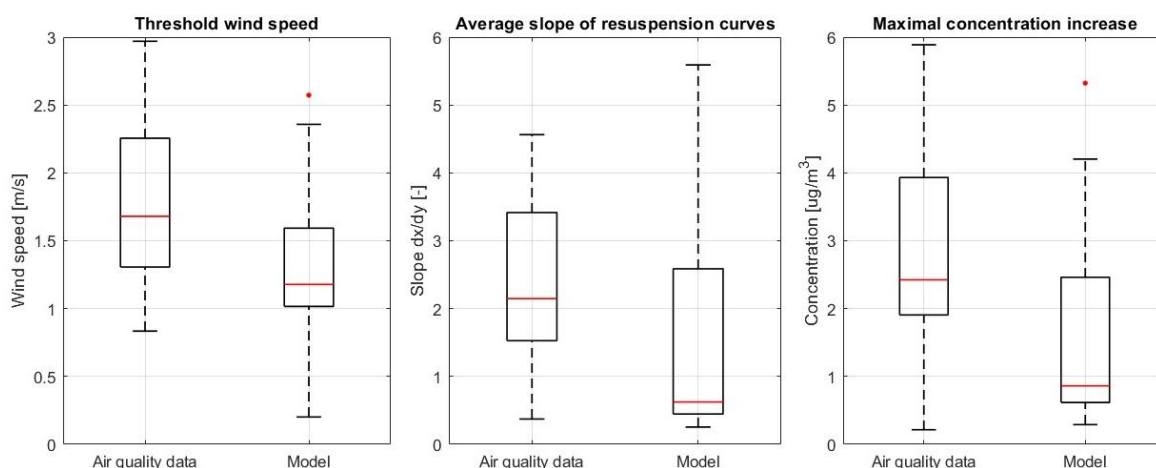
3.3. Porovnání modelu a měření

Modelové hodnoty byly porovnány s výsledky analýzy dlouhodobých měření imisních koncentrací. Cílem srovnání je ukázat, že model identifikuje podobné hodnoty jako vyhodnocení dlouhodobých dat. Jelikož model nelze validovat standardními metodami, je využito box-plotů, viz obr. 7. Vyobrazené výsledky tak odrážejí několik statistik v jednom a jsou vhodné pro porovnání rozložení hodnot a potenciálních outlierů. Extrémní hodnoty mohou vznikat při měření v nestandardní situaci, ale také v modelu kvůli nevhodným hodnotám, jako jsou velmi vysoké koncentrace v mezní vrstvě.

Z Obr. 7 je vidět, že model podhodnocuje hodnoty v porovnání s měřením, podhodnocuje u_{th}^* (TWSR) o 30 %, sklon o 70 % a nárůst koncentrace o 64,5 %.

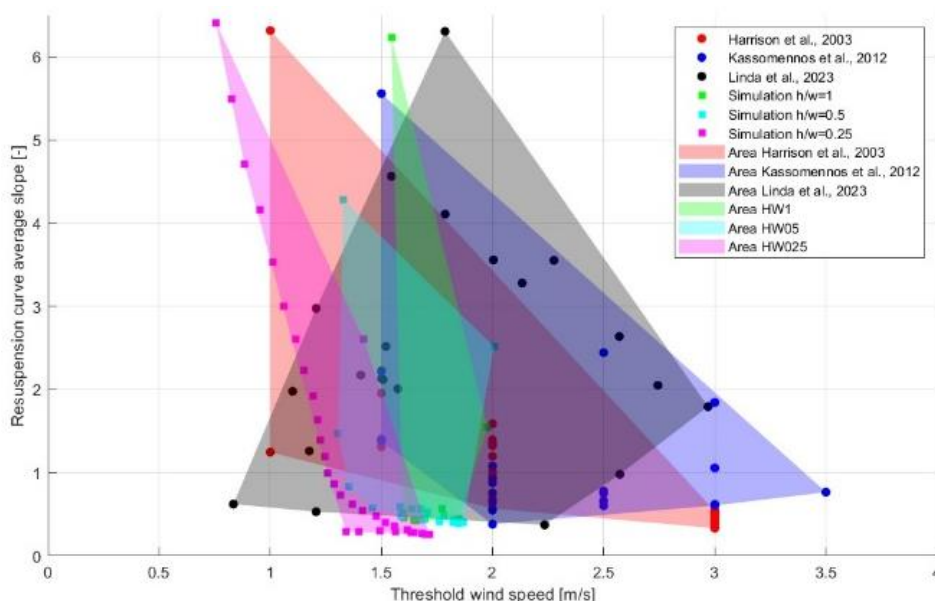
Ačkoli se modelové výsledky liší, rozdíl není podstatný a mnoho hodnot predikovaných resuspenzních křivek se překrývá s výsledkem měření. Největší překryv hodnot je pro vyšší hodnoty u_{th}^* . Tyto hodnoty se obecně měří na závětrné straně uličního kařonu. Za standardních okolností jsou měřicí stanice umístěny v blízkosti budov, nikoli uprostřed kařonu. V těchto případech získáváme vyšší shodu mezi měřením a modelem. To však neplatí, pokud je měření provedeno u závětrné stěny kařonu.

Obr. 7 Srovnání vlastností resuspenzních křivek předpovězených modelem a měřením.



Resuspenze je komplexní jev, který je obtížné předpovědět z hlediska jeho výskytu a nárůstu koncentrace. Předchozí studie prokázaly, že koncentrační hladiny odpovídající za resuspenzi a tvar resuspenčních křivek jsou ovlivněny řadou faktorů, zejména místem měření a množstvím prachu usazeného na zemi. Reálná měření kvality ovzduší nejsou zachytitelná modely a přesné hodnoty sL na povrchových plochách nejsou vždy k dispozici. I přes velkou nejistotu poskytují jak experimentální, tak modelová data blízké hodnoty, které mohou pomoci zobecnit tvar resuspenzních křivek. Při porovnání výsledků statistických studií a modelů je zřejmé, že tyto hodnoty spadají do určité oblasti. Resuspenze nastává při rychlosti větru 0,75 až 3,5 m/s, s průměrnými sklony od 0,25 do 6,4 [-], viz obr. 8. Oblast má tvar lichoběžníku s kratší stranou nahoře, který v extrémních případech může připomínat tvar křivky $1/x$. To naznačuje, že křivky s prudším sklonem jsou spojeny s nižšími hodnotami TWSR a naopak. Nárůst koncentrace se odhaduje na několik desetin až nižší desítky $\mu\text{g}/\text{m}^3$ s průměrem $3,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Navzdory své lokální povaze mohou být resuspenzní vzorce shrnuty k předpovědi budoucího chování v podobných podmínkách.

Obr. 8 Kombinované výsledky dostupných údajů o resuspenzi způsobené větrem ve městech



4. Závěr

Tento článek se zabývá resuspenzí částic způsobenou větrem v městském prostředí. Resuspenze byla identifikována na základě údajů z měřicích stanic lokálního monitoringu. Největší vliv na identifikovatelnost měla vlhkost vzduchu. Několik studií potvrdilo, že k resuspenzi dochází v suchých obdobích. Na základě dostupnosti údajů o koncentracích jemných částic, jako jsou $PM_{2.5}$ a PM_{10} , bylo možné identifikovat resuspenzi těchto frakcí. Zdá se, že k resuspenzi různých tříd částic dochází současně. Hodnota MR je téměř shodná pro všechny částice. Vliv zvýšení MR pro menší částice je vyvážen vlivem nižší hustoty částic PM_{10} , která snižuje MR. Intenzita resuspenze je nižší pro částice PM_{10} , ale není zanedbatelná. Z toho vyplývá, že produkce částic PM_{10} je významným problémem i z hlediska resuspenze.

Kombinovaný výpočetní model proudění vzduchu a resuspenze ukazuje, jak k resuspenzi dochází. V městském prostředí dochází k překročení u_{th}^* zejména v místech, která jsou přirozeně náchylná k lokálnímu zrychlení proudění, nebo v zónách, kde dochází k recirkulaci vzduchu. Výskyt resuspenze je častější v okolí okrajů budov. Částice se usazují v prostoru mezi budovami, odkud však mohou být při změně proudění resuspendovány. Koncentrační pole vzniklá resuspenzí se mírně liší od polí vzniklých přímou emisí z dopravy, zejména v blízkosti povrchu komunikací a budov. Vytvoření velkoplošného 3D modelu s potřebnou kvalitou pro aplikaci resuspenzního modelu je stále náročné. Analýza dat a výpočetní model poskytují podobné výsledky, které ukazují, že větrem vyvolaná resuspenze přispívá ke koncentraci v jednotkách $\mu g/m^3$.

Srovnání modelu a měření poskytuje relativně dobrou shodu. Největším omezením je však stanovení hodnoty deponovaného množství částic, která ovlivňuje přímo úměrné hodnoty koncentrace způsobené resuspenzí.

Literatura

- [1] World Health Organization (WHO) Ambient (Outdoor) Air Pollution.
- [2] United Nations *The Sustainable Development Goals Report 2022*; New York, 2022;
- [3] Moreno-Ríos, A.L.; Tejeda-Benítez, L.P.; Bustillo-Leconte, C.F. Sources, Characteristics, Toxicity, and Control of Ultrafine Particles: An Overview. *Geoscience Frontiers* 2022, 13, doi:10.1016/j.gsf.2021.101147.
- [4] Karagulian, F.; Belis, C.A.; Dora, C.F.C.; Prüss-Ustün, A.M.; Bonjour, S.; Adair-Rohani, H.; Amann, M. Contributions to Cities' Ambient Particulate Matter (PM): A Systematic Review of Local Source Contributions at Global Level. *Atmos Environ* 2015, 120.
- [5] Xian, B.; Xu, Y.; Chen, W.; Wang, Y.; Qiu, L. Co-Benefits of Policies to Reduce Air Pollution and Carbon Emissions in China. *Environ Impact Assess Rev* 2024, 104, 107301, doi:10.1016/J.EIAR.2023.107301.
- [6] Timmers, V.R.J.H.; Achten, P.A.J. Non-Exhaust PM Emissions from Electric Vehicles. *Atmos Environ* 2016, 134.
- [7] Amato, F.; Cassee, F.R.; Denier van der Gon, H.A.C.; Gehrig, R.; Gustafsson, M.; Hafner, W.; Harrison, R.M.; Jozwicka, M.; Kelly, F.J.; Moreno, T.; et al. Urban Air Quality: The Challenge of Traffic Non-Exhaust Emissions. *J Hazard Mater* 2014, 275.
- [8] Piscitello, A.; Bianco, C.; Casasso, A.; Sethi, R. Non-Exhaust Traffic Emissions: Sources, Characterization, and Mitigation Measures. *Science of The Total Environment* 2021, 766, 144440, doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144440.
- [9] Amato, F.; Querol, X.; Johansson, C.; Nagl, C.; Alastuey, A. A Review on the Effectiveness of Street Sweeping, Washing and Dust Suppressants as Urban PM Control Methods. *Science of the Total Environment* 2010, 408.
- [10] Banari, A.; Hertel, D.; Schlink, U.; Hampel, U.; Lecrivain, G. Simulation of Particle Resuspension by Wind in an Urban System. *Environmental Fluid Mechanics* 2022, doi:10.1007/s10652-022-09905-x.

- [11] Linda, J.; Pospíšil, J.; Köblová, K.; Ličbinský, R.; Huzlík, J.; Karel, J. Conditions Affecting Wind-Induced PM₁₀ Resuspension as a Persistent Source of Pollution for the Future City Environment. *Sustainability* 2022, **14**, 9186, doi:10.3390/su14159186.
- [12] Harrison, R.M.; Yin, J.; Mark, D.; Stedman, J.; Appleby, R.S.; Booker, J.; Moorcroft, S. Studies of the Coarse Particle (2.5-10 μ m) Component in UK Urban Atmospheres. *Atmos Environ* 2001, **35**, doi:10.1016/S1352-2310(00)00526-4.
- [13] Kassomenos, P.; Vardoulakis, S.; Chaloulakou, A.; Grivas, G.; Borge, R.; Lumbreras, J. Levels, Sources and Seasonality of Coarse Particles (PM₁₀-PM_{2.5}) in Three European Capitals - Implications for Particulate Pollution Control. *Atmos Environ* 2012, **54**, doi:10.1016/j.atmosenv.2012.02.051.
- [14] Grundström, M.; Hak, C.; Chen, D.; Hallquist, M.; Pleijel, H. Variation and Co-Variation of PM₁₀, Particle Number Concentration, NO_x and NO₂ in the Urban Air - Relationships with Wind Speed, Vertical Temperature Gradient and Weather Type. *Atmos Environ* 2015, **120**, doi:10.1016/j.atmosenv.2015.08.057.
- [15] Linda, J.; Pospíšil, J.; Köblová, K. Identification of Wind-Induced Particle Resuspension in Urban Environment Using CFD Modelling. *Atmosphere (Basel)* 2022, **14**, 57, doi:10.3390/atmos14010057.
- [16] Thorpe, A.J.; Harrison, R.M.; Boulter, P.G.; McCrae, I.S. Estimation of Particle Resuspension Source Strength on a Major London Road. *Atmos Environ* 2007, **41**, 8007–8020, doi:10.1016/J.ATMOSENV.2007.07.006.
- [17] Gotoh, K.; Takebe, S.; Masuda, H.; Banba, Y. The Effect of Humidity on the Removal of Fine Particles on a Solid Surface Using High-Speed Air Jet. *KONA Powder and Particle Journal* 1995, **13**, doi:10.14356/kona.1995024.
- [18] Zheng, X.; Yang, J. CFD Simulations of Wind Flow and Pollutant Dispersion in a Street Canyon with Traffic Flow: Comparison between RANS and LES. *Sustain Cities Soc* 2021, **75**, doi:10.1016/j.scs.2021.103307.
- [19] Del Bello, E.; Taddeucci, J.; Merrison, J.P.; Alois, S.; Iversen, J.J.; Scarlato, P. Experimental Simulations of Volcanic Ash Resuspension by Wind under the Effects of Atmospheric Humidity. *Sci Rep* 2018, **8**, 14509, doi:10.1038/s41598-018-32807-2.
- [20] Loosmore, G.A. Evaluation and Development of Models for Resuspension of Aerosols at Short Times after Deposition. *Atmos Environ* 2003, **37**, 639–647, doi:10.1016/S1352-2310(02)00902-0.
- [21] Kassomenos, P.; Vardoulakis, S.; Chaloulakou, A.; Grivas, G.; Borge, R.; Lumbreras, J. Levels, Sources and Seasonality of Coarse Particles (PM₁₀–PM_{2.5}) in Three European Capitals – Implications for Particulate Pollution Control. *Atmos Environ* 2012, **54**, 337–347, doi:10.1016/J.ATMOSENV.2012.02.051.
- [22] Oke, T.R. Street Design and Urban Canopy Layer Climate. *Energy Build* 1988, **11**, 103–113, doi:10.1016/0378-7788(88)90026-6.
- [23] Zheng, X.; Yang, J. Impact of Moving Traffic on Pollutant Transport in Street Canyons under Perpendicular Winds: A CFD Analysis Using Large-Eddy Simulations. *Sustain Cities Soc* 2022, **82**, 103911, doi:10.1016/J.SCS.2022.103911.
- [24] Qin, P.; Ricci, A.; Blocken, B. On the Accuracy of Idealized Sources in CFD Simulations of Pollutant Dispersion in an Urban Street Canyon. *Build Environ* 2024, **265**, 111950, doi:10.1016/J.BUILDENV.2024.111950.

Poděkování

Tento výzkum byl finančně podpořen z projektu Technologické agentury ČR CK04000264 „Emise z dopravy průhledně“ a z projektu Vysoké učení technické v Brně FSI-S-23-8223 „Optimalizace procesů a paliv pro nižší emise“. Příspěvek byl podpořen projektem Národní infrastruktúra pre podporu transferu technológií na Slovensku – NITT SK II. Autoři rovněž děkují městu Brnu za poskytnutí dat ze systému měření kvality ovzduší.

Particle resuspension in urban environments: evaluation of long-term data, detailed computational modelling)

Jiří Pospíšil, Klaudia Köböllová, Jakub Linda

*Faculty of Mechanical Engineering – Brno University of Technology,
Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic
e-mail: klaudia.kobolova@vutbr.cz*

Abstract

It is well known that air pollution by particulate matter (PM) remains a major problem in most cities, with transportation being the dominant source. In the future, we will witness a transition to electric mobility and low-emission heat sources. Other sources of PM, rather than exhaust emissions, will become dominant. Resuspension of previously deposited PM is one such source that will prevail and is difficult to influence by mitigation measures. Resuspension can be triggered by wind or vehicles, which repeatedly pollute the air. Both types can be identified from the evaluation of long-term data. In this study, we identify and characterize resuspension for different size fractions of PM, PM_{10-2.5}, PM_{2.5-1}, and PM₁. This study shows that wind-induced resuspension of the PM₁ fraction is detectable. Vehicle-induced resuspension occurs mainly during rush hour and affects only PM_{10-2.5}. A detailed assessment of the resuspension process can only be described using detailed numerical modelling, which still faces numerous limitations in this area.

Aktualizace metodiky rozdělení trakční spotřeby nafty v železniční dopravě po krajích ČR

Leoš Pelikán, Ivo Dostál, Zuzana Kačmárová, Anna Tišlerová

Centrum dopravního výzkumu

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: leos.pelikan@cdv.cz

Abstrakt

Článek shrnuje problematiku regionální distribuce spotřeby trakční nafty v železniční dopravě v závislosti na dopravních výkonech lokomotiv v jednotlivých krajích ČR. Aktualizace metodiky, která bude schválena Ministerstvem dopravy v polovině roku 2025, probíhá v návaznosti na nový přístup k emisní inventuře ČR za účelem poskytování přesnějších dat. V rámci řešení projektu byla vypočtena aktivitní data pro kategorie hnacích vozidel dle Tier 2 v rámci metodiky Emission Inventory Guidebook 2023 (EIG) [1] a proběhl výpočet spotřeby trakční nafty pro traťové lokomotivy, motorové vozy a posunovací lokomotivy. Na základě těchto hodnot lze pak velice přesně vypočítat emise z trakční spotřeby nafty v železniční dopravě v rámci jednotlivých krajů ČR, a to v souladu s metodikami IPCC Guidelines 2006 [2] a EIG. Aktualizací metodiky výpočtu spotřeby trakční nafty bude možné do ročenek, jako je například Zpráva o životním prostředí České republiky a Statistická ročenka životního prostředí České republiky a další, dodávat výrazně reprezentativnější data než v předchozích letech a která zároveň budou dobře využitelná pro další regionálně zaměřené úlohy v modelování dopadů dopravy na životní prostředí.

1. Metodika

Pro stanovení podílu jednotlivých krajů ČR neboli vyšších územně-správních celků (VÚSC) na celkové produkci emisí v železniční dopravě se vychází z bottom-up principu obdobně, jako tomu je v návrhu nové metodiky výpočtu emisí za celou ČR [3]. Metodický postup je však modifikován s ohledem na specifika výpočtů na regionální úrovni – dělí se do jednotlivých kroků popsaných detailněji v následujících podkapitolách. Stejně jako v případě národní inventury jsou i koeficienty pro regionální rozdělení emisí zpracovávány s periodicitou 3 roky.

1.1. Stanovení dopravních výkonů motorové trakce po jednotlivých krajích a kategoriích vlaků

Pro analýzu aktivitních dat se využívají se data od Správy železnic obsahující údaje o jednotlivých vlacích zavedených v železniční síti. Informační systémy Správy železnic však neumožňují jednoduše vygenerovat enormní množství informací, které by si úplný bottom-up přístup vyžádal. Zároveň by následné statistické zpracování pro účely emisní inventury představovalo extrémní nárůst pracnosti zpracování při malém dopadu z hlediska přesnosti počítaných koeficientů. Proto byla zvolena metoda, kdy je podíl a objem výkonů různých řad hnacích kolejových vozidel (HKV) nezávislé trakce v celé síti stanoven ze čtyř vybraných profilových týdnů v rámci kalendářního roku reprezentujících typický provoz v různých ročních obdobích (v podstatě jde o analogický proces stanovení intenzit provozu jako u Celostátního sčítání dopravy na

silnicích). Z důvodu zlepšení vypovídací hodnoty byly profilové týdny voleny tak, aby je co nejméně ovlivnily nárazové změny provozu (např. státní svátky).

Tabulka 1. Profilové týdny v jednotlivých letech

Roční období	Rok 2019	Rok 2022
Zima	4. 2. – 10. 2.	7. 2. – 13. 2.
Jaro	20. 5. – 26. 5.	16. 5. – 22. 5.
Léto	29. 7. – 4. 8.	1. 8. – 7. 8.
Podzim	4. 11. – 10. 11.	7. 11. – 13. 11.

Statistická sestava obsahuje trasy všech vlaků, na kterých se vyskytovalo HKV nezávislé trakce, zavedených v síti Správy železnic v členění na jednotlivé dopravní úseky doplněné o následující údaje:

Datum	ve formátu YYYYMMDD
SR70 počátek	kód počáteční dopravní úseku dle rukověti SR 70 [4]
Dopravní úsek	textově vyjádřené názvy dopravních úseků, jež tvoří dopravní úsek
SR70 konec	kód koncové dopravní úseku dle SR 70 [4]
Délka	délka úseku v km
Trakce	trakce na úseku (D=nezávislá / E=závislá stejnosměrná / S=závislá střídavá)
Číslo_vlaku	unikátní číslo zavedeného vlaku (v rámci dne)
Druh_vlaku	Os/Ex/Lv/Mn/Pn/Služ/Pom/Sv/Sp/R/Vleč
Hmotnost	hrubá hmotnost vlaku
Délka	délka vlaku
Počet_vozu	počet vozů
Počet_HV	počet hnacích vozidel
Seznam_HV_řad	rozpis řad HV nasazených na vlaku.

Jednotlivé záznamy o vlacích byly doplněny o zařazení do kategorií Tier 2 dle [1] (traťové lokomotivy vs. motorové vozy). Z uvedené statistické sestavy je pro každý z aktualizací roků a jednotlivý dopravní úsek spočítán celkový dopravní výkon všech vlaků v členění do čtyř základních kategorií daných členěním na osobní vs. nákladní vlak a typ HKV: traťová lokomotiva vs. motorový vůz. U vlaků vedených ve smíšené trakci (kombinace HKV závislé a nezávislé trakce) je započten vždy pouze podíl odpovídající trvalému výkonu HKV v nezávislé trakci.

1.2. Stanovení referenční měrné spotřeby trakční nafty pro jednotlivé kategorie vlaků

Referenční měrné spotřeby pro jednotlivé kategorie HKV vycházejí z údajů poskytnutých hlavními dopravci v síti Správy železnic, tedy ČD pro osobní a ČD Cargo pro nákladní dopravu. Pro každou z kategorií vlaků byly zjištěny nejčastější řady provozovaných HKV, přičemž „příbuzné“ řady HKV byly sloučeny do jedné (např. 750 a 753 nebo 840 a 841). Z tohoto souboru řad HKV pak byla vypočítána referenční měrná spotřeba pro každou kategorii vlaků uváděná v l / tis. hrtkm (hrubý tunový kilometr).

1.3. Výpočet celkové spotřeby trakční nafty po krajích

Každý z dopravních úseků byl jednoznačně přiřazen do některého z krajů pomocí prostorové analýzy v GIS. Problém dopravních úseků překračujících hranice krajů řeší již původní data od Správy železnic, neboť styčné (virtuální) body na hranicích jednotlivých krajů jsou již zakomponovány do souboru dopravních bodů obsažených ve služební rukověti SR70 [4]. U tratí ve správě jiných provozovatelů než Správa železnic, byla původní data s údajem o délce úseku pouze pro dopravní bod na hranici infrastruktur rozšířena na celou danou známou délku dané konkrétní tratě.

Suma spotřeby trakční nafty za jednotlivé kraje se pak stanovuje jako suma za všechny dopravní úseky v kraji. Ty jsou do něj zařazené prostorovou analýzou součinů daných délkou každého úseku dále dopravním výkonem v dané kategorii vlaku a referenční měrnou spotřebou dané kategorie. Uvádí se v tunách, po přepočtu hustoty nafty z objemových jednotek.

1.4. Určení podílu jednotlivých krajů na celkové produkci emisí vybraných škodlivin

Celková produkce emisí dané škodliviny v jednotlivých krajích je dána sumou z produkce jednotlivých kategorií vlaků. Ta je dána přepočtem spotřeby trakční nafty po jednotlivých kategoriích vlaků na emise pomocí emisního faktoru stanoveného v EIG 2023 [1].

Následně jsou pro každou škodlivinu stanoveny podílové koeficienty za jednotlivé kraje, pomocí kterých je rozdělena celková národní produkce dané škodliviny.

2. Výsledky

Tabulka 2. Výkony motorové trakce po krajích a kategoriích vlaků za 4 profilové týdny – rok 2019

Kraj	Nákladní – traťové loko		Osobní – traťové loko		Motorové vozy	
	[tis. hrtnm]	[%]	[tis. hrtnm]	[%]	[tis. hrtnm]	[%]
Jihočeský	4 811,8	1,3 %	5 457,7	7,5 %	18 073,5	6,1 %
Jihomoravský	39 104,8	10,8 %	8 171,0	11,3 %	33 429,6	11,2 %
Karlovarský	10 341,5	2,9 %	21,2	0,0 %	12 764,3	4,3 %
Královéhradecký	16 354,9	4,5 %	7 437,1	10,3 %	24 316,6	8,2 %
Liberecký	9 600,8	2,7 %	342,1	0,5 %	32 423,3	10,9 %
Moravskoslezský	41 637,6	11,5 %	8 510,9	11,8 %	21 169,4	7,1 %
Olomoucký	23 986,6	6,6 %	4 337,9	6,0 %	14 140,1	4,7 %
Pardubický	27 512,9	7,6 %	340,4	0,5 %	13 983,4	4,7 %
Plzeňský	9 822,2	2,7 %	11 909,3	16,5 %	19 723,6	6,6 %
Praha	10 278,0	2,8 %	2 682,6	3,7 %	11 832,0	4,0 %
Středočeský	80 864,0	22,3 %	9 360,5	12,9 %	41 309,9	13,9 %
Ústecký	60 833,3	16,8 %	331,6	0,5 %	24 122,9	8,1 %
Vysočina	14 127,9	3,9 %	8 717,8	12,0 %	14 757,0	5,0 %
Zlínský	12 443,4	3,4 %	4 775,3	6,6 %	15 648,7	5,3 %

Tabulka 3. Výkony motorové trakce po krajích a kategoriích vlaků za 4 profilové týdny – rok 2022

Kraj	Nákladní – traťové loko		Osobní – traťové loko		Motorové vozy	
	[tis. hrtkm]	[%]	[tis. hrtkm]	[%]	[tis. hrtkm]	[%]
Jihočeský	5 821,4	1,9 %	4 509,0	6,7 %	18 738,7	5,9 %
Jihomoravský	24 822,8	8,1 %	7 498,7	11,1 %	32 836,5	10,4 %
Karlovarský	12 947,8	4,2 %	7,0	0,0 %	11 401,4	3,6 %
Královéhradecký	16 790,4	5,5 %	8 160,3	12,1 %	32 013,3	10,2 %
Liberecký	9 195,0	3,0 %	157,4	0,2 %	32 609,9	10,4 %
Moravskoslezský	33 886,1	11,1 %	11 386,0	16,8 %	20 911,3	6,6 %
Olomoucký	15 280,1	5,0 %	4 537,9	6,7 %	13 774,1	4,4 %
Pardubický	14 405,3	4,7 %	11,3	0,0 %	16 545,0	5,3 %
Plzeňský	8 039,4	2,6 %	11 497,7	17,0 %	17 965,4	5,7 %
Praha	5 284,1	1,7 %	1 501,7	2,2 %	10 391,2	3,3 %
Středočeský	69 981,5	22,9 %	4 398,9	6,5 %	45 215,0	14,4 %
Ústecký	62 272,6	20,4 %	210,8	0,3 %	28 165,1	8,9 %
Vysočina	16 139,2	5,3 %	8 130,2	12,0 %	15 596,6	5,0 %
Zlínský	10 295,1	3,4 %	5 643,5	8,3 %	18 794,4	6,0 %

Podíl jednotlivých krajů se pro každou z kategorií vlaků poměrně výrazně liší. Závisí zejména na délce tratí bez elektrizace, intenzitě dopravy a charakteru přeprav v jednotlivých krajích. Typicky lze tento rozdíl pozorovat zejména v případě traťových lokomotiv v osobní dopravě, které se vyskytují prakticky pouze v několika krajích (Plzeňský, Moravskoslezský, Jihomoravský, Vysočina, Královéhradecký), zatímco v jiných je jejich podíl zanedbatelný (Pardubický, Karlovarský, Liberecký, Ústecký) a i rychlíky jsou zde vedeny motorovými vozy nebo čistě v elektrické trakci.

Tabulka 4. Vážený průměr měrných spotřeb trakční nafty nejčastějších řad HV u ČD [l / tis. hrtkm]

Kategorie	Rok 2018	Rok 2019	Rok 2020	Rok 2021	Rok 2022
traťové lokomotivy – osobní	10,57	10,32	10,17	10,12	10,47
motorové vozy	11,74	11,16	10,97	11,21	11,23

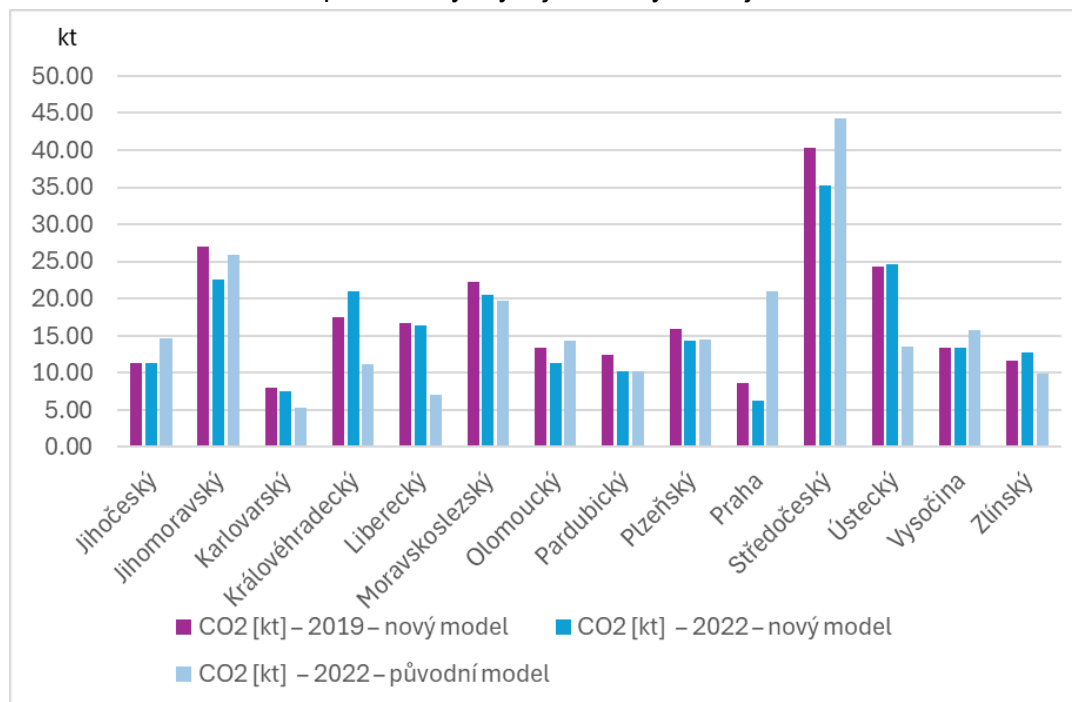
Vývoj měrné spotřeby nafty u vlaků osobní dopravy je poměrně stabilní mezi jednotlivými roky a pohybuje se mezi 10,1 a 10,6 l / tis. hrtkm u traťových lokomotiv a mezi 11 a 11,8 l / tis. hrtkm u motorových vozů. Je však nutno podotknout, že hmotnost u vlaků vedených motorovými jednotkami je výrazně nižší než u klasických souprav. Spotřeba trakční nafty v nákladní dopravě u ČD Cargo v roce 2022 dosáhla 4,84 l / tis. hrtkm. Měření (jejichž celkový počet dosáhl více než 71 tis.) byla k dispozici pouze za řady 742 a 731, které jsou vybavené příslušným zařízením.

Tabulka 5. Nově stanovený podíl jednotlivých krajů na produkci emisí z motorové železniční dopravy

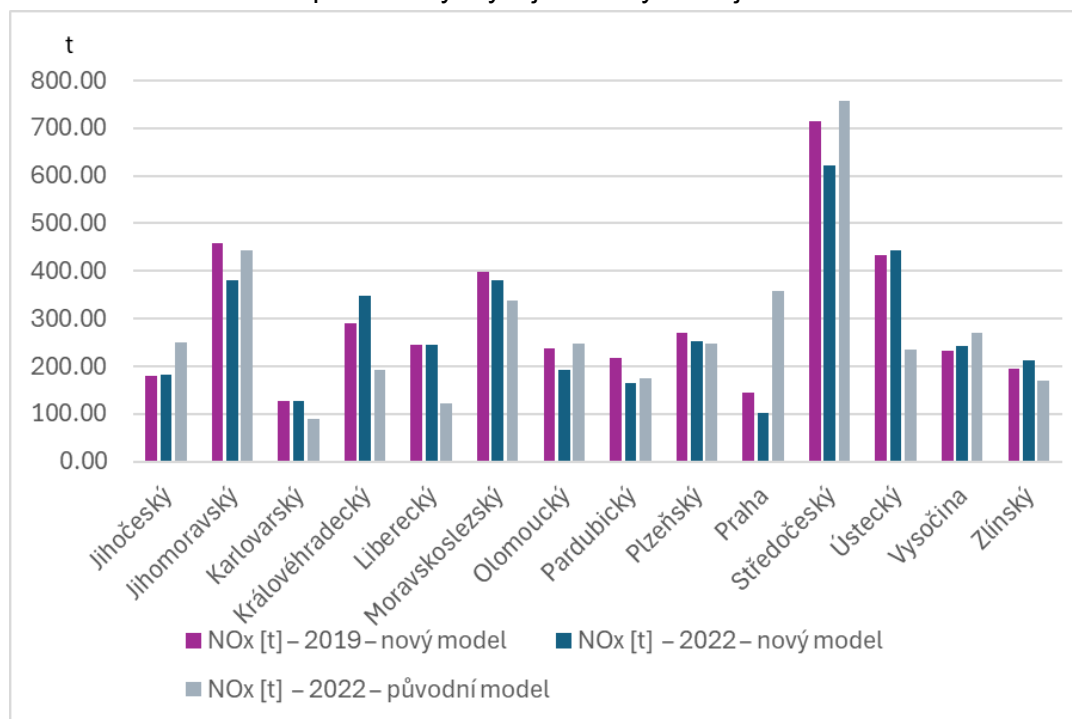
	CO₂ 2019	NO_x 2019	CO₂ 2022	NO_x 2022	Původní model
Jihočeský	4,69 %	4,35 %	4,99 %	4,71 %	6,42 %
Jihomoravský	11,10 %	11,06 %	9,92 %	9,77 %	11,42 %
Karlovarský	3,29 %	3,04 %	3,33 %	3,25 %	2,30 %
Královéhradecký	7,23 %	6,99 %	9,20 %	8,91 %	4,93 %
Liberecký	6,90 %	5,90 %	7,21 %	6,28 %	3,13 %
Moravskoslezský	9,13 %	9,63 %	9,05 %	9,76 %	8,66 %
Olomoucký	5,52 %	5,71 %	4,83 %	4,96 %	6,33 %
Pardubický	5,13 %	5,24 %	4,47 %	4,24 %	4,47 %
Plzeňský	6,55 %	6,53 %	6,31 %	6,49 %	6,36 %
Praha	3,57 %	3,47 %	2,76 %	2,60 %	9,20 %
Středočeský	16,54 %	17,21 %	15,60 %	15,96 %	19,48 %
Ústecký	10,02 %	10,50 %	10,83 %	11,39 %	6,02 %
Vysočina	5,48 %	5,62 %	5,91 %	6,20 %	6,92 %
Zlínský	4,82 %	4,72 %	5,59 %	5,48 %	4,36 %

Původní metodika modelovala kraje s konstantním podílem na celostátních emisích, jenž se meziročně neměnil (viz tabulka 5). Nová metodika již analyzuje meziroční rozdíly a ty jsou u jednotlivých krajů ve většině případů mírné, jednotlivé grafiky vlakové dopravy (GVD) mají obvykle dlouhodobou setrvačnost a vzácně dochází k radikálním změnám. Ty se mohou projevit v případě dlouhodobých výluk, jak je vidět u Jihomoravského kraje, kdy je v porovnání let 2019 a 2022 zřetelný vliv celoročního přerušení provozu na koridorové trati mezi Brnem a Blanskem (viz obrázek 1 a 2). I když šlo o elektrizovanou trať, část vlaků, zejména nákladních, byla i nadále vedena v nezávislé trakci. U Olomouckého kraje se poklesem podílu projevilo převedení úseku Olomouc – Uničov do elektrické trakce.

Obr. 1. Emise CO₂ za 4 profilové týdny v jednotlivých krajích



Ob. 2. Emise NO_x za 4 profilové týdny v jednotlivých krajích



Nově stanovené hodnoty podílů jednotlivých krajů na emisní bilanci ve výše uvedené tabulce ukazují, že stávající model značně nadhodnocoval podíl zejména Hlavního města Prahy (dokonce trojnásobně) a Středočeského kraje (o více než čtvrtinu), částečně též Jihočeského, Olomouckého a Jihomoravského. Naopak podhodnoceny byly podíly krajů Královéhradeckého, Ústeckého a Libereckého, v menší míře též Zlínského a Karlovarského.

3. Diskuse

Navržený postup přistupuje zcela novým způsobem ke stanovení podílu jednotlivých krajů na emisní bilanci vybraných škodlivin, který doposud nebyl v ČR aplikován. Vychází z aktivitních dat přímo od provozovatele dráhy a pracuje se členěním kategorií HKV podle metodiky EIG 2023. Jeho výstupem jsou tedy výrazně reálnější hodnoty, než byly používány v uplynulých letech. Tento přístup se přibližuje například velmi podrobnému výpočtu emisí ve Finsku [5], který je ovšem ještě mnohem modernější a počítá emise na úrovni obcí. Jiné regionální aplikace podobného zaměření se však nepodařilo dohledat.

I když předkládaný metodický postup představuje výrazný posun v přesnosti výpočtu emisní bilance ze železniční dopravy, i nadále v něm existují určitá slabá místa a rizika, mezi něž lze zařadit zejména:

- závislost na poskytování dat od provozovatele dráhy;
- hodnoty aktivitních dat vycházející ze 4 profilových týdnů v každém roce mohou být ovlivněny konáním krátkodobých výluk nebo přerušení provozu z důvodu mimořádné události;
- dostupnost informace o měrné spotřebě pro jednotlivé řady lokomotiv je závislá na jejím poskytnutí ze strany jednotlivých dopravců;
- emisní faktory jednotlivých škodlivin uváděné v EIG jsou generické pro celou Evropu a nemusí dobře vystihnout HKV provozovaná v ČR.

Nový přístup přináší kromě jiného také možnost stanovení samostatného podílu každého z krajů pro jednotlivé škodliviny v závislosti na kategoriích vlaků, které v daném regionu převažují. V současné době regionální model CDV počítá emise CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, NMVOC, CO, PAHs, PCB, PCDD, PCDF, NH₃, PB. V případě potřeby je možnost rozšířit rozsah počítaných škodlivin o další znečišťující látky jako například těžké kovy.

Stanovení nových podílů jednotlivých krajů bude mít dopad na zpřesnění údajů emisní bilance použitých ve statistických publikacích a ročenkách jako je Souhrnná zpráva o životním prostředí v krajích, Ročenka Dopravy ČR, Studie o vývoji dopravy z hlediska Životního prostředí v ČR, Zpráva o Životním prostředí ČR, statistické ročenky ČR a regionů publikované MŽP a ČÚZK skrze CENIA a také data dodávaná CDV do aplikace enviometr, běžící v rámci Národní environmentální reportingové platformy (NERP). Díky již existujícím údajům z let 2019 a 2022 bude možné provést rekalkulaci emisních bilancí za pět let zpětně. Nový výpočet podílů jednotlivých regionů je plánován na rok 2025, aby byl dodržen tříletý cyklus aktualizací, ve shodě s metodikou pro výpočet národní emisní bilance.

Hodnoty nových koeficientů pro rok 2025 výrazně budou ovlivňovat realizované záměry v sektoru železnice v jednotlivých krajích, jako je elektrizace trati Brno – Zastávka u Brna (Jihomoravský kraj) nebo nasazení vozidel typu BEMU na vybrané výkony (připravovaný provoz v Moravskoslezském kraji). V dlouhodobějším výhledu pak lze počítat s poklesem podílu krajů, kde je připravována tzv. prostá elektrizace (ve Středočeském kraji půjde o úseky Zdice – Písek a Kladno – Kralupy n/V;

v Olomouckém Bludov – Jeseník a Olomouc – Hrubá Voda; v Moravskoslezském Opava – Krnov – Moravský Beroun a v Plzeňském Klatovy – Železná Ruda).

4. Závěr

Přesnější výpočet trakční spotřeby nafty se se projeví i v přesnějším rozdělení emisí škodlivých látek a skleníkových plynů po krajích ČR, protože modelování emisí, obzvláště CO₂ a těžkých kovů a polyaromatických uhlovodíků, do značné míry kopíruje spotřebu paliv.

Zásadní změny v přístupu k výpočtům národní emisní bilance, provedené v uplynulých letech, si vyžádaly také reflexi na úrovni rozdělení emisí na úrovni krajů. V příspěvku je předkládán nový metodický přístup pro výpočet podílu jednotlivých krajů na produkci emisí vybraných škodlivin z motorové železniční dopravy, který zajistí daleko reálnější a přesnější distribuci. Tím se povedlo naplnit požadavek evropských orgánů na zpřesňování emisních bilancí pro různé druhy dopravy v rámci Úmluvy EHK OSN o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států (CLRTAP) a nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 525/2013/EU o mechanismu monitorování a vykazování emisí skleníkových plynů a podávání dalších informací na úrovni členských států a Unie vztahujících se ke změně klimatu a o zrušení rozhodnutí č. 280/2004/ES.

Literatura

- [1] EEA (2023). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 [online]. Luxemburg, [cit. 2024-06-09]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023>. ISBN 978-92-9480-598-0.
- [2] IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [online]. IGES, Japonsko [cit. 2024-06-05]. Dostupné z: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. ISBN 4-88788-032-4.
- [3] Pelikán, L., Dostál, I., Jedlička, J. (2021): Pracovní postup výpočtu emisí z železniční dopravy. Centrum dopravního výzkumu. Brno. 47 s
- [4] SR70: Číselník železničních stanic a dopravně významných míst. Účinnost od 12. prosince 2021. Praha: Správa železnic, 2021, 24 s.
- [5] SYKE Finnish Environment Institute (2021). Calculating the greenhouse gas emissions of Finnish municipalities [online]. [cit. 2023-10-13]. Dostupné z: <https://hiilineutraalisuomi.fi/download/noname/%7B176955AE-23C3-4EF3-AE9B-9D1614FB2351%7D/157577>

Poděkování

Tvorba metodiky pro regionální rozdělení emisí z železniční dopravy byla financována v rámci interního grantu Centra dopravního výzkumu, v. v. i.

Update of the methodology for distribution of traction diesel consumption in railway transport by regions of the Czech Republic"

Leoš Pelikán, Ivo Dostál, Zuzana Kačmárová, Anna Tišlerová

Transport Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00 Brno, Czech Republic

e-mail: leos.pelikan@cdv.cz

Abstract

The paper will summarize the issue of regional distribution of traction diesel consumption in railway transport depending on locomotive performance in regions of the Czech Republic. The update of the methodology is being carried out in connection with the new approach to the national emission inventory of the Czech Republic in order to provide more accurate data. The project has calculated activity data and traction diesel consumption for line locomotives, diesel railcars and shunting locomotives (Tier 2 according to EIG). Based on these values, it is possible to calculate very accurately the emissions from traction diesel consumption in rail transport within regions of the Czech Republic in accordance with the IPCC Guidelines 2006 and the EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2023. Thanks to the update of the methodology, it will be possible to supply significantly more representative data than in previous years to yearbooks. Data will also be well suited for other regionally focused tasks in modelling the environmental impacts of transport.

Výskyt impulzů u hluk z dopravy

David Kresl, Dana Potužníková, Tomáš Hellmuth

Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě

Partyzánské nám. 2633/7, Moravská Ostrava, 702 00 Ostrava

e-mail: david.kresl@zuova.cz

Abstrakt

Impulzní hluk patří z hlediska zdravotních rizik mezi nejnebezpečnější charakteristiky akustického signálu. Proto je také penalizován korekcí -12 dB k hygienickému limitu. Hluk ze silniční dopravy je obecně považován za proměnný širokospektrální hluk, avšak vyskytují se situace, kdy i hluk ze silniční dopravy nabývá charakteru impulzního hluku. Díky tomuto se tak objevují stížnosti exponovaných obyvatel na nově vybudované či zrekonstruované části komunikací. Příspěvek se zabývá ukázkami reálných měření těchto situací v hygienické praxi.

1. Impulzní charakter hluku

Impulzní charakter hluku při měření hluku z dopravy není novinkou, ale nehodnotí se často. Zdrojem impulzu jsou jednotlivé přejezdy přes mostní závěry, příčné prahy a dalších součástí komunikací. Impulzní charakter se hodnotí v místě posouzení (§30).

2. Legislativní rámec

Nařízení vlády 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů (dále též NV):

paragraf § 12, odstavec (3):

Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, s výjimkou hluku z leteckého provozu a vysokoenergetického impulsního hluku, se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ 50 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní a noční době, které jsou uvedeny v tabulce č. 1 části A přílohy č. 3 k tomuto nařízení. Pro vysoce impulsní hluk se přičte další korekce -12 dB. V případě hluku s tónovými složkami, s výjimkou hluku z dopravy na pozemních komunikacích, drahách a z leteckého provozu, se přičte další korekce -5 dB.

Příloha 4:

Za vysokoenergetický impulsní hluk a vysoce impulsní hluk se považuje hluk podle § 2 písm. c) a d), který v místě posouzení dále splňuje pro jednotlivé impulsy aspoň jednu z níže uvedených podmínek:

$$L_{Amax} - L_{ASmax} > 5 \text{ dB}$$

$$L_{Amax} - L_{AE} > 5 \text{ dB},$$

kde

L_{Amax} je hladina maximálního akustického tlaku A při dynamické charakteristice měřidla I (Impuls),

L_{ASmax} je hladina maximálního akustického tlaku A při dynamické charakteristice měřidla S (Slow),

L_{AE} je hladina expozice zvuku A.

3. Hluk mostních závěr

V roce 2023 proběhlo měření hluku z dopravy na D 48. Měření proběhlo dle standardních podmínek a hluk z dopravy byl hodnocen ekvivalentní hladinou akustického tlaku pro denní i noční dobu. Místo měření bylo cca 60 m od osy vozovky 129 m od počátku mostu přes řeku Morávku. Na měřeném úseku je umístěna protihluková stěna. Fotodokumentace na obr. 1 – 3.

Obr. 1. Pohled z místa měření



Obr. 2. Pohled z místa měření



Obr. 3. Mostní závěr



Měření hluku proběhlo po dobu 24 hodin v intervalu 6:00 – 6:00 hod. Roční průměr dopravní intenzity (dále též RPDl) stanovený na základě sčítání dopravy během měření byl 19603 vozidel za 24 hodin.

Výsledné hodnocené hladiny určeny na hodnotách $L_{Aeq,16hod} = 51,0$ dB, pro denní dobu a $L_{Aeq,8hod} = 48,0$ dB pro dobu noční. Porovnáním s limity upravenými NV pro „novou“ komunikaci, tj. 60 dB pro denní dobu a 50 dB pro noční dobu prokázalo dodržení hygienických limitů.

ALE!!!

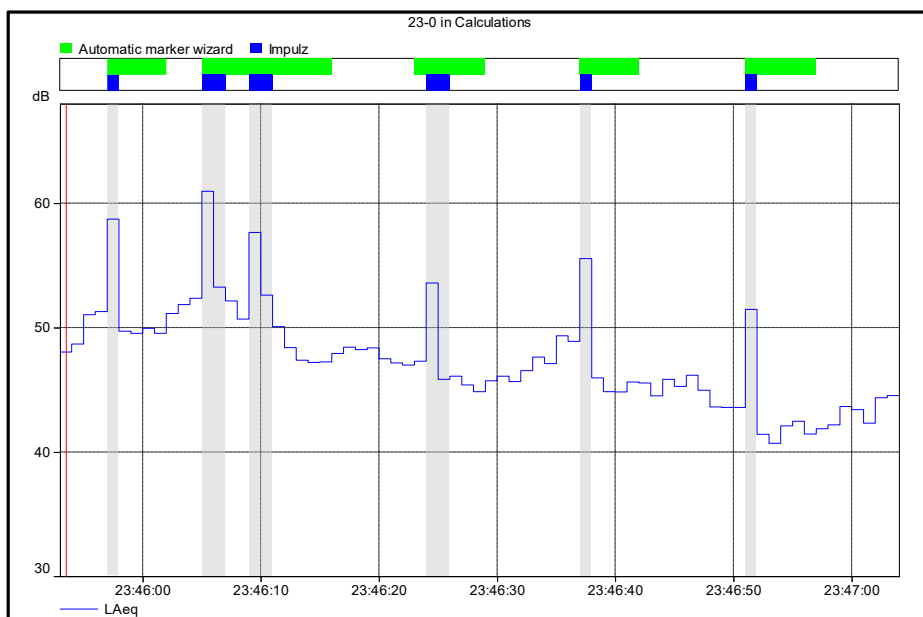
Na základě neustálých připomínek majitele nemovitosti, u které bylo měření hluku prováděno a jeho upozorňování na velmi rušivé přejezdy mostní závěry došlo na základě jednání s objednatelem k vypracování posudku s ohledem na impulzní charakter hluku z dopravy.

Zpracovacím softwarem bylo provedeno „hrubé“ určení impulzních událostí v časovém záznamu průběhu hladin hluku se vzorkováním 1 s, následně bylo upřesněno na základě poslech audiozáznamu souvisejícím s provedeným náměrem hluku. Tím byly vyloučeny události, které s dopravou – přejezdem závěry – nesouvisely.

Posouzením hluku v denní době se potvrdil předpoklad, že impulzní charakter hluku bude překryt ostatním hlukem – hluk ze styku pneumatika – vozovka.

Po posouzení průběhu hluku v noční době bylo určeno celkem 1788 jednotlivých impulzních událostí v celkové době trvání 34 minut za 8 hodin noční doby. Ukázka časového průběhu je uvedena na obr. 4.

Obr. 4. Průběh hladin hluku



Byla určena výsledná hodnocená hladina akustického tlaku $L_{Aeq,8hod} = 42,6$ dB. Návratem k § 12, odst. (3) NV a použitím korekce pro vysoce impulzní hluk - 12 dB, dostáváme pro noční dobu hygienický limit 38 dB.

A TENTO BYL PŘEKROČEN.

4. Zpomalovací práh

V roce 2024 proběhlo měření pro potřeby SZD na místní komunikaci III. třídy v obci Prostějov. Místo měření bylo umístěno 10,1 m kolmo od krajnice komunikace, na posuzované křižovatce je zvýšený profil z kostek délky 10,4 m, uvozený dopravní značkou IP 2 – zpomalovací práh. Situační obrázek a fotodokumentační snímky jsou na obr. 5 – 7.

Obr. 5. Situace



Obr. 6. Umístění mikrofonu



Obr. 7. Pohled na křižovatku



Měření hluku proběhlo opět po dobu 24 hodin, tentokrát v časovém intervalu 7:00 – 7:00 hod, naměřená průměrná rychlost dopravního proudu byla 45 km/h. RPDI stanovené na základě sčítání dopravy při měření bylo 6281 vozidel za 24 hodin.

Výsledné hodnocené hladiny určeny na hodnotách $L_{Aeq,16hod} = 52,5$ dB, pro denní dobu a $L_{Aeq,8hod} = 51,8$ dB pro dobu noční. Porovnáním s limity upravenými NV pro „starou“ komunikaci, tj. 68 dB pro denní dobu a 58 dB pro noční dobu opět prokázalo dodržení hygienických limitů.

I v tomto případě bylo poukazováno především na rušivý impulzní hluk a ze strany orgánu ochrany veřejného zdraví byl dán požadavek na jeho posouzení jako součást zpracování protokolu z měření.

Posouzení bylo provedeno obdobně jako v předešlém případě, a pro denní dobu bylo prokázáno 2092 impulzních událostí v celkové době trvání 48 minut 31 sec s výslednou hodnotou $L_{Aeq,16hod} = 51,0$ dB a pro noční dobu bylo určeno 453 jednotlivých impulzů v celkové době 12 minut 47 sec a s výslednou hodnotou $L_{Aeq,8hod} = 44,6$ dB.

Limity hluku po použití korekce na vysoce impulzní hluk a „starou“ komunikaci jsou stanoveny na 56 dB v denní době a 46 dB v noční době. V tomto případě k překročení limitů nedošlo.

5. Závěr

Z výše uvedeného vyplývá několik skutečností:

- Impulzní charakter hluku z dopravy je hodnotitelný při nižší četnosti průjezdů, kdy nedochází k jeho maskování ostatním hlukem z dopravy.
- Posouzení impulzního charakteru hluku z dopravy je i přes pomoc programového vybavení časově náročné.
- Vzhledem k proměnlivosti hluk a maskování impulzů je třeba měřit a posuzovat celý referenční interval, nelze určit výpočtem.
- Nelze určit ani z měření emisních hodnot v blízkosti zdroje a následným přepočtem do imisního místa, nelze posoudit impulzní charakter v imisním místě, místě posouzení.

Occurrence of impulses in traffic noise

David Kresl, Dana Potužníková, Tomáš Hellmuth

Public Health Institute Ostrava,

Partyzánské nám.2633/7, Moravská Ostrava,702 00 Ostrava, Czech Republic

e-mail: david.kresl@zuova.cz

Abstract

Impulse noise is one of the most dangerous characteristics of an acoustic signal in terms of health risks. It is therefore also penalised by a correction of 12 dB to the hygiene limit. Road traffic noise is generally considered to be a variable broad-spectrum noise, but there are situations where road traffic noise also takes on the character of impulse noise. As a result, there are complaints from exposed residents about the newly constructed or reconstructed part of the road. The article discusses examples of real measurements of these situations in hygienic practice.

Ochrana životního prostředí v rámci ŘSD

Radek Kropelnický a kolektiv
Ředitelství silnic a dálnic s. p.
Čerčanská 2023/12, Krč, 140 00 Praha 4
e-mail: radek.kropelnicky@rsd.cz

Abstrakt

Ochrana životního prostředí se každým rokem dostává do popředí zvláště u nově připravovaných staveb, a to je zejména patrné velkým zájmem veřejnosti na veřejných projednáních zpracovaných dokumentací EIA, případně počtem podmínek uložených pro další přípravu a realizaci silničních komunikací v závazných stanoviscích EIA. U stávajících komunikací se ochrana životního prostředí ve většině případů redukuje na ochranu před hlukem. Ředitelství silnic a dálnic s. p. (ŘSD) se ochranou přírody a zdraví soustavně zabývá a využívá k tomu aktuální normy, legislativní požadavky atd. Příspěvek shrnuje aktuální informace o přístupech k ochraně životního prostředí v souvislosti s různými problematikami řešenými na ŘSD, ať již v kontextu zadávání veřejných zakázek, strategických dokumentů EU a norem, tak i s ohledem na zkušenosti z praxe.

Environmental protection within the RMD

Radek Kropelnický and collective

Road and Motorway Directorate SOE

Čerčanská 2023/12, Krč, 140 00 Praha 4, Czech Republic

e-mail: radek.kropelnicky@rsd.cz

Abstract

Environmental protection is becoming more and more prominent every year, especially in the case of newly prepared constructions, and this is particularly evident in the great interest of the public at public hearings on EIA documentation, or in the number of conditions imposed for further preparation and construction of roads in binding EIA statement. For existing roads, environmental protection is in most cases reduced to noise protection. The Road and Motorway Directorate SOE (RMD) is continuously dealing with the protection of nature and health and uses current standards, legislative requirements, etc. for this purpose. The presentation summarises current information on approaches to environmental protection in relation to various issues dealt with at RDM, both in the context of public procurement, EU strategic documents and standards, and with regard to practical experience.

Systém na stanovení koeficientů hlučnosti povrchů v České republice pro metodiku CNOSSOS-EU

Filip Fikejz, Libor Ládyš, Martin Ládyš

EKOLA group, spol. s r.o.

Mistrovská 558/4, Praha 10

e-mail: ekola@ekolagroup.cz

Abstrakt

Metodika pro výpočet hluku ze silniční dopravy CNOSSOS EU je mezinárodní metodikou, avšak má řadu faktorů charakterizujících specifika národních prostředí ovlivňující emisní hlučnost, např. vozidlový park nebo používané povrchy. Proto se řada států v rámci zpřesnění akustických výpočtů na svých územích snaží implementovat do metodiky CNOSSOS některá svá národní specifika.

Ve spolupráci s Centrem dopravního výzkumu byly vytipovány a měřeny na silniční síti České republiky nejčastěji používané povrchy, které byly rozděleny podle stáří, charakteru a situování do extravilánu a intravilánu. Hlučnost těchto povrchů byla zjišťována pomocí metody CPX – Close Proximity Method. Měřicí systém s pěti mikrofony okolo referenční pneumatiky odpovídal normě EN ISO 11819-2. Povrchy byly rozděleny do tří úrovní. Úroveň I. (intravilán): měřeno pro rychlosti 30; 40 a 50 km/h. Úroveň II. (extravilán): měřeno pro rychlosti 30; 40; 50; 70; 80 a 90 km/h. Úroveň III. (rychlostní komunikace a dálnice): měřeno pro rychlosti 50; 70; 80; 90; 100; 110 a 120 km/h.

Celý měřicí postup a sběr velkého objemu dat byl maximálně automatizován, včetně následného vyhodnocení. O vytipovaném měřicím úseku po jeho přenesení do palubního systému měřicí soupravy je operátor i řidič dopředu informován na obrazovce PC a zároveň je vyzván k úpravě odpovídající jízdní rychlosti. Po vjezdu do měřeného úseku se měření automaticky zapne a po výjezdu vypne. Systém si automaticky hlídá měřicí rychlost, zaznamenává data a upozorní na anomálie v průběhu měření. Systém provede okamžité orientační vyhodnocení, naměřená i vyhodnocená data uloží do palubního systému a současně je odešle na server, včetně dalších informací a dat o měřeném povrchu. Data se dále exportují do vyhodnocovacího softwaru, kde spolu s dalšími proměnnými, např. teplota vzduchu, povrchu v měřeném úseku, dojde k vyhodnocení hlučnosti. Výstupy se dají exportovat i v grafickém formátu jako celek nebo po definovaných segmentech.

Na serveru následně dochází po utřídění velkého objemu naměřených dat podle jednotlivých typů povrchů a jejich stáří k jejich statistickému zpracování. Na základě statistických výsledků podle stáří a typů povrchů byly přes matematické operace stanoveny koeficienty pro každý z měřených povrchů, které bylo možné implementovat jako národní povrchy do metodiky CNOSSOS-EU. Následným logickým krokem bylo ověření výpočtů provedených ve 3D modelu synchronním měřením v různých výškách a vzdálenostech od komunikace u sledovaných úseků jednotlivých typů povrchů.

Výsledky implementace koeficientů nejvíce používaných povrchů v ČR do výpočtové metodiky CNOSSOS-EU budou sloužit k přesnějšímu 3D modelování akustických situací a přesnější predikci akustické situace v daném prostředí.

1. CNOSSOS-EU (Common Noise Assessment Methods in Europe)

Hlavním cílem metodiky CNOSSOS-EU (Common NOise aSSessment methOdS, v překladu společné metody hodnocení hluku) [6], [7] je zavedení jednotného přístupu pro hodnocení hluku v Evropské unii. Metodika umožňuje mimo jiné implementaci národních koeficientů pro lokálně používané povrchy. Pro zpřesnění akustických výpočtů přistoupila řada států EU k jejich národní modifikaci a implementaci.

Pro implementaci vlastních národních koeficientů pro používané povrchy do metodiky CNOSSOS-EU se rozhodla také Česká republika. V rámci úvodní analytické studie proto byly vybrány nejčastěji používané povrchy v České republice. Pro tyto jednotlivé povrchy a jejich různé stáří bylo pro stanovení koeficientů nejdříve nutné v dostatečném množství vzorků změřit emisní akustické parametry, a to pro různé rychlosti a také pro různé typy silnic a jejich zatížení.

2. Měření vlivu povrchu vozovek na dopravní hluk – metoda malé vzdálenosti

Emise šíření hluku z dopravy jsou z velké míry závislé na povrchových vlastnostech obrusné vrstvy vozovky, především na její textuře, mezerovitosti a zvukové pohltivosti. Všechny tyto vlastnosti ovlivňují vznik hluku v místě, kde dochází ke styku pneumatika/vozovka.

Pro možnost porovnání hlučnosti jednotlivých povrchů mezi sebou, případně vývoje hlučnosti v závislosti na stáří povrchu se měří hluk na kontaktu pneumatiky a vozovky normalizovanou metodou dle normy ISO 11819-1 [1]. Tato metoda nazvaná Statistická metoda při průjezdu (Statistical Pass-By / (SPB)) slouží k hodnocení typických povrchů v dobrém stavu a také k celkové akustické situaci povrchu vozovky při průjezdu vozidla v daném měřeném profilu. Tato metoda však nedokáže důsledně oddělit hluk pohonné jednotky a hluk styku pneumatika/vozovka. Kromě toho má metoda SPB ještě řadu dalších praktických omezení, která jsou v této normě uvedena.

Z důvodů velkých omezení v normované metodě ISO 11819-1 vznikla nová normovaná metoda ISO 11819-2 metoda malé vzdálenosti (Close Proximity Method (CPX)) dále už jen (CPX). [2]

2.1. Princip měření hlučnosti povrchu pomocí metody CPX (ISO 11819-2)

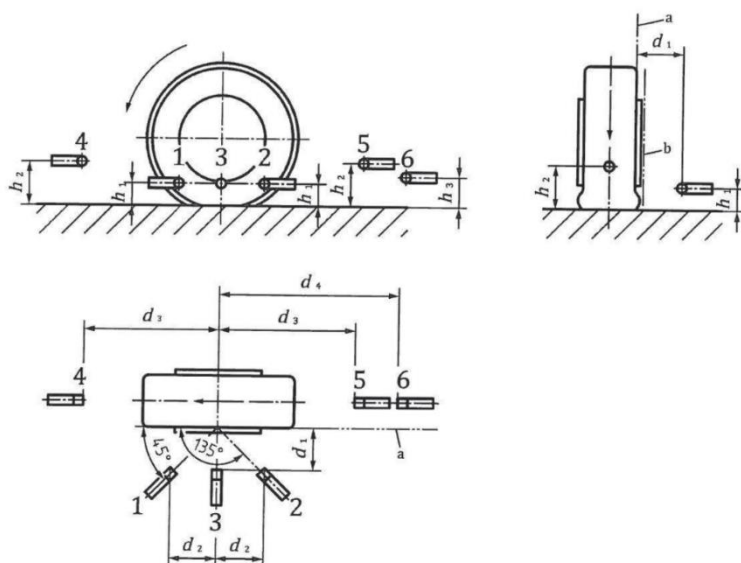
Metoda CPX slouží k porovnání charakteristických akustických vlastností obrusných vrstev povrchů. Měření dle normy probíhá v celém měřeném úseku, který musí být dlouhý minimálně 100 m. Norma má doporučené měřicí rychlosti 50 km/h, 80 km/h a 110 km/h. Umožňuje se měřit i v jiných rychlostech. Mezi další parametry, které se musí při měření dodržet jsou například teplota v rozsahu 5 – 30 °C, frekvenční rozsah 315 Hz až 5000 Hz a též musí být dodržena např. tvrdost zkušební referenční pneumatiky. Veškeré tyto parametry spolu s naměřenými hodnotami vstupují do výpočtu jednočíselné hodnoty LCPX pomocí normovaného vzorce. [2]

$$L_{CPX:t,w,r,i,f,v_{ref}} = L'_{CPX:t,w,r,i,f} + C_{d,f} - B * \lg \left(\frac{V_{t,w,r,i}}{V_{ref}} \right) dB - \gamma_t * (T_i - 20^{\circ}C) - \beta_t * (H_A - H_{ref})$$

2.2. Měřicí pneumatika a rozmístění mikrofonů

Z důvodu zajištění srovnatelných podmínek není možné užít jakákoliv pneumatika, proto byly požadavky na referenční pneumatiku definovány normou ISO 11819-3, kde je definována speciální měřicí pneumatika (Standard Reference Test Tire (SRTT)), která je jako jediná určená k tomuto typu měření. Tato pneumatika není schválena k běžnému provozu na komunikaci. [3]

Obr.1. Grafické znázornění umístění mikrofonů [2]



Legenda

A	Nedeformovaná bočnice měřící pneumatiky	2	Zadní povinný mikrofon
b	Deformovaná bočnice měřící pneumatiky	3	Střední volitelný mikrofon
d ₁ d ₂ d ₃ d ₄	Viz tabulka	4	Přední volitelný mikrofon
h ₁ h ₂ h ₃	Viz tabulka	5	Zadní volitelný mikrofon
1	Přední povinný mikrofon	6	Zadní volitelný mikrofon

Tab.1. Rozmístění mikrofonů vně měřicího kola.

Mikrofon (mikrofony)	h ₁	h ₂	h ₃	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄
1,2	0,10m			0,20m	0,20m		
3	0,10m			0,20m	0,00m		
4,5		0,20m				0,65m	
6			0,15m				0,80m

2.3. Typy měřicích zařízení používaných v ČR

Existuje několik variant řešení. V ČR jsme opustili řešení umístění měřicího systému přímo na vozidle z důvodu možných průniků parazitního hluku a chvění z vozidla do měřicího systému a nemožnosti jízdy na měřicí místo na měřicí pneumatice. (Není homologovaná pro běžný provoz).

2.3.1. Otevřený vlek

Jedním z řešení je tažené zařízení (vlek), konkrétně s otevřenou konstrukcí. Toto zařízení je střední cestou mezi zařízeními, které doporučuje norma ISO 11819-2. Viz. obr. 2.

Obr.2. Ukázka otevřeného měřicího systému CDV, CPX metoda



Zdroj: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Tento měřicí systém není při měření rušen tažným vozidlem a jeho výfukovým systémem. Je jednoduchý na realizaci, instalaci měřicích mikrofónů a také jejich možnou modifikaci z hlediska umístění. Zařízení je více náchylné na vnější vlivy jako je proudění větru v okolí pneumatiky, povětrnostní podmínky a také na hluk projíždějících okolních vozidel. V běžném provozu se nemůže přesunovat na měřicí úsek na referenční měřicí pneumatice, neboť ta není schválená pro běžný silniční provoz.

2.3.2. Uzavřený vlek

Možným řešením je uzavřený systém, který je též řešen jako tažené zařízení (vlek). Toto řešení je konstrukčně nejnáročnější a nákladné. Z hlediska měření i používání má řadu výhod a ve světě je nejrozšířenějším řešením. Tento konkrétní systém má samostatné speciálně odpružené měřicí kolo, které je v době přesunu zvednuto mimo vozovku.

Obr.3. Ukázka uzavřeného měřicího systému EKOLA group spol. s r.o., CPX metoda



Zdroj: EKOLA group spol. s r.o.

Výhodou tohoto řešení je, že měření není výrazně ovlivněno prouděním větru a také hlukem z projíždějících vozidel. Nevýhodou jsou omezené konstrukční možnosti pro modifikaci mikrofonů a nízký profil mezi vozovkou a krycím ochranným rámem v okolí mikrofonů.

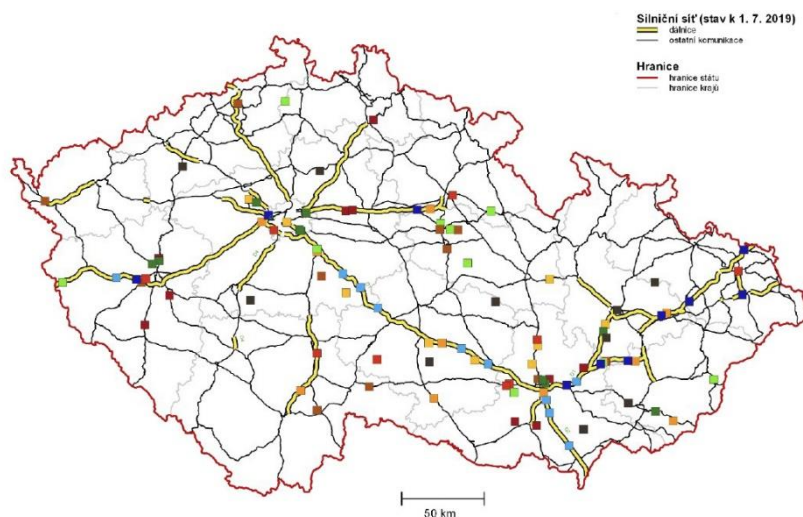
3. Nejvíce používané povrchy v České republice

Pro realizaci tohoto projektu byly ve spolupráci nositele projektu společností EKOLA group spol. s r.o. (EKOLA), spoluřešitelem Centrem dopravního výzkumu, v. v. i. (CDV) a Ředitelstvím silnic a dálnic ČR vybrány nejvíce používané, resp. vyskytující se obrusné vrstvy / povrchy v ČR. Všechny vybrané povrchy byly měřeny v celkové minimální délce 500 m pro získání dostatečného počtu dat. Celkově bylo proměřeno cca 100 povrchů, minimálně 10 od každé vybrané skupiny.

Z vybraných povrchů bylo sestaveno deset nejvíce používaných skupin povrchů v České republice.

1.skupina	Dlažba
2.skupina	Nízkohlučné obrusné směsi v souladu s TP 259 [4] ¹
3.skupina	Povrchy snižující hlučnost mimo TP 259 [4]
4.skupina	Cementobetonový kryt s povrchovou úpravou pomocí vlečené juty
5.skupina	Cementobetonový kryt s povrchovou úpravou pomocí obnaženého kameniva
6.skupina	Asfaltový beton pro obrusné vrstvy s maximální velikostí frakce kameniva 11 mm
7.skupina	Asfaltový koberec mastixový s maximální velikostí frakce kameniva 11 mm
8.skupina	Jemnozrnné asfaltové povrchy (maximální frakce kameniva 8 mm a méně)
9.skupina	Hrubozrnné asfaltové povrchy (maximální frakce kameniva 16 mm a více)
10.skupina	Emulzní koberce

Obr.4. Vytipované úseky jednotlivých druhů povrchů vozovek s lokalizací na území ČR.



Data: Silniční síť. Data 50 © ČÚZK, 2019
Zdroj: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

¹ V současné době je již jako samostatné TP259 neplatné. Bylo implementováno pod TKP Staveb pozemních komunikací [5]

4. Podmínky pro realizaci projektu

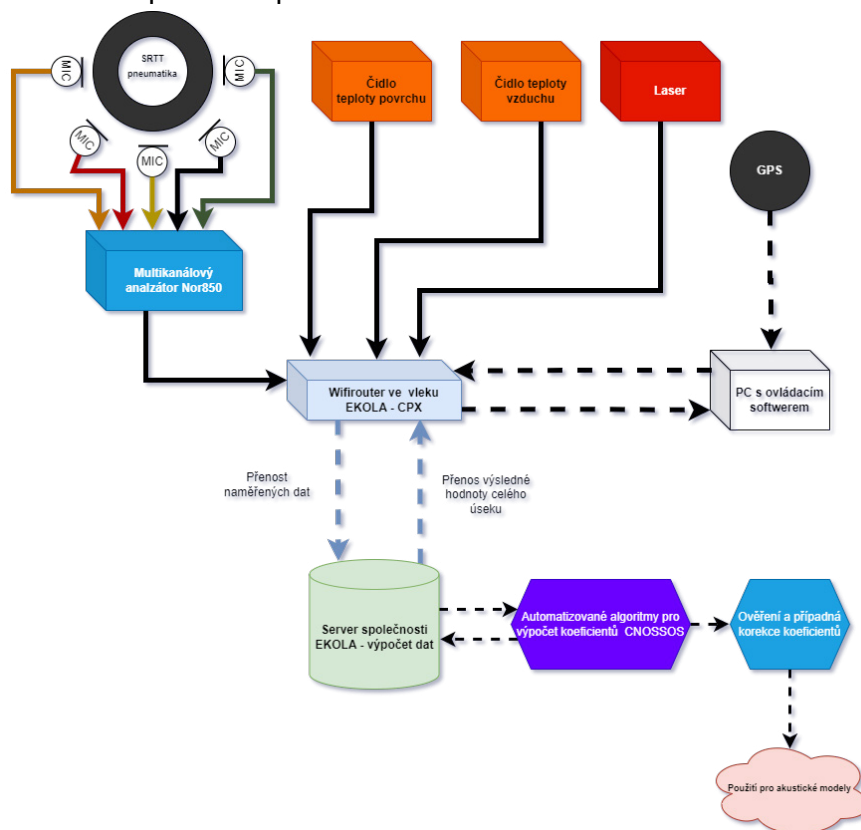
Celý projekt stanovení parametrů hlučnosti povrchů pro metodiku CNOSSOS EU byl postavený pro získání relevantních dat metodou dle ISO 11819-2. Pro potřeby projektu byly však získávané parametry rozšířeny pro frekvenční pásmo 63 Hz – 8000 Hz. Dále byly zpřísněny podmínky pro teplotu vzduchu, která se běžně může při měření pohybovat od 5 °C do 30°C. Z důvodu relevance a lepší porovnatelnosti naměřených dat byl interně pro náš projekt stanoven teplotní rozsah jen mezi 15°C – 25 °C. Cílem bylo, aby se měření realizovala pro ideální případ okolo 20 °C. Pro normovanou metodu ISO 11819-2 jsou stanovené rychlosti 50 km/h, 80 km/h, 110 km/h. Pro pokrytí co největšího rozsahu rychlostí, avšak s ohledem na silniční předpisy ČR a bezpečnost při měření, jsme stanovili rychlosti pro intravilán 30 km/h, 40 km/h, 50 km/h, pro extravilán mimo dálnice 30 km/h, 40 km/h, 50 km/h, 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h a pro dálnice jsme stanovili s ohledem na bezpečnost a plynulost provozu rychlosti na 50 km/h, 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h, 100 km/h, 110 km/h, 120 km/h. Veškeré úseky byly měřeny v minimální délce 500 m a to vždy dvakrát v každé jízdní stopě tedy minimálně čtyřikrát pro každou rychlost v měřeném úseku.

5. Měřicí systémy, kterými se sběr dat realizoval

Společnost CDV v projektu používala výše zmíněný vlečený nezakrytý systém, kde veškerá měřicí zařízení jsou umístěná v zavazadlovém prostoru tažného vozidla.

Zařízení společnosti EKOLA má měřicí systém (multikanálový systém Norsonic – Nor 850) umístěný přímo v měřicím přívěsu a veškerý kontrolní a ovládací PC se softwarem má umístěný v přední části tažného vozidla, tzn. u řidiče a operátora měření. Ovládací signály z místa řidiče, či operátora a přenos dat z měřicích mikrofónů do prostoru řidiče je realizován buď bezdrátově díky vysoce výkonným wifi routerům případně pomocí CAT7 – datovými kabely. Společně s akustickými daty je také přenášena celá řada dalších údajů o poježděném povrchu a také informace o venkovní teplotě a o teplotě povrchu vozovky. Celý měřicí systém je energeticky soběstačný díky solárnímu panelu umístěnému na střeše a smart gelové baterii, která napájí celé měřicí zařízení v měřicím vleku. Tato baterie je také dobíjena z palubní sítě tažného vozidla. Měřicí zařízení – vlek se dá táhnout za jakýmkoliv vozidlem. Celý plně automatizovaný systém měření, analýzy dat a vyhodnocení je ovládaný softwarem E-CPXCon, který je plně navržený společností EKOLA. Veškerá měření jsou spouštěna pomocí velice přesné GPS, která i ve městě díky kombinaci systémů GPS a GLONASS dokáže kontrolovat polohu a velice přesně spustit a ukončit měření a také označit v akustických datech markerem daný měřený úsek. Celý systém je připojený online k internetu a hned po ukončení a uložení měřeného úseku se veškerá data (akustický tlak, teploty a další) automaticky odesílají a zálohují na serveru společnosti. Také okamžitě dochází k automatickému vyhodnocení a po ukončení měření dostane operátor informaci o hluku povrchu vozovky, či zjištěných anomáliích. Celé měření je také zaznamenáváno synchronně na tři kamery k případné další video-analýze daného povrchu.

Obr.5. Schéma celého procesu zpracování dat EKOLA



6. Měření pro ověření navrhovaných koeficientů pro metodiku CNOSSOS-EU

V rámci projektu byla provedena řada porovnávacích měření pro ověření navržených koeficientů povrchů pro metodiku CNOSSOS-EU. Ověření bylo prováděno pomocí 3D modelu vytvořeného podle reálné situace v místě měření.

Jako ukázkou uvádíme např. ověřovací měření ve volném akustickém poli v lokalitě Buštěhrad u silnice I/61. Na vozovce byla položena obrusná vrstva tvořena nízkohlučnou směsí BBTM 8 NH (asfaltový koberec pro velmi tenké vrstvy s frakcí kameniva o maximální velikosti 8 mm) a nejvyšší dovolená rychlost v měřeném profilu byla 70 km/h.

Obr.6. Pohled na místa měření v lokalitě Buštěhrad



Zdroj : EKOLA group spol. s r.o.

7. Výpočet v 3D modelu a porovnání s ověřovacím měřením

7.1. Metodika výpočtu

Výpočet ekvivalentních hladin akustického tlaku A v posuzovaných lokalitách byl proveden pomocí digitálního 3D modelu v prostředí softwaru CadnaA [8].

Akustické parametry provozu na silničních komunikacích byly ve výpočtovém modelu generovány v souladu s metodikou CNOSSOS-EU s využitím poznatků podkladu „Výpočet hluku z automobilové dopravy. Aktualizace metodiky. Manuál 2018 – verze 2020“ [9].

7.2. Přesnost výsledku výpočtu

Mezi faktory ovlivňující přesnost výsledku výpočtu patří především vstupní údaje, přesnost mapových podkladů, neurčitost výpočtu – zaokrouhlování výpočtu apod. Uvažuje se s přesností do ± 2 dB.

7.3. Vstupní podklady výpočtu pro uvedený příklad

Na silnici I/61 byla v předmětném úseku zadána nízkohlučná obrušná směs BBTM 8 NH. Povrchy byl ve výpočtovém softwaru CadnaA implementován pomocí koeficientů α a β stanovených na základě měření metodou CPX.

Intenzity silniční dopravy na posuzované komunikaci I/61 byly zjištěny v rámci dopravně inženýrského průzkumu v době měření. Vozidla byla členěna do kategorií dle metodiky CNOSSOS-EU s využitím poznatků Manuálu 2018 – verze 2020 [9].

Rychlosti vozidel na řešených úsecích silnic byly zadány na základě provedeného měření rychlosti. Sklonové a výškové poměry komunikací byly generovány výpočtovým softwarem automaticky na základě digitálního modelu terénu od Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního. Výšky okolních budov v zájmovém území byly stanoveny na základě provedeného průzkumu. Vzhledem k charakteru zástavby byl zvolen koeficient pohltivosti fasád jednotlivých objektů 0,21. Půdorysy budov byly převzaty z registru územní identifikace adres a nemovitostí.

8. Ověření stanovených koeficientů pro jednotlivé povrchy

Princip ověření výpočtového modelu spočíval v porovnání naměřených a vypočtených ekvivalentních hladin akustického tlaku A ve shodných výpočtových bodech zájmového území při zajištění shodných podmínek měření a výpočtu.

8.1. Nízkohlučná obrušná směs BBTM 8 NH (Skupina 2) – vyhodnocení

Na následujících obrázcích jsou prezentovány výřezy z 3D výpočtového modelu ve 2D a 3D zobrazení pro lokalitu Buštěhrad, kde byly ověřovány implementované emisní parametry nízkohlučné obrušné směsi BBTM 8 NH (Skupina 2).

Obr.7. Výřez z 3D modelu lokality Buštěhrad s místy měření / kontrolními výpočtovými body



Zdroj: CadnaA, Ortofoto: © TopGis, s.r.o.

Rozdíl mezi hodnotou ekvivalentní hladiny akustického tlaku $A_{L_{Aeq,T}}$ zjištěnou měřením a výpočtem v matematickém 3D modelu byl při porovnání naměřených a vypočtených hodnot v místech měření/kontrolních výpočtových bodech maximálně v rozmezí do $\pm 2,0$ dB.

9. Závěr

V rámci projektu implementace emisních parametrů povrchů používaných v ČR do metodiky CNOSSOS-EU byly jednotlivé vybrané povrchy rozčleněny do 10 skupin. Následně byla po celé republice na vybraných úsecích různých typů silnic metodou CPX provedena měření emisních parametrů vybraných povrchů dle stanovených srovnatelných podmínek.

Na základě naměřených hodnot metodou CPX byly dle metodiky CNOSSOS-EU stanoveny koeficienty α , β pro jednotlivé skupiny povrchů. Při ověření byly tyto koeficienty pro jednotlivé skupiny povrchů implementovány do 3D matematických výpočtových modelů pro různé lokality a ověřeny měřením formou synchronních měření vždy v šesti kontrolních bodech v různých vzdálenostech a výškách. Z porovnání naměřených a vypočtených hodnot vyplývá, že rozdíl se pohyboval do předem stanovených $\pm 2,0$ dB, tedy v pásmu nejistoty výpočtu.

Stanovené koeficienty pro výpočtovou metodiku CNOSSOS-EU budou následně zapracovány do aktualizace Manuálu 2018 - verze 2020, kde budou ještě i další aktualizace a podklady pro výpočty získané na základě dalších projektů, např. hlučnost elektromobilů apod.

Literatura

- [1] ISO 11819-1. Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: Statistical Pass-By method. 1. 1997-09.
- [2] ISO 11819-2. Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method. 1. 2017-03.
- [3] ISO 11819-3. Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 3: Reference tyres. 1. 2017-03.
- [4] VALENTIN, J. a kol. Technické podmínky 259 Asfaltové směsi pro ohrubné vrstvy se sníženou hlučností, schváleno Ministerstvem dopravy č. j. 121/2017-120-TN ze dne 21. listopadu 2017 s účinností od 1. prosince 2017, 26 s.

- [5] VALENTIN, J. Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací. Kapitola 7 Hutněné asfaltové vrstvy, schváleno Ministerstvem dopravy, Odborem liniových staveb a silničního správního úřadu pod č. j. MD-10079/2023-930/2 ze dne 29. 3. 2023 s účinností od 1. 4. 2023, 43 s.
- [6] KEPHALOPOULOS, S., PAVIOTTI M., ANFOSSO-LÉDÉE F. Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012. ISBN 978-92-79-25281-5.
- [7] KEPHALOPOULOS, S. a M. PAVIOTTI. Common noise assessment methods for Europe (CNOSSOS-EU): Implementation challenges in the context of EU noise policy developments and future perspectives. In: Proceedings of the 23rd International Congress on Sound and Vibration (ICSV23). Athens: International Institute of Acoustics and Vibration, 2016. ISBN 978-960-99226-3-0.
- [8] CadnaA, version 2022 (built: 189.5221). Greifenberg (Germany): DataKustik GmbH, 2022.
- [9] Ládyš, L. a kol. Výpočet hluku z automobilové dopravy – aktualizace metodiky. Manuál 2018 – verze 2020. Praha: EKOLA group, spol. s r.o., 2020.
- [10] Akustické vlastnosti nejpoužívanějších povrchů v ČR a jejich implementace do výpočtové metodiky CNOSSOS-EU, závěrečná zpráva, zak. č.: 20.0617-01; EKOLA group spol. s r.o., Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2023

Surface noise coefficient determination system in the Czech Republic for the Cnossos-eu methodology

Filip Fikejz, Martin Ládyš and Libor Ládyš

EKOLA group, spol. s r.o.

Mistrovská 558/4, Prague 10, Czech Republic

e-mail: ekola@ekolagroup.cz

Abstract

The CNOSSOS-EU road traffic noise calculation methodology is an international approach, yet it contains a number of factors characterizing the national noise-emission-affecting specifics, e.g. vehicle fleet or mostly used surfaces. That is why a number of countries are trying to implement some of their own corrections in order to refine acoustic calculations in their territories.

The project is implemented by company EKOLA group in cooperation with the Transport Research Centre. Ten most frequently used road surfaces in the Czech Republic were selected, measured and categorized according to age, type and location (urban / non-urban). The noise emission level of these surfaces was determined using the CPX – Close Proximity Method. The measuring system with five microphones around the reference tyre conformed to the EN ISO 11819-2 standard. The surfaces were divided into three sub-groups. Level I. (urban): measured for speeds of 30; 40 and 50 kph. Level II. (non-urban): measured for speeds of 30; 40; 50; 70; 80 and 90 kph. Level III. (high-speed roads and motorways): measured for speeds of 50; 70; 80; 90; 100; 110 and 120 kph.

The entire measuring and evaluation procedure is fully automated. The measuring vehicle crew is informed in advance about the selected measuring section and prompted to adjust the corresponding driving speed. The measurement is automatically initiated when entering the selected section and stopped when exiting. The system automatically monitors the driving speed, records data and displays warnings during the measurement. It also performs a real-time indicative evaluation, stores data in the on-board system and sends them to the server. In the post-processing phase, the data is exported to the evaluation software, where (together with other variables, e.g. air and surface temperature), the CPX noise level is evaluated. Outputs are then exported in graphic format both for whole section or divided into defined segments.

After sorting the large data volume according to individual surface types and their age, statistical processing takes place. As an output of a series of mathematical operations, the national coefficients are determined for each of the surfaces and implemented as “national surface coefficients” into the CNOSSOS-EU methodology. The final step is to verify the calculations made in the 3D model by in-situ measurements at different heights and distances from the road.

These results of the Czech Republic national coefficient implementation into the CNOSSOS-EU calculation methodology will allow more accurate 3D acoustic modelling and predictions in given local environment.

Navržený způsob hodnocení hlučnosti povrchů vozovek pozemních komunikací

Vítězslav Křivánek¹, Jan Machanec¹, Blanka Hablovičová¹, Petra Marková¹,
Josef Stryk¹

¹Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: vitezslav.krivanek@cdv.cz

Abstrakt

Příspěvek prezentuje možný způsob hodnocení hlučnosti povrchů vozovek. Hodnocení se provádí pomocí pěti klasifikačních stupňů, stejně jako v případě dalších proměnných parametrů sledovaných na síťové úrovni (nerovnost povrchu, protismykové vlastnosti povrchu, makrotextura povrchu či výskyt poruch). Návrh je založen na výsledcích kontinuálního měření hlučnosti povrchů vozovek metodou CPX, která není závislá na intenzitě dopravního proudu. U nízkohlučných brusných vrstev/nízkohlučných úprav povrchů vozovek má stupnice popisovat stav z hlediska plnění podmínky „nízkohlučnosti“. Pro běžné obrusné vrstvy/úpravy povrchu vozovky má stupnice popisovat rozdíl od referenčního povrchu, respektive změny v průběhu jeho stárnutí.

1. Úvod

Silniční doprava je dominantním zdrojem hluku v životním prostředí po mnoho let, dílčími způsoby však lze dosáhnout redukce hluku. Jednou z možností je snížit rychlost dopravního proudu nebo se zaměřit na hlučnost vlastních povrchů vozovek pozemních komunikací, tj. na hodnocení hlučnosti generované na styku pneumatika/vozovka. Tato hlučnost se měří metodou CPX podle normy ISO 11819-2 [1], která se již používá v rámci technických předpisů [2]. Metodu CPX by bylo možné využít i k dalším hodnocením, jak bude ukázáno dále.

Na síťové úrovni se uvádí pět proměnných parametrů vozovek určených ke sledování: poruchy, nerovnosti povrchu, protismykové vlastnosti a textura povrchu, únosnost vozovky a hlučnost povrchu [3]. První čtyři z těchto parametrů mají zavedenu svoji klasifikaci pro hodnocení na síťové úrovni, avšak chybí klasifikační stupnice pro parametr hlučnosti. Hodnocení zmíněných proměnných parametrů je prováděno prostřednictvím klasifikačních stupňů od 1 do 5. Poruchy jsou zaznamenávány v souladu s katalogy poruch vozovek, kde se sleduje ztráta hmoty, trhliny, deformace vozovky apod. Vyhodnocení poruch, následná klasifikace stavu a tvorba homogenních úseků vozovky se provádí podle procentuálního vyjádření zasažené plochy, případně četnosti a závažnosti každého z typů poruch. Nerovnosti povrchu vozovky se hodnotí pomocí dvou ukazatelů – podélné nerovnosti (parametr IRI) a příčné nerovnosti (hloubka vyjeté koleje R v měřených profilech). U protismykových vlastností a textury povrchu se hodnotí součinitel podélného tření F_p , a to pomocí dynamického měřicího zařízení, a makrotextura (parametr MPD). Únosnost vozovky je sledována prostřednictvím zbytkové životnosti vozovky v letech, která se počítá z naměřených průhybů rázovým zařízením FWD.

Nejen v České republice bylo prokázáno, že hlučnost vozovek pozemních komunikací v čase narůstá. Skutečně se tedy jedná o proměnný parametr, který v poslední dekádě vlivem zvýšeného důrazu na řešení dopadu na životní prostředí a zdraví člověka (sledování environmentálních parametrů) nabývá na významu [4], [5].

2. Klasifikační stupnice

Stanovení klasifikačních stupňů hlučnosti povrchů vozovek pozemní komunikace je založeno na výsledcích měření dle metodiky CPX, která není závislá na intenzitě dopravního proudu. Okolní provoz tak neovlivňuje naměřené hodnoty. Postupuje se v souladu s platnou mezinárodní normou ISO 11819-2 [1] a dle dalších souvisejících norem. Především s ustanovením ISO/TS 11819-3 [6] ohledně využití definované referenční pneumatiky P1 a ISO/TS 13471-1 [7] ohledně provádění teplotních korekcí. Na národní úrovni je hodnocení klasifikačních stupňů hlučnosti povrchů pozemní komunikace navázáno na „*Technické kvalitativní podmínky staveb a pozemních komunikací, Kapitola 7 Hutněné asfaltové vrstvy*“ (TKP 7) konkrétně dle části Příloha 7.P6: „*Postup pro prokazování a sledování účinku snížené hlučnosti na styku obrusné vrstvy a pneumatiky pojiždějícího vozidla*“ [2]. V návrhu je zohledněn i připravovaný mezinárodní předpis v rámci pracovní skupiny CEN/TC 227/WG 5 TG 3 „*Characterisation of the acoustic properties of road surfaces*“ [8].

Vzhledem k současným podmínkám a znalosti obdobných klasifikačních stupnic pro ostatní proměnné parametry se jeví jako vhodné mít stupnici pro hlučnost obrusných vrstev také pětistupňovou. Významným proměnným parametrem u hlučnosti je rychlost. Měření se provádějí nejčastěji ve dvou rychlostech, a to 50 km/h nebo 80 km/h. Zvolená rychlost se pak odvozuje od kategorie pozemní komunikace a maximální povolené rychlosti v konkrétním místě měření. Nelze použít stejnou hodnotící stupnici pro rychlost 50 km/h a 80 km/h a nelze použít stejnou stupnici na klasické povrchy a na nízkohlučné obrusné vrstvy, na které jsou kladeny vyšší požadavky [2]. Z toho vyplývá, že stupnice musí být alespoň čtyři.

V TKP 7 je uvedeno, že povrch lze považovat za nízkohlučný, jestliže ekvivalentní hladina akustického tlaku bude po pokládce alespoň o 3 dB nižší (uvedená hodnota je uvažována před zohledněním nejistoty měření), než je stanovená referenční hodnota. Referenční hodnota pro 80 km/h je 98,0 dB, což dle dlouhodobých měření odpovídá běžným povrchům stáří 1 roku, a tedy tato hodnota v návrhu klasifikační stupnice by měla představovat vstupní mezní hodnotu pro klasifikační stupeň 1. Pro nízkohlučné povrchy je nastavená mezní hodnota přísnější, a to 96,0 dB (kdy v souladu s TKP 7 je zohledněna nejistota měření, tj. nový nízkohlučný povrch musí po pokládce mít nižší hlučnost než 96,0 dB). Obdobné hodnocení je také pro rychlost 50 km/h, kde je referenční (mezní hodnota pro 1. klasifikační stupeň) hodnota 90,0 dB a přísnější 88,0 dB pro nízkohlučné obrusné vrstvy. Jestliže budou naměřené hodnoty u nových nízkohlučných obrusných vrstev v klasifikačním stupni 1, tak lze předpokládat, že jejich pokládka byla provedena dostatečně kvalitně a ve stejném stavu je i jejich aktuální stav. Obdobná filozofie platí pro novou pokládku běžného standardního povrchu (SMA 11 či ACO 11, CBK – vymývaný beton). Nastavení jednotlivých stupňů bylo ověřováno na D1 v rámci prováděné modernizace (viz dále), kde proběhlo několik stovek měření jen pro tyto konkrétní 3 povrchy. Jiné typy povrchů (například hrubozrnné směsi jako SMA 16, opravné technologie jako emulzní mikrokoberec, zámková dlažba aj.) mohou mít po pokládce vyšší klasifikační stupeň (typicky dlažební kostky jsou ihned klasifikovány stupněm 5). Naopak, pro jemnozrnné směsi nebo povrchové úpravy, které nejsou klasifikovány jako nízkohlučné (SMA 8S, BBTM 5A, CBK - grinding), může klasifikace ve stupni 1 vydržet déle. Postupem času se tyto povrchy budou zanášet nečistotami, dojde k vydrolování kameniva, případně se budou tvořit nerovnosti či jiná poškození, a akustický stav se bude zhoršovat. Nelze však na základě navržené stupnice konstatovat, že pokud hodnocení dosáhne 5. stupně, tak že je už povrch nevyhovující a musí se okamžitě vyměnit. Takový povrch může být nadále zcela provozuschopný, avšak nedosahuje vhodných akustických parametrů.

3. Ověření navržené klasifikace

Rozsáhlé ověření nastavení správnosti klasifikační stupnice proběhlo na D1 mezi Brnem a Prahou, jde o úsek, který byl mezi lety 2013 a 2021 postupně modernizován, čehož bylo s výhodou využito pro zaznamenávání nových a nových úseků i změn hlučnosti v jednotlivých letech pro úseky starší, a to včetně hodnocení před započítáním modernizace.

Vzhledem k tomu, že před započítáním modernizace některé lokality byly staré již 40 let, tak tomu odpovídal nejenom akustický stav. Na velké části povrchu komunikace se vyskytovaly výrazné nerovnosti, které způsobovaly nekomfortní jízdu, což se projevilo taktéž na hlučnosti předmětných úseků. V některých úsecích (segmentech) bylo naměřeno i přes 106 dB [9]. Vyskytly se však úseky, kde byly naměřeny i nižší hodnoty, a to zejména v místech, kde probíhaly lokální opravy před započítáním modernizace. Jestliže se aplikuje navržená klasifikační stupnice pro běžné povrchy na vybranou oblast D1 před zahájením modernizačních prací, tak převážná většina (80 %) spadá do nejhoršího stupně 5. Lepších hodnot dosahuje pouze 20 % úseků, viz tabulka 1.

Tab. 1. Aplikovaná klasifikační stupnice pro běžné obrusné vrstvy na vybraném úseku před modernizací v roce 2013.

Klasifikační stupeň				
1	2	3	4	5
$\leq 98,0$	98,1 – 99,0	99,1–100,0	100,1 – 101,0	$\geq 101,1$
0 %	1 %	5 %	14 %	80 %

Hodnocení akustická situace 1 rok po zprovoznění všech úseků v rámci modernizace D1, bylo možné provést na základě pravidelných měření každý rok, jelikož jednotlivé úseky se reálně postupně uváděli do provozu cca 8 let. Výsledky je možné vidět v tabulce 2. Tyto výsledky potvrzují, že modernizace z hlukového hlediska byla úspěšná, kdy předčila očekávání, protože 70 % z celé délky sledovaného úseku modernizace D1 dosahuje nižší nebo stejnou hodnotu, která je stanovená v rámci TKP 7 (referenční hodnota 98,0 dB), referenční hodnoty hlučnosti při zohlednění nejistoty dosahovalo 27% celkové délky sledovaného úseku modernizace D1. Tabulka 2 uvádí hypotetický stav, který však umožňuje hodnotit situaci, kdyby celá modernizace D1 byla provedena najednou. Tedy veškeré úseky na hlučnost byly hodnoceny 1 rok po zprovoznění, ať byl úsek zprovozněn v roce 2014 nebo v roce 2020 (pro rok zprovoznění 2014 bylo hodnoceno provedené měření v roce 2015, pro rok zprovoznění 2020 bylo hodnoceno provedené měření v roce 2021).

Tabulka 2: Aplikovaná klasifikační stupnice pro běžné obrusné vrstvy na vybraném úseku 1 rok od zprovoznění všech dílčích lokalit.

Klasifikační stupeň				
1	2	3	4	5
$\leq 98,0$	98,1 – 99,0	99,1–100,0	100,1 – 101,0	$\geq 101,1$
70 %	27 %	3 %	0 %	0 %

Jak bylo uvedeno v úvodu, hlučnost je proměnný parametr a bylo prokázáno, že se v čase vyvíjí. Tj., postupně dochází ke zhoršování stavu. Nejstarší úseky již mají téměř 10 let provozu za sebou. Poslední ucelené vyhodnocené měření je z roku 2023. Po aplikaci navržené stupnice je jednoznačně potvrzen fakt zhoršování akustického stavu povrchů pozemní komunikace vlivem provozu. U některých z úseků je to změna za 9 let a u některých je to pouze za 2 roky od jejich zprovoznění. Tabulka 3 obsahuje reálný stav v roce 2023. Je vidět rozvrstvení téměř po celé délce stupnice. Klasifikační stupeň 1 z hlediska akustiky vyjadřuje novou vozovku a je v něm zařazeno cca 10% povrchů, což odpovídá realitě, jelikož nejnovější povrchy do provozu byly uvedeny v roce 2021 (k roku hodnocení 2023 se jedná o stáří povrchu 2 roky, tj. kvalitní povrchy z hlediska akustiky mohou vykazovat i po dvou letech parametry zcela nové vozovky). Navíc tato jednotná stupnice byla použita pro všechny typy povrchů – v rámci modernizace je využit zejména povrch SMA 11S a CBK – vymývaný beton (tyto dvě technologie jsou využity z více jak 90%), minoritně však lze nalézt úseky, které mají nižší hlučnost.

Tabulka 3: Aplikovaná klasifikační stupnice pro běžné obrušné vrstvy na vybraném úseku po modernizaci v roce 2023.

Klasifikační stupeň				
1	2	3	4	5
$\leq 98,0$	98,1 – 99,0	99,1–100,0	100,1 – 101,0	$\geq 101,1$
10 %	48 %	37 %	5 %	0 %

Úseky s nižší hlučností jsou zřejmé při jejich vizualizaci formou map [10], [11], kde je patrná i nízkohlučná úprava CBK s technologií grinding okolo EXITu 66 ve směru na Brno, popřípadě dílčí části v úseku Mirošovice – Hvězdovice v obou směrech, kde je použit nízkohlučný asfalt typu SMA 8 NH. Tyto situace prokazují, že je potřeba mít i druhou klasifikační stupnici pro nízkohlučné obrušné vrstvy a nízkohlučné úpravy, protože zatímco při klasifikování stupnicí pro běžné povrchy jsou stále tyto povrchy ve stupni č. 1, tak v případě použití přísnějšího hodnocení, by už některé z nich v 1. stupni nebyly. Jeví se nezbytné aplikovat takovou stupnici i vzhledem k tomu, že se tento typ povrchů používá v oblastech, kde dochází k vysokému zatížení obyvatelstva hlukem a tyto speciální povrchy se dávají do míst, kde je záměrem snížit hlučnost z provozu na pozemních komunikacích.

4. Závěr

Příspěvek je věnován problematice návrhu vhodné klasifikační stupnice hlučnosti proměnného parametru vozovky – hlučnosti vlastní obrušné vrstvy pozemní komunikace. S velkou výhodou pro nastavení klasifikace byla využita modernizace dálnice D1, kde se postupně zprovožňovaly jednotlivé nové a nové úseky po dobu téměř 8 let. Měření však proběhlo na D1 i před modernizací a stále probíhá i po ní. K analýzám byla využita data z období let 2012 – 2023, kdy jen v této lokalitě bylo zrealizováno přes 1000 měření pro všechny typy povrchů, z nichž cca 600 měření bylo uskutečněno na SMA 11, ACO 11 a CBK – vymývaný beton. Nastavení i důkladné ověření klasifikační stupnice hlučnosti tak proběhlo i na nejvýznamnější rekonstrukci silniční sítě v ČR za poslední desetiletí.

Při přípravě navržených klasifikačních stupnic proměnného parametru hlučnosti na síťové úrovni byla využita pořízená reálná data z terénu, výsledky a analýzy prováděné CDV na území ČR od roku 2010 metodou CPX. Tento rozsáhlý statistický soubor jednotlivých typů, druhů povrchů pozemních komunikací, včetně pravidelných opakovaných měření a sledování nárůstu hlučnosti, obsahuje přes 5 000 unikátních záznamů. Lze se tak domnívat, že návrh klasifikační stupnice hlučnosti je opřen o dostatečně robustní a dlouhodobou statistiku chování povrchů vozovek na území ČR.

Navržená klasifikační stupnice má pouze DOPORUČUJÍCÍ charakter. Tedy při dosažení stupně 5 (nevyhovující) není nutné povrch vozovky pozemní komunikace bezprostředně upravovat. Zahrnutí do dílčích technických předpisů může sloužit jako podpůrný ukazatel k dalším již hodnoceným proměnným parametrům, zejména při implementaci systému hospodaření s vozovkou. Klasifikace má správce pozemní komunikace upozornit na aktuální akustický stav a jeho změnu v čase.

Literatura:

- [1] ISO 11819-2 Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method. Geneva: International Organization for Standardization, 2017. (ČSN EN ISO 11819-2 Akustika – Měření vlivu povrchů vozovek na dopravní hluk – Část 2: Metoda malé vzdálenosti. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.).
- [2] Valentin, J., Technické kvalitativní podmínky staveb a pozemních komunikací, Kapitola 7 Hutněné asfaltové vrstvy, schváleno Ministerstvem dopravy č. j. MD-10079/2023-930/2 ze dne 29. 3. 2023 s účinností od 1. 4. 2023, 44 s.
- [3] Kudrna, J. a kol. Technické podmínky 87 Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek, schváleno Ministerstvem dopravy č. j. 165/10-910-IPK/1 ze dne 25. února 2010 s účinností od 1. března 2010, 103 s.
- [4] Kephelopoulos, S., M. Paviotti a F. Anfosso-Lédée. *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012. ISBN 978-92-79-25281-5.
- [5] Sandberg, U. Improving the ISO 11819 standards for better characterization of noise reduction of porous pavements. In: *Proceedings of the 52nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise 2023)*. 2023, 1–12.
- [6] ISO/TS 11819-3, Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 3: Reference Tyres. (2021-01).
- [7] ISO/TS 13471-1 Acoustics – Temperature influence on tyre/road noise measurement – Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method. (2017-03).
- [8] Anfosso-Lédée, F., V. Krivanek, a J. Stryk, The measurement of tire-road noise: how does standardization contribute to the development of low noise pavements in Europe. In: *Inter-Noise 2024, 25. – 29. August, Nantes, France, 2024*, pp. 1-9.
- [9] Křivánek, V., a kol. Mapa hlučnosti povrchů vozovky D1 před a po modernizaci, Specializovaná mapa s odborným obsahem. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2024, 24 s. ISBN 978-80-88655-13-8.
- [10] Křivánek, V., a kol. *Mapa hlučnosti povrchů vozovky D1 v rámci modernizace*, Specializovaná mapa s odborným obsahem. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2023, 17 s.

- [11] Křivánek, V., a kol. Mapa hlučnosti modernizovaných povrchů vozovky D1 mezi lety 2015–2023, Specializovaná mapa s odborným obsahem. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2024, 27 s. ISBN 978-80-88655-12-1.

Poděkování

Tento příspěvek čerpá z dat měření, hodnocení i analýz, která byla získána zejména na základě řešení projektu Technologické agentury ČR č. CK02000121. Využita jsou i výzkumná data z Technologické agentury ČR č. TA01030459, TA04021486, TE01020168, TL02000258, CK02000121 a projektu „Analýza a monitoring změn hlučnosti povrchů pozemních komunikací“ financovaného Ministerstvem dopravy.

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

Proposed method of evaluating the noise of road surfaces

Vítězslav Krivánek, Jan Machanec, Blanka Hablovičová, Petra Marková, Josef Stryk

Transport Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00 Brno, Czech Republic

E-mail: vitezslav.krivanek@cdv.cz

Abstract

The paper presents a possible way of evaluating the noise of road surfaces. The assessment is carried out using five classification levels, as in the case of other variable parameters monitored at the network level (unevenness, skid resistance, macrotexture or occurrence of defects). The proposal is based on the results of continuous noise measurement of road surfaces using the CPX method, which does not depend on the intensity of traffic flow. For low-noise abrasive layers/low-noise road surface treatments, the scale should describe the condition in terms of meeting the "low-noise" condition. For common wear layers/road surface modifications, the scale should describe the difference from the reference surface, or changes during its aging.

UAM – městská vzdušná mobilita

Tomáš Hellmuth, Dana Potužníková, David Kresl
Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě
Partyzánské nám.2633/7, Moravská Ostrava, 702 00 Ostrava
e-mail: tomas.hellmuth@zuova.cz

Abstrakt

UAM-Urban Air Mobility je rychle se rozvíjející nový obor dopravy zboží, osob a poskytování služeb. Jde jak o tzv. „drony“ neboli UAV (Unmanned Air Vehicle) sloužící především k dopravě zboží, léků a zajišťování dozorových služeb, tak o Airtaxi zajišťující dopravu osob, a to pilotovaně i autonomně. S tím souvisí i rozvoj příslušné infrastruktury – budování vertiportů a jejich napojení na elektrickou síť, vytyčení přeletových tras, míst pro předávání zásilek apod. I když jde o vzdušné systémy poháněné elektromotory, jejich hlučnost není zanedbatelná, a to i s ohledem na četnost vzletů, přistání i přeletů. Údajů o reálné hlučnosti dronů a zejména Airtaxi je však velmi málo. V současné době je tedy velmi obtížné předpovídat očekávanou expozici hlukem z provozu UAV a Airtaxi v obytném prostředí.

Reálná premiéra Airtaxi se očekává již na olympijských hrách v Paříži v tomto roce. Evropská Unie předpokládá, že v roce 2030 již bude UAV a UAM plně integrována do dopravních systémů ve městech a jejich okolí.

1. Dělení a terminologie

VTOL –Vertical take-off and landing)
(Svislý vzlet a přistání)
eVTOL – VTOL s elektrickým pohonem

2. Oblast použití

2.1 Přeprava osob (AIRTAXI)

- Kyvadlová doprava na letiště (vertiporty)
- Pevná síť letových koridorů (městských i mimoměstských)
- Vyhlídkové lety

2.2 Emergency (nouzové situace)

- 1. pomoc
- Transport pacientů do nemocnic
- Průzkum a přehled při katastrofách a požárech
- Dodávky do zasažených oblastí
- Evakuace osob
- Hašení
- Dodávka léků
- Dozor a kontrola (energetické sítě, policie)

2.3 Cargo (Doprava zboží, potravin, jídel)

- Doprava na pozemek (RD), střechu (BD)
- Doprava na přijímací místo podél pevné trasy
- Těžké náklady v místě bez nebo s min. infrastrukturou
- Průmyslové aplikace – součástky a materiál
- Doprava potravin na venkově mimo obchodní síť
- Doprava jídla ve městě

3. Rizika a obavy

- Bezpečnost provozu (nehody)
- Hluk
- Narušení soukromí
- Vizuelní „znečištění“
- Ztráta pracovních míst
- Vliv na ŽP
- Cenová dostupnost
- Kriminalita (zneužití)

4. Vliv na osoby

- Studie do 2023 pouze pro krátkodobé, jednotlivé události.
- **Žádné studie dlouhodobého efektu a více událostí**
- Rozdíl mezi vnímáním hluku UAV a známých zdrojů (při stejné hladině):
- Všeobecně rušivější při téže hladině ($L_{Aeq} = 80$ dB) než známé zvuky (známé zdroje).
 - Vysoké zastoupení vysokých frekvencí.
 - Tonální složka pro většinu dronů/airtaxi = 3 kHz, výraznější je u airtaxi = více obtěžující.
 - neznámý zvuk,
 - specifický charakter zvuku UAV.

5. Regulace stávající

EU (2019)

(Drony do 25 kg)

- Kategorizace – třídy C1 – C6 (ISO 21895:2000)
- Emise
- Limity emisí (podle MTOM)
- Metody měření emisí (EASA, ISO/Dis 5305)

6. Regulace chystaná

- EU – hluk UAV bude zahrnut do definice transportu (letecký hluk) a začleněn do metodiky CNOSSOS a směrnice END příloha II.
- EASA chystá pro limity UAV zavedení veličiny EPNL (EPNdB) používající jednotku PNdB stejnou jako používají hlukové standardy ICAO (snad jen pro certifikaci a kategorizaci).
- EASA připravuje maximální hladiny (limity) pro vzlet, přelet a procedury přiblížování jako funkci MTOM.

7. Závěr

- Dosud nejsou žádné návrhy hygienických limitů hluku pro UAV.
- Z dotazníkových šetření a psychoakustických testů vyplývá, že hluk UAV na úrovni osobního auta v městském provozu (cca 65 dB) by mohl být bezproblémový.
- Ukazuje se, že hluk UAV je vnímán o cca 5 dB více než hluk ostatních druhů dopravy, včetně letecké, při stejné hladině akustického tlaku. Tato skutečnost by mohla být zohledněna adekvátní korekcí k hygienickému limitu hluku z letecké dopravy.
- Zároveň vzniká otázka volby vhodné veličiny pro hodnocení vlivu hluku UAV na exponované osoby (L_{Aeq} , L_{Ceq} , L_{Amax} , L_{tmax} , EPNL, psychoakustické veličiny atd.).
- Primárně se bude potřeba zaměřit na celý cyklus leteckého provozu UAV (od příletu do odletu). Na základě zkušeností bude nutné posoudit, zda bude potřeba nějakým způsobem regulovat i jednotlivé fáze tohoto provozu, nebo jen některé (vzlet, přistání, visení, otáčení ve visu, manévry ve visu).

Literatura

- [1] EASA – European Union Air Safety Agency (2021), Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe
- [2] EPA Network Interest Group on Noise Abatement (IGNA), Noise from Drones (draft 2023)

UAM – Urban Air Mobility

Tomáš Hellmuth, Dana Potužníková, David Kresl

Public Health Institute Ostrava,

Partyzánské nám.2633/7, Moravská Ostrava,702 00 Ostrava, Czech Republic

e-mail:tomas.hellmuth@zuova.cz

Abstract

UAM-Urban Air Mobility is a rapidly developing new field of transport of goods, people and provision of services. These are both so-called "drones" or UAVs (Unmanned Air Vehicles) primarily used for the transport of goods, medicines and providing surveillance services, as well as Airtaxi providing the transport of people, both piloted and autonomous. This is also related to the development of the relevant infrastructure – building vertiports and their connection to the electrical network, setting out overflight routes, places for handing over parcels, etc. Even though they are aerial systems powered by electric motors, their noise level is not negligible, even taking into account the frequency of take-offs and landings and overflights. However, there is very little data on the real noise level of drones and especially Airtaxi. It is therefore currently very difficult to predict the expected noise exposure from UAV and Airtaxi operations in a residential environment. The real premiere of Airtaxi is expected already at the Olympic Games in Paris this year. The European Union assumes that in 2030 UAVs and UAMs will be fully integrated into transport systems in and around cities.

Útlum hluku z dopravy vegetací – projekt ACUVEG

Blanka Hablovičová

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: blanka.hablovicova@cdv.cz

Abstrakt

V příspěvku je představen letos započatý projekt ACUVEG. Hlavní myšlenkou projektu je nalezení vhodných prostorových a druhových skladeb vegetačních pásů dřevin, které budou zakládány cíleně k dotlumení hluku z dopravy. Měření jsou zaměřena na různou dřevinnou skladbu, prostorovou strukturu a hustotu, fenofázi, šířku a výšku pásů vegetace apod. S ohledem na klimatickou změnu jsou zkoumány i porosty, u kterých je předpoklad použitelnosti za minimálně 20–30 let. Kromě protihlukové funkce dřevin lze předpokládat také jejich další nezanedbatelnou ekologickou a (bio)klimatologickou funkci.

Cílem projektu je vypracovat veřejnou metodiku pro použití vegetačních pásů přirozené dřevinné skladby pro útlum hluku z dopravy a k ní doprovodnou názornou databázi, navíc budou získané informace použity pro úpravu technických předpisů Ředitelství silnic a dálnic.

1. Úvod

1.1. Snižování hluku z dopravy

V oblasti snižování hlukové zátěže způsobené silniční nebo železniční dopravou existuje množství přístupů, které hlučnost redukuje buď přímo u zdroje jeho vzniku nebo na dráze šíření. Mezi opatření redukující hluk u zdroje se řadí např. změna (snížení) rychlosti silničních nebo drážních vozidel, změna složení dopravního proudu (méně nákladních vozidel), změna intenzity dopravy (odklon dopravy), změna povrchu vozovky (obrusné vrstvy se sníženou hlučností) nebo obložení kolejnic (bokovnice). Protihlukové clony (protihlukové stěny (PHS), zemní valy, vegetace apod.) stojí v cestě šíření zvukové vlny, protihluková okna brání pronikání hluku do obytných prostor. Jako prostředek ke snížení hluku se začíná používat také vegetace, a to v různých formách od zelených fasád [1], přes kombinace s dalšími clonami [2] až po vegetační pásy složené ze stromů. Neoddělitelnými funkcemi vegetace jsou funkce sociální, psychologická a v neposlední řadě také hygienická, kam je zahrnuta i redukce hluku. Navíc reguluje mikroklima, např. snižuje teplotu, zvyšuje vlhkost ovzduší, produkuje kyslík, pomáhá zlepšovat hydrologické poměry ve svém okolí, chrání půdu proti erozi, může sloužit jako větrolam či odstraňuje polutanty z ovzduší [3–5].

1.2. Současný stav poznání

Studiem útlumu hluku vegetací se vědci zabývají již od první poloviny minulého století (počátkem je patrně [6]). Prvním významnějším zaznamenaným počinem v měření útlumu stromovou vegetací byla měření provedená na konci sedmdesátých a začátku osmdesátých let v USA [7,8].

Akustický útlum vegetací se stanovuje modelováním, laboratorně nebo měřením v terénu. Modelování je prováděno výpočty, kdy se používá např. metoda FDTD [9]. Laboratorně to bývají experimenty v dozvukové nebo zvukotěsné komoře, kde se přesně nadefinují parametry pokusu [10]. Měření v terénu se provádí na konkrétním

místě v konkrétní dobu za právě panujících podmínek a většinou se neopakuje. Nejčastěji se jedná o případové studie, kdy je zjišťován akustický útlum vegetace, která se na dané lokalitě nalézá. Studie jsou např. ze zemí jako je Tchaj-Wan [11], Řecko [12], Indie [13], Bangladéš [14], Írán [15] nebo Čína [16]. Reálná měření jsou v nejčastěji prováděna v mimoevropských zemích, především pak v asijských, kde se nalézá rozdílná dřevinná skladba od ČR. V Evropě bývá útlum hluku vegetačními pásy zjišťován modelováním. Např. v případě používání klasického modelačního softwaru SoundPLAN lze do modelování hlukové situace území vložit stromy. Zde se ovšem jedná jen o možnost volby zvolit listnatý nebo jehličnatý strom s předem zadanými redukčními vlastnostmi.

Problematika má značně složitou povahu, což dokazují některé protichůdné výsledky studií.

2. Záměr

2.1. Proč se tématem zabývat?

Protihlukovými clonami (PHC) podél silnic se v České republice zabývají technické podmínky (TP) 104 [17] a technické kvalitativní podmínky (TKP) 25 [18]. V obou jsou zmíněny také PHC kombinované se zelení a polovegetační stěny. Jsou zde popisovány např. způsoby jejich konstrukcí a technologických postupů, vlastností, zkoušky apod. Vegetací v okolí pozemních komunikací se pak zabývají TP 99 [19], které definují druhy vhodné pro výsadbu a jejich vlastnosti, a pak také TKP 13 [20], které obsahují různé požadavky na vegetační úpravy na stavbách pozemních komunikací. Protihlukovými opatřeními na železnici se zabývají TKP 16 [21] a vegetací pak TKP 15 [22]. TKP 15 nezmiňují vegetaci určenou k dotlumení hluku a TKP 16 zmiňují jen asi 6 vět o vegetačních úpravách, kdy je zde pouze zmíněno, že val nebo PHS lze zkombinovat s vegetací. pouze zmíněno, že val nebo PHS lze zkombinovat s vegetací. Dřevinami v okolí silnic a železnic se zabývá standard SPPK A02 010 [23], který definuje rozsah a techniku zásahů do dřevin, realizovaných pro zajišťování bezpečného provozu na komunikacích všech tříd a na železničních dráhách. Popisuje zásady týkající se výsadeb a rozsah možných zásahů. Standard je určen k aplikaci na dřeviny rostoucí jako vegetační doprovod veřejné dopravní infrastruktury.

O pásech dřevinné vegetace sloužících k přímé redukci či dotlumení hluku se však nezmiňují ani jedny předpisy.

2.2. Co vlastně chceme dělat?

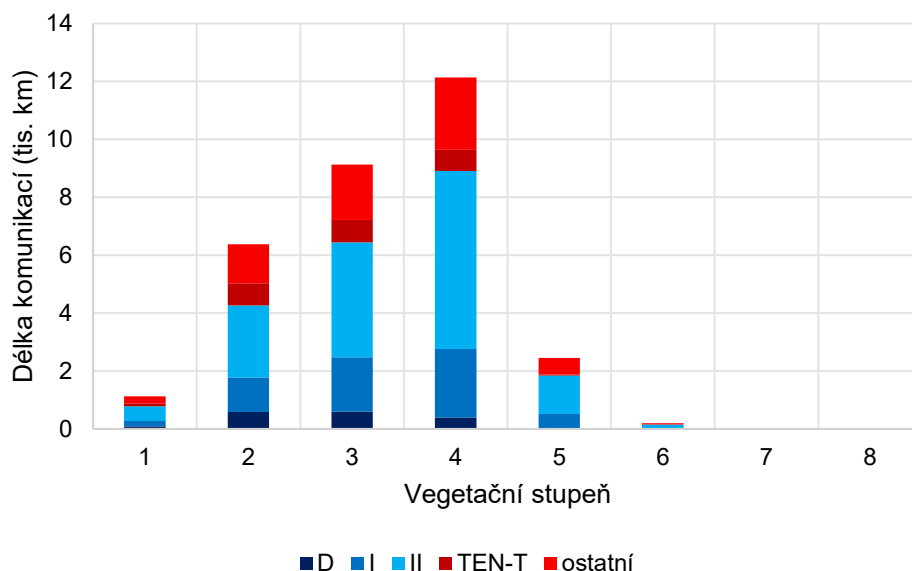
Hlavní myšlenkou projektu ACUVEG je nalezení vhodných prostorových a druhových skladeb vegetačních pásů dřevin, které budou zakládány cíleně k dotlumení hluku z dopravy. Smyslem výběru je především to, aby byly vybrány takové typy dřevin, které dávají předpoklad dlouhodobé udržitelnosti v krajině zasažené dopady klimatické změny (přírozená dřevinná skladba a prostorová výstavba) a kde přírozené přírodní procesy mohou do jisté míry nahradit zásahy lesního hospodáře (údržby porostů). Záměrem projektu je provést opakovaná měření na stejných místech za různých podmínek. Veškerý výzkum bude prováděn s ohledem na budoucí bezpečnost provozu na silnici a železnici, kdy nesmí dojít k pádu porostu, který by ohrozil životy či majetek.

Česká republika se nalézá v mírném klimatickém pásu. Zjištěné výsledky by mohly být využity v dalších zemích mírného pásma pro stejnou skladbu vegetace. S ohledem na výsledky ale může dojít také k přínosu nových poznatků v oboru, např. nalezení koeficientů útlumu hluku vegetačními protihlukovými pásy do akustických modelů.

3. Postup

Vegetace mírného klimatického pásu je však značně obsáhlá. Proto bylo přistoupeno ke zhodnocení vegetace podle vegetačních (lesních) stupňů, které vyjadřují vztah mezi vegetačními společenstvy a klimatem. Na území ČR se nachází 8 vegetačních stupňů z celkových 11 nalézajících se v Evropě [24], největší zastoupení mají stupně 2–5. Následně bylo pomocí geografického informačního systému zjištěno, v jakém vegetačním stupni se nacházejí které pozemní komunikace. Z obrázku 1 je zřejmé, že nejvíce silnic a železnic se nachází ve 2. až 4. vegetačním stupni.

Obr. 1. Výskyt silnic (modře – dálnic, silnic I. a II. tříd) a železnic (červeně) ČR v územích jednotlivých vegetačních stupňů



Základem k dosažení výzkumných poznatků jsou akustická měření a laserová skenování.

3.1. Kde budeme měřit?

Nejprve bude probíhat měření na Školním lesním podniku Masarykův les Křtiny (ŠLP) patřícího Mendelově univerzitě v Brně. Základní měření proběhne na osmi lokalitách a na základě výsledků pak budou určeny lokality k rozšířenému měření.

Lokality byly formulovány jako párové, to znamená, že existují vždy dvě, které jsou ekvivalentní vývojovou (růstovou) fází reprezentující způsob hospodaření, ve kterém jsou pěstovány. Konkrétně se jedná o podrostní hospodaření v buku a les trvale tvořivý, tzv. Dauerwald, resp. převody na tento způsob hospodaření. Konkrétně je s jistou schematičností (u lesa trvale tvořivého je v jeho plné podobě obtížné definovat jednotlivé vývojové, či růstové fáze) možné párový experiment popsat následovně:

Tab. 1. Lokality základního měření v ŠLP

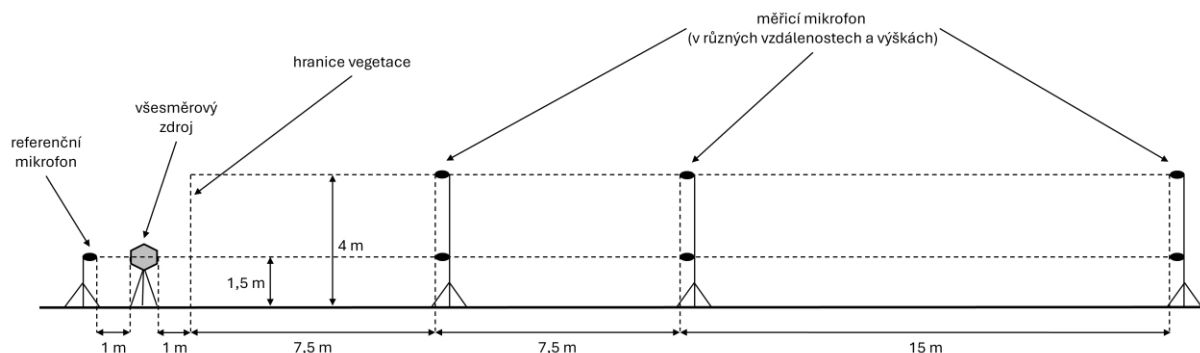
Hospodaření v buku		Les trvale tvořivý	
Mladé vývojové / růstové fáze			
• buková mlazina • věk cca 10 let		• široké rozpětí dřevin s převahou listnatých druhů, smrk • věk cca 3–10 let	
			
Odrostlé vývojové / růstové fáze			
• buková mlazina až tyčkovina • věk cca 20 let		• široké rozpětí dřevin s převahou listnatých druhů, smrk • věk cca 5–15 let	
			
Středněvěké vývojové / růstové fáze			
• odrostlý bukový porost • cca 60–80 let • výplň bukovým náletem		• široké rozpětí dřevin s převahou listnatých druhů, smrk • významná věková i výšková diferenciacie, jednotlivé zralé stromy • nižší etáže s výškou 2–5 m	
			
Zralé vývojové / růstové fáze			
• různověká buková kmenovina s bukovým zmlazením do úrovně nárostů		• plně vyvinutý les bohatých struktur s převahou listnatých druhů, smrk • významná věková i výšková diferenciacie, jednotlivé zralé stromy • nižší etáže s výškou 2–15 m	
			

Pro porovnání bude další částí projektu měření stávající vegetace podél pozemních komunikací. V tomto případě se bude jednat o náletové dřeviny, které nebyli cíleně vysazeny k akustickému dotlumování.

3.2. Jak budeme měřit?

Synchronní akustická měření včetně ověřování stability zvuku budou probíhat pomocí měřicí techniky Brüel & Kjær ve třídě přesnosti 1 na jaře, v létě a v zimě (fenofáze vegetace). Schéma základního akustického měření je zobrazeno na obrázku 2. Měření budou probíhat ve třech vzdálenostech od hranice vegetace (7,5 m, 15 m, a 30 m; simulace šířky/hloubky pásu) a ve dvou výškách (1,5 m a 4 m, symbolizují výšku lidského ucha a výšku při provádění strategického hlukového mapování (střed okna prvního nadzemního patra)).

Obr. 2. Schéma základního akustického měření



Samotná vzdálenost hraje pro útlum hluku také svou roli, protože i bez překážky pro zvukovou vlnu dochází zvyšováním vzdálenosti od zdroje hluku ke snižování hlučnosti. Pro vyloučení tohoto vlivu je za stejných podmínek měřeno akustické chování ve volném poli (bez vegetace), viz obrázek 3. Výsledkem pak bude rozdíl mezi hodnotami naměřenými bez vegetace a s vegetací.

Obr. 3. Měření provedené ve volném poli (bez vegetace)



Princip rozšířeného měření zůstane stejný, jen bude na jedné vzdálenosti použito více mikrofónů – vícekanálový analyzátor, synchronní měření šesti mikrofónů. Měření stávající vegetace podél komunikací bude probíhat v souladu s normami a Metodickým návodem [25]. Akustická měření bude provádět Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

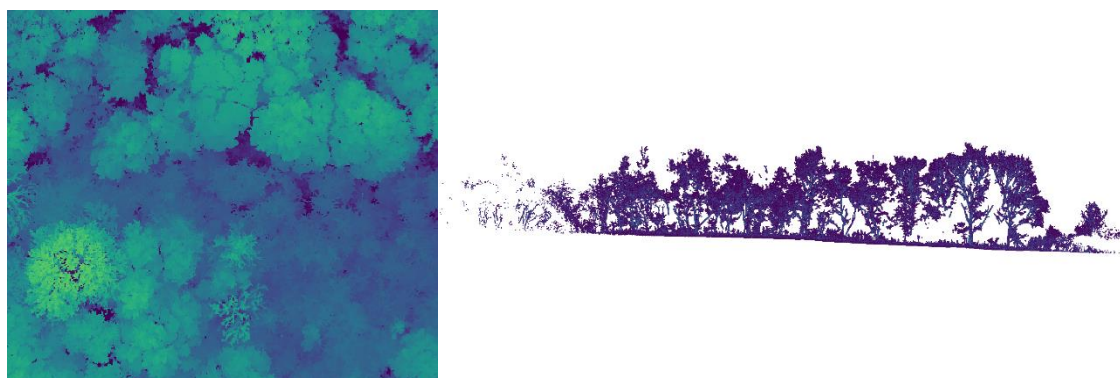
Pro analýzu hustoty a prostorového uspořádání dřevinné vegetace bude použito laserové skenování, které bude provedeno pozemním laserovým skenerem Leica RTC360 s dosahem 120 m (obrázek 4). Základní setup bude vycházet z víceméně pravidelné sítě skenovacích stanovišť s rozestupy cca 10 m a modifikován podle potřeby.

Obr. 4. Pozemní laserový skener Leica RTC360



Výstupem skenování budou mračna bodů ve standardním formátu LAS pro lidarová data a jejich následné zpracování bude založeno na vyhodnocování voxelové struktury. Pro každý voxel (krychli) této sítě se bude vlastními algoritmy hodnotit charakter a hustota vegetace, která se v ní nachází. Stejným způsobem lze hodnotit množství a prostorové uspořádání prázdných voxelů (krychlí bez vegetace), tj. jakousi „děravost“ vegetačních pásů v celém jejich rozsahu (hloubce a výšce vegetačního pásu), a též prostorovou strukturu této děravosti (velikost a konektivitu děr apod.). Laserové skenování bude provádět Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i.

Obr. 5. Ukázka výstupů z laserového skenování



4. Výstupy

Na takto získaných datech budou nadefinovány optimální struktury (dřevinná skladba, prostorová výstavba a šířka) tlumících pásů dřevin přirozené dřevinné skladby a definována jejich funkčnost na tlumení hluku jednak v sezónním běhu (rok) a jednak v jejich vývojovém cyklu (doba života, doba obmýtl, doba rotace). Tyto struktury budou dále vztaženy ke stanovištním podmínkám jejich optimální instalace podél pozemních komunikací v krajině.

- Záměrem projektu je sestavit *metodiku*, která nadefinuje optimální struktury pásů dřevin přirozené dřevinné skladby a jejich funkčnost na redukci hluku s ohledem na další parametry.
- Bude zhotovena *databáze* protihlukových vegetačních pásů, která bude názornou pomůckou při navrhování efektivních protihlukových opatření. Databáze bude mít uživatelskou formu veřejně přístupného on-line katalogu.
- Výsledky projektu budou dále uplatněny při *aktualizaci* některého technického předpisu ŘSD.

Literatura

- [1] THOMAZELLI, R., et al. Acoustic properties of green walls: Absorption and insulation. *Proceedings of Meetings on Acoustics*. 2016, 28(1), 015017.
- [2] LACASTA, A. M., et al. Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2016, 20, 172–179.
- [3] YANG, Y., et al. The “plant evaluation model” for the assessment of the impact of vegetation on outdoor microclimate in the urban environment. *Building and Environment*. 2019, 159, 106151.
- [4] LIU, Y. Y., et al. Temperature-decreasing and Humidity-increasing Effects of Typical Landscape Plants in Suzhou City. In *Proceedings of the 2015 International Forum on Energy, Environment Science and Materials. Advances in Engineering Research*. 2015, 1110–1115.
- [5] WANG, C., et al. Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment. *Journal of Arid Land*. 2013, 5, 207–219.
- [6] EYRING, C. F. Jungle Acoustics. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1946, 18(2), 257–270.
- [7] KRAGH, J. Pilot study on railway noise attenuation by belts of trees. *Journal of Sound and Vibration*. 1979, 66(3), 407–415.
- [8] KRAGH, J. Road traffic noise attenuation by belts of trees. *Journal of sound and Vibration*. 1981, 74(2), 235–241.
- [9] VAN RENTERGHEM, T. Guidelines for optimizing road traffic noise shielding by non-deep tree belts. *Ecological Engineering*. 2014, 69, 276–286.
- [10] WATANABE, T. a S. YAMADA. Sound attenuation through absorption by vegetation. *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*. 1996, 17(4), 175–182.
- [11] FANG, C.F. a D.L. LING. Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*. 2003, 63(4), 187–195.
- [12] SAMARA, T. a T. TSITSONI. The effects of vegetation on reducing traffic noise from a city ring road. *Noise Control Engineering Journal*. 2011, 59(1), 68–74.
- [13] TYAGI, V., et al. A study of the spectral characteristics of traffic noise attenuation by vegetation belts in Delhi. *Applied Acoustics*. 2006, 67(9), 926–935.
- [14] ISLAM, M. N., et al. Pollution attenuation by roadside greenbelt in and around urban areas. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2012, 11, 460–464.

- [15] KARBALAEI, S. S., et al. Investigation of the traffic noise attenuation provided by roadside green belts. *Fluctuation and Noise Letters*. 2015, 14(4), 1550036.
- [16] ZHANG, Q., et al. Investigation of the noise reduction provided by vegetation belt in different design styles. In *Proceedings of the 22nd International Congress on Acoustics*, 2016.
- [17] BŘEZINA, J. a R. WILKONSKÝ. *Technické podmínky 104 – Zařízení pro snižování hluku pozemních komunikací*. 2024. 144 s.
- [18] BŘEZINA, J. a R. WILKONSKÝ. *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 25 – Protihlukové clony a další opatření*. 2024. 19 s.
- [19] Silniční vývoj, spol. s.r.o. Brno. *Technické podmínky 99 – Vysazování a ošetřování silniční vegetace*. 1997. 146 s. + ASPK, s.r.o. *TP 99 dodatek 1*. 2004. 27 s.
- [20] PRAGOPROJEKT, a.s. a D. ŠVÉDOVÁ. *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 13 – Vegetační úpravy*. 2006. 18 s.
- [21] *Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, kapitola 16 – Protihluková opatření*. Správa železnic, 2022. 20 s.
- [22] *Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, kapitola 15 – Vegetační úpravy*. Správa železnic, 2021. 21 s.
- [23] KOLAŘÍK, J., et al. *Arboristický standard SPPK A02 010 – Péče o dřeviny kolem veřejné dopravní infrastruktury*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 2020. 34 s.
- [24] DUJKA, P. a A. KUSBACH. Klasifikace vegetační stupňovitosti v České republice: Review. *Zprávy lesnického výzkumu*. 2023, 68(1), 1–14.
- [25] Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí. *Věstník Ministerstva zdravotnictví ČR*. 2023, částka 14, 40–89.

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen se státní podporou Technologické agentury České republiky v rámci programu DOPRAVA2030, projekt CL01000058 Stanovení a optimalizace vegetačních pásů přirozené dřevinné skladby sloužících k útlumu hluku z dopravy.

Traffic noise attenuation by vegetation – ACUVEG project

Blanka Hablovičová

Transport Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00 Brno, Czech Republic

e-mail: blanka.hablovicova@cdv.cz

Abstract

The paper introduces the ACUVEG project started this year. The main idea of the project is to find suitable spatial and species composition of woody plants which will be established specifically to attenuate traffic noise. Measurements are focused on different woody species composition, spatial structure and density, phenological phase, width and height of belts, etc. Vegetation stands that are expected to be usable in at least 20–30 years are examined with respect to climate change. Vegetation can also be assumed to have another significant ecological and (bio)climatological function.

The aim of the project is to develop a public methodology on the use of vegetation belts for traffic noise attenuation and an accompanying illustrative database. Further partial research information obtained will be used for the modifications of the technical regulations of the Road and Motorway Directorate of the Czech Republic.

Čistota vodíku – důležitý parametr v dopravě

Karel Borovec a kolektiv

VŠB – TU Ostrava, CEET, Výzkumné energetické centrum

17. listopadu 2172/15, 70800, Ostrav-Poruba

e-mail: karel.borovec@vsb.cz

Abstrakt

S výrobou vodíku úzce souvisí jeho kvalitativní požadavky, což má přímý vliv na účinnost palivových článků a jeho další využití při výrobě energie. VEC vyvinula a akreditovala metodiku pro kontinuální stanovení čistoty H_2 , včetně jeho vzorkování z vysokých tlaků. Článek představuje principy kontinuální analýzy a techniky odběru vzorků z vysokých tlaků.

Hydrogen purity – an important parameter in transportation

Karel Borovec and collective

VSB – TU Ostrava, CEET, Energy Research Centre

17. listopadu 2172/15, 70800, Ostrav-Poruba, Czech Republic

e-mail: karel.borovec@vsb.cz

Abstract

Environmental The production of hydrogen is closely related to its quality requirements, which has a direct impact on the efficiency of fuel cells and its further use in energy production. VEC developed and accredited the methodology for continuous determination of H₂ purity, including its sampling from high pressures. The paper presents the principles of continuous analysis and the sampling technique from high pressures.

Strategie pro dekarbonizaci dopravy v Česku

Mgr. Jan Mertl

Ministerstvo životního prostředí

Vršovická 1442/65 70, 100 10 Praha 10

e-mail: jan.mertl@mzp.cz

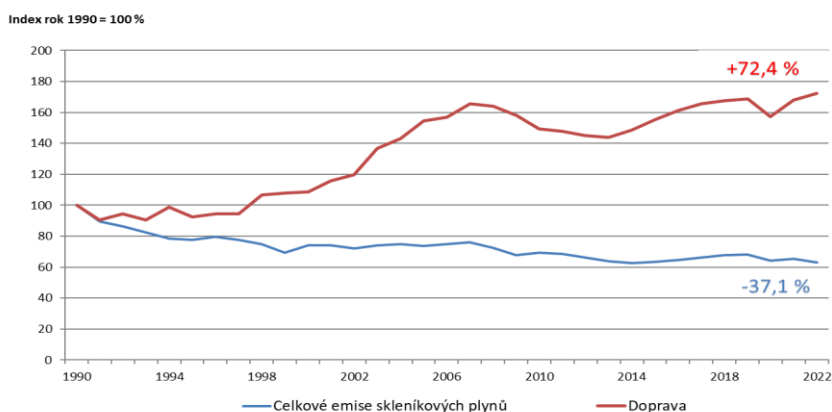
Abstrakt

Doprava je v Česku energeticky náročným sektorem se zatím nedostatečnou úrovní dekarbonizace. Růst spotřeby energie fosilního původu v dopravě a emisí skleníkových plynů nepříznivě ovlivňuje plnění klimaticko-energetických cílů, vyplývajících z legislativy EU a mezinárodních závazků k mitigaci změny klimatu na globální úrovni. Snižování emisní náročnosti dopravy má zajistit implementace národních strategií v oblasti energetiky a klimatu. Jedná se o Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu, Politiku ochrany klimatu v ČR a Národní akční plán čisté mobility. Strategie navrhuje opatření k transformaci systému dopravy směřující k posílení energeticky a emisně méně náročných druhů dopravy na úkor individuální automobilové dopravy a nákladní silniční dopravy. Dále je cílem strategií růst využití nízkoemisních a bezemisních technologií ve vozovém parku.

1. Aktuální situace

Celkové emise skleníkových plynů v Česku poklesly v období 1990–2022¹ o 37,1 %, emise z dopravy však za stejné období stouply o 72,4 % (Graf 1), od roku 2000 o 58,4 %. Nepříznivý vývoj emisí z dopravy je spojen s růstem přepravních výkonů osobní i nákladní dopravy a s tím spojeným růstem spotřeby energie v dopravě, která je z převážné části fosilního původu. Podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie v dopravě byl dle posledních dat jen cca 7 % a výrazněji v posledních letech nestoupá.

Graf 1. Vývoj celkových agregovaných emisí skleníkových plynů v Česku a emisí z dopravy [index: 1990 = 100 %], 1990–2022



Zdroj: ČHMÚ [2]

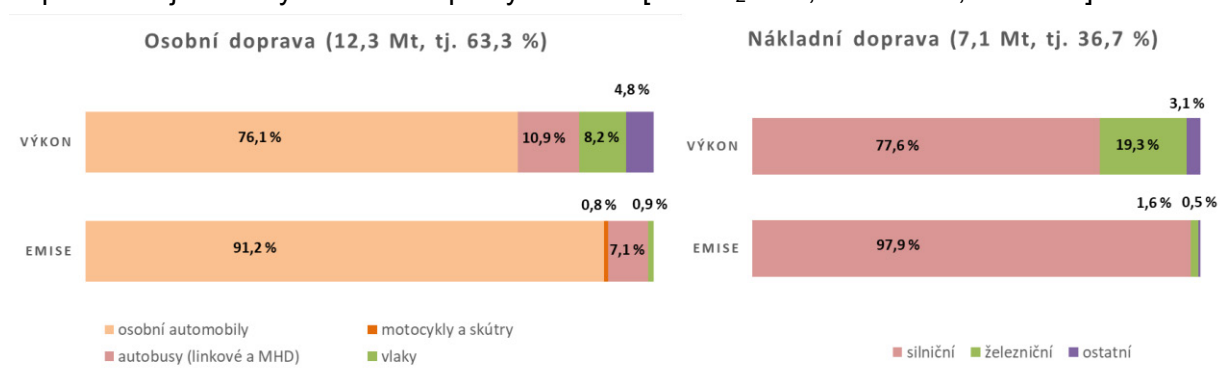
Z dopravy v Česku aktuálně pochází cca 16 % emisí skleníkových plynů, což je třetí nejvyšší podíl emisí po veřejné energetice a výrobě tepla a zpracovatelském průmyslu. Vysoká emisní náročnost dopravy v Česku je způsobena strukturou

¹ Inventura 2022, submit 2024 v2, viz [2]

přepravních výkonů osobní a nákladní dopravy, kde nejvyšší podíly zaujímají energeticky nejnáročnější druhy dopravy, jako jsou individuální automobilová a nákladní silniční doprava. Dalším důvodem je vysoký průměrný věk vozového parku se zatím malým zastoupením nízkoemisních a bezemisních pohonů.

Osobní doprava v roce 2022 produkovala zhruba dvě třetiny (63,3 %) celkových emisí skleníkových plynů z dopravy (Graf 2). Jednoznačně emisně nejnáročnějším druhem osobní dopravy jsou osobní automobily s podílem 91,2 % na celkových emisích z osobní dopravy, který je zřetelně vyšší, než je podíl individuální automobilové dopravy na přepravním výkonu osobní dopravy. Podíl veřejné dopravy na emisích z osobní dopravy je tak necelých 10 %, v případě železniční dopravy pouze 1 %. Uvedená kalkulace nezahrnuje mezinárodní leteckou dopravu, která je v emisních inventurách vykazována zvlášť (za celou EU27).

Graf 2. Struktura emisí skleníkových plynů a přepravního výkonu v osobní a nákladní dopravě dle jednotlivých druhů dopravy v Česku [Mt CO₂ ekv., mld. oskm, mld. tkm] 2022



Zdroj: ČHMÚ [2]

V nákladní dopravě téměř veškeré emise skleníkových plynů pocházejí z nákladní silniční dopravy, jejíž podíl na celkových emisích z nákladní dopravy (97,8 %) je vyšší než podíl na přepravním výkonu nákladní dopravy. Na železniční nákladní dopravu (motorovou trakci) připadá pouze 1,6 % emisí z nákladní dopravy při více než desetinásobném podílu železnice na přepravním výkonu.

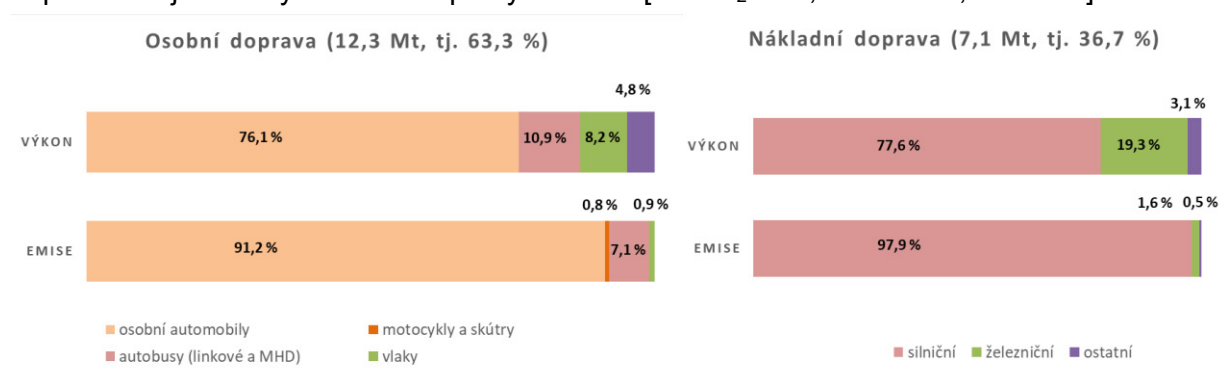
Průměrný věk vozového parku silničních vozidel v Česku koncem roku 2023 činil 19,2 roku, v případě osobních automobilů 16,2 roku. Z celkově 6,5 mil. registrovaných osobních automobilů bylo 4,1 mil. vozidel (63,7 %) starších než 10 let. Ve struktuře vozového parku osobních automobilů dle pohonů zaujímal benzinový pohon 57,5 %, naftový 39,7 %, a elektrický pouze 0,4 %.

Bateriových elektrických vozidel (BEV) všech kategorií bylo koncem roku 2023 celkově zaregistrováno 33 401, roční počet registrací BEV meziročně stoupl o 60,3 % na 10,9 tis. vozidel v roce 2023. Zhruba dvě třetiny z registrovaných BEV (22 029 vozidel) zaujímaly osobní automobily (vozidla kategorie M1). Tempo rozvoje čisté mobility dle vývoje registrací bezemisních a nízkoemisních vozidel je v Česku v evropském srovnání výrazně podprůměrné. Česko mělo v roce 2023 třetí nejnižší podíl registrací nových bateriových elektrických osobních automobilů (3,0 %) ze všech zemí EU27 po Slovensku a Chorvatsku.

přepravních výkonů osobní a nákladní dopravy, kde nejvyšší podíly zaujímají energeticky nejnáročnější druhy dopravy, jako jsou individuální automobilová a nákladní silniční doprava. Dalším důvodem je vysoký průměrný věk vozového parku se zatím malým zastoupením nízkoemisních a bezemisních pohonů.

Osobní doprava v roce 2022 produkovala zhruba dvě třetiny (63,3 %) celkových emisí skleníkových plynů z dopravy (Graf 2). Jednoznačně emisně nejnáročnějším druhem osobní dopravy jsou osobní automobily s podílem 91,2 % na celkových emisích z osobní dopravy, který je zřetelně vyšší, než je podíl individuální automobilové dopravy na přepravním výkonu osobní dopravy. Podíl veřejné dopravy na emisích z osobní dopravy je tak necelých 10 %, v případě železniční dopravy pouze 1 %. Uvedená kalkulace nezahrnuje mezinárodní leteckou dopravu, která je v emisních inventurách vykazována zvlášť (za celou EU27).

Graf 2. Struktura emisí skleníkových plynů a přepravního výkonu v osobní a nákladní dopravě dle jednotlivých druhů dopravy v Česku [Mt CO₂ ekv., mld. oskm, mld. tkm] 2022



Zdroj: ČHMÚ [2]

V nákladní dopravě téměř veškeré emise skleníkových plynů pocházejí z nákladní silniční dopravy, jejíž podíl na celkových emisích z nákladní dopravy (97,8 %) je vyšší než podíl na přepravním výkonu nákladní dopravy. Na železniční nákladní dopravu (motorovou trakci) připadá pouze 1,6 % emisí z nákladní dopravy při více než desetinásobném podílu železnice na přepravním výkonu.

Průměrný věk vozového parku silničních vozidel v Česku koncem roku 2023 činil 19,2 roku, v případě osobních automobilů 16,2 roku. Z celkově 6,5 mil. registrovaných osobních automobilů bylo 4,1 mil. vozidel (63,7 %) starších než 10 let. Ve struktuře vozového parku osobních automobilů dle pohonů zaujímal benzinový pohon 57,5 %, naftový 39,7 %, a elektrický pouze 0,4 %.

Bateriových elektrických vozidel (BEV) všech kategorií bylo koncem roku 2023 celkově zaregistrováno 33 401, roční počet registrací BEV meziročně stoupl o 60,3 % na 10,9 tis. vozidel v roce 2023. Zhruba dvě třetiny z registrovaných BEV (22 029 vozidel) zaujímaly osobní automobily (vozidla kategorie M1). Tempo rozvoje čisté mobility dle vývoje registrací bezemisních a nízkoemisních vozidel je v Česku v evropském srovnání výrazně podprůměrné. Česko mělo v roce 2023 třetí nejnižší podíl registrací nových bateriových elektrických osobních automobilů (3,0 %) ze všech zemí EU27 po Slovensku a Chorvatsku.

2. Strategie pro dekarbonizaci dopravy

Plnění klimaticko-energetických evropských cílů na národní úrovni zajišťují strategie k dekarbonizaci ekonomiky, na ně navázaná opatření a mechanismy financování. Jedná se zejména o Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu, který zpracován na základě požadavku nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1999 o správě energetické unie a opatření v oblasti klimatu. Aktualizovaná verze Vnitrostátního plánu, zpracovaná na základě nejnovějších poznatků a modelových výstupů, je před schválení vládou. Vnitrostátní plán je provázán s aktualizací Státní energetické koncepce a Politiky ochrany klimatu v ČR, které jsou připravovány a schvalovány konzistentně s tímto dokumentem. Uvedené strategie mají průřezový charakter a zabývají se i dopravou.

Sektorovou dopravní strategií zajišťující rozvoj čisté mobility a snižování uhlíkové náročnosti dopravy je Národní akční plán čisté mobility (NAP ČM), jehož příprava a pravidelná aktualizace vychází z požadavků nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2023/1804 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva (AFIR). Na zpracování a implementaci strategie se podílejí resorty dopravy, průmyslu a obchodu a životního prostředí. Aktualizovaný NAP ČM byl schválen vládou dne 28. 8. 2024.

Uvedené strategické dokumenty zaměřují na dva hlavní pilíře dekarbonizace dopravy, které působí ve vzájemné synergii:

1. Transformace systému zajištění mobility i poptávky po mobilitě směřující k omezení energeticky a emisně náročných druhů dopravy, jako jsou individuální automobilová a nákladní silniční doprava.
2. Obměna vozového parku postupnou náhradou spalovacích motorů nízkoemisními a bezemisními alternativami (hlavně elektřina) s paralelním rozvojem infrastruktury alternativních paliv a pohonů a další elektrizací železniční dopravy.

V osobní dopravě bude pro snižování emisní náročnosti dopravy klíčový rozvoj kvalitní bezemisní veřejné hromadné dopravy, který umožní zvyšování jejího podílu na přepravním výkonu na úkor dopravy individuální. A to jak ve městech (výstavba nových linek metra, trolejbusových a tramvajových tratí), tak v příměstské regionální železniční dopravě i v dálkové železniční dopravě. Doplnkovou roli mohou mít nové koncepty veřejné dopravy (např. podpora pro e-carsharing, nové systémy poptávkové dopravy, v pozdější fázi také autonomní vozidla).

Určitou roli může hrát promyšlený urbanismus dalšího rozvoje měst a obcí, včetně systémové regulace individuální automobilové dopravy. Tato opatření mohou snížit poptávku po dopravě, například omezením nekonceptčního rozlézání měst (urban sprawl), kde nová suburbia postrádají občanskou vybavenost a jsou závislá na individuální dopravě. Cílem je, aby byla rezidenční výstavba vždy provázána s rozvojem dalších funkcí měst (školy, kultura, zábava, služby, rekreace) a lidé tak bydleli blíže práci a dalším aktivitám. Takto nastavený rozvoj měst a obcí, včetně implementace plánů udržitelné městské mobility (SUMP), pomůže posílit využití hromadné, pěší nebo cyklistické dopravy a celkově snížit poptávku po osobní dopravě.

V nákladní dopravě bude z technologických důvodů probíhat dekarbonizace o něco později než u osobní dopravy. V oblasti změny struktury dopravy bude spočívat v převedení části kamionové dopravy na železnici rozvojem multimodální přepravy (tedy většinu trasy po elektrizované železnici a jen úseky do a od terminálů elektrickým nákladním automobilem). K tomu je třeba uskutečnit již připravené klíčové projekty železniční infrastruktury k rozvoji kvalitních elektrifikovaných tratí a k výstavbě veřejných multimodálních terminálů na překlady mezi železnicí a silnicí.

Pokud to charakter přepravy umožní, budou pravidelné přepravy ze silnic převáděny na liniově elektrizované železnice.

V oblasti technologické se dekarbonizace zaměřuje na rozvoj využívání nízkoemisních a bezemisních pohonů a související infrastruktury (sít' dobíjecích a plnicích stanic). Aktuálně se pozornost zaměřuje zejména na elektrické a hybridní pohony, případně i CNG/LNG, v budoucnosti se mohou přidat i nově vznikající technologie jako jsou palivové články využívající vodík, případně využití syntetických paliv ve spalovacích motorech. Cíle NAP ČM pro počty registrovaných nízkoemisních a bezemisních vozidel v jednotlivých časových horizontech uvádí Tab. 1.

Tab. 1. Cíle NAP ČM pro vývoj počtu nízkoemisních a bezemisních vozidel v jednotlivých časových horizontech

Vozidla	2025	2030	2035
BEV osobní automobily	50 000	250 000	1 200 000
BEV lehká užitková vozidla (N1)	4 000	20 000	60 000
BEV těžká nákladní vozidla (N2, N3)	150	6 000	25 000
BEV autobusy	400	1 200	4 200
CNG/bioCNG osobní automobily	22 900	21 400	18 700
CNG/bioCNG lehká užitková vozidla (N1)	4 900	4 800	2 100
LNG/bioLNG těžká nákladní vozidla (N2, N3)	1 620	4 000	9 000
CNG/bioCNG autobusy	2000	2 500	2 500

Zdroj: MŽP [5]

Aby byl rozvoj elektromobility v Česku úspěšný, musí být provázán s rozvojem dobíjecí infrastruktury, a to dle požadavků nařízení AFIR ve vazbě na růst počtu elektrických vozidel. Růst počtu a celkového výkonu veřejných i neveřejných dobíjecích stanic bude vyžadovat navýšení kapacity elektrické distribuční sítě a zajištění dostatku nízkoemisní elektřiny.

V nákladní silniční (kamionové) dopravě je výměna technologií za bezemisní problematičtější, pro významnější rozvoj bezemisní nákladní dopravy budou rozhodující ekonomické aspekty dopravců. Kromě bateriových kamionů přichází v úvahu (obzvláště na delší trasy) vodíkové kamiony, příp. vozy na syntetická paliva nebo pokročilý bioCNG a bioLNG. Dekarbonizace letecké dopravy spočívá ve schopnosti vyrobit dostatek udržitelného syntetického paliva. Česko zatím nemá národní strategii pro zavádění udržitelných paliv v letecké dopravě, ta by měla teprve v dalších letech vzniknout.

Mezi pozitivní východiska, podporující realizaci uvedených dekarbonizačních opatření v ČR, je kvalitní existující infrastruktura veřejné hromadné dopravy a ochota (i když stále omezená s možností dalšího posílení) veřejnou dopravu využívat. Pozitivně přispívat by měla i geografická poloha ČR ve středu Evropy a přítomnost koridorů TEN-T, která může být podpurným faktorem při získání financí z EU na modernizaci dopravní sítě.

Slabou stránkou, a překážkou dekarbonizace dopravy je rozdrobené osídlení s velkým počtem sídel, které komplikuje vytváření systému hromadné dopravy na venkově a vede k většímu využívání osobních automobilů. Postupující

suburbanizace tento problém rozšiřuje i do blízkosti velkých měst. Omezením je i nižší kupní síla obyvatel ve srovnání se západními státy a vysoká cena vozidel s alternativním pohonem. Dalším limitujícím faktorem je i stav dobíjecí infrastruktury, která je sice dostatečně dimenzována na aktuální stav vozového parku, její pokrytí je však nerovnoměrné s nerozvinutým systémem věrnostních služeb.

Vysoký podíl fosilní elektřiny v ČR může v následujících letech omezovat dopad elektrifikace dopravy na snížení emisí skleníkových plynů. V případě drahé elektřiny se může snižovat výhoda nižších provozních nákladů elektrické dopravy oproti fosilním palivům.

Při přechodu k čisté mobilitě je třeba sledovat dostupnost osobní dopravy. I přes postupný pokles cen nízkoemisních a bezemisních vozidel včetně rozvoje sekundárního trhu s ojetými vozidly není jisté, že budou dostupná pro středně příjmové a nízkopříjmové části společnosti. V kombinaci s postupným růstem nákladů dopravy založené na fosilních palivech, hlavně v důsledku zpoplatnění uhlíku (Systém ETS2), může docházet k posilování dopravní chudoby ve společnosti. Je proto zásadní nastavit takový systém podpory (např. v rámci připravovaného Sociálního klimatického fondu), který umožní zachovat dostupnost osobní dopravy. Jedná se o podporu již zmiňované veřejné nízkoemisní dopravy, cílenou investiční podporu pro přechod k čisté mobilitě i sociální podporu.

Literatura

- [1] E. KOBLÍŽKOVÁ. a kol.: Zpráva o životním prostředí ČR 2022, Česká informační agentura životního prostředí, 2023, © Ministerstvo životního prostředí, Praha, ISBN 978-80-7674-102-7.
- [2] Group of editors at CHMI: National Greenhouse Gas Inventory Document of the Czech Republic, Czech Hydrometeorological Institute, 2024, ISBN 978-80-7653-070-6
- [3] MPO, MŽP, MD: Návrh Aktualizace Vnitrostátního plánu České republiky v oblasti energetiky a klimatu (verze po MPR), 2024
- [4] MŽP: Politika ochrany klimatu v České republice – návrh aktualizace pro období 2024 až 2050, 2024
- [5] MPO, MŽP, MD: 2. Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility, 2024

Strategy for decarbonization of transport in the Czech Republic

Jan Mertl

Ministry of the Environment of the Czech Republic

Vršovická 1442/65 70, 100 10 Praha 10

e-mail: jan.mertl@mzp.cz

Abstract

The Czech Republic's transport sector is a significant consumer of energy with a still insufficient level of decarbonisation. The growth of fossil energy consumption in transport and greenhouse gas emissions is negatively impacting the ability to achieve climate and energy targets set forth in EU legislation and international commitments to mitigate climate change. Reducing the emissions intensity of transport is to be ensured by the implementation of national energy and climate strategies. These are the National Climate and Energy Plan of the Czech Republic, the Climate Protection Policy of the Czech Republic and the National Clean Mobility Action Plan. The strategies put forth measures to transform the transport system, with the goal of strengthening energy and emission low intensive modes of transport at the expense of other modes of transport. Moreover, the strategies intend to enhance the utilisation of low and zero-emission technologies in the vehicle fleet.

Vliv chyb v dopravních modelech na enviromentální modelování

David Hrubý, Zdeněk Hejkal, Anna Tišlerová

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 2657/33a, 63600 Brno

e-mail: david.hruby@cdv.cz

Abstrakt

Príspevek se zabývá zkoumáním vlivu chyb v dopravních modelech na výsledky environmentálního modelování. Dopravní modely jsou klíčovým nástrojem pro předpovídání dopravních toků a jejich následného dopadu na životní prostředí, včetně emisí znečišťujících látek, hluku a spotřeby energie. Přesnost těchto modelů je však často ohrožena chybami v datech.

Cílem studie je představit možné chyby, které mohou v dopravních modelech vznikat, a ukázat, jak mohou tyto chyby ovlivnit výsledky emisních a hlukových modelů. Rovněž představit nástroj, který umožňuje snadnou kontrolu dopravních modelů a identifikaci těchto chyb. Výsledky studie mohou být využity k lepšímu pochopení vlivu chyb v dopravních modelech na environmentální analýzy a k optimalizaci jejich využití v praxi.

1. Úvod

Vliv dopravy na životní prostředí a zdraví lidí je v dnešní době velmi diskutovaným tématem [1, 2, 3]. Mezi hlavní negativní vlivy patří zejména emise znečišťujících látek ze spalovacích motorů [4] a hluk [5]. Z tohoto důvodu jsou tyto faktory klíčovým objektem hodnocení environmentálních dopadů v rámci plánovaných staveb, strategií a dalších činností. Tyto evaluace jsou často využívány k posouzení účinnosti navrhovaných opatření v oblasti dopravy.

Právě dopravní modely se staly klíčovým datovým zdrojem při plánování a analýze dopravních toků a jejich dopadu na životní prostředí. Poskytnutá data jsou nutná pro získání informací o emisích, hluku a spotřebě energie, které jsou nezbytné pro rozhodování o udržitelném rozvoji a implementaci opatření ke snížení vlivů dopravy na životní prostředí.

Přesnost těchto modelů je často ohrožena různými chybami ve vstupních datech a parametrech modelování. Tyto chyby mohou vznikat v důsledku nepřesností ve sběru dat, nesprávného nastavení modelu nebo zjednodušení složitých procesů. Vliv těchto chyb se může promítnout do významného zkreslení výsledků, což následně ovlivňuje správnost environmentálních modelů a může vést k nesprávným rozhodnutím v oblasti ochrany životního prostředí a dopravního plánování.

Samotná tvorba dopravního modelu by měla postupovat dle metodiky pro tvorbu a hodnocení makroskopických dopravních modelů [6]. Jednou z činností při tvorbě modelu je ověření neboli verifikace dopravního modelu a jeho kalibrace a validace. Samotná verifikace ještě nemá vztah k reálným datům v modelu a ověřuje, zdali je model vytvořen ve shodě se zadáním studie. Při kalibraci dochází ke zpřesňování jednotlivých parametrů dopravního modelu tak, aby se model co nejlépe přibližoval skutečnému stavu dopravy. Shoda dopravního modelu s realitou by následně měla být ověřena za pomoci statistických analýz. Po provedení kalibrace je nutné provést také validaci dopravního modelu, tedy provést jakýsi finální test správnosti modelu a ověření jeho schopnosti simulovat reálné dopravní poměry. I přes dodržení výše

popsaného postupu kontroly dopravního modelu však dopravní modely nejsou stoprocentně správné, a to i z důvodu, že dopravní model je utvářen z velkého množství vstupních dat. Všechny tyto vstupní parametry pak mohou obsahovat menší nebo větší nepřesnosti a určitý stupeň nejistoty.

V rámci projektu Optimalizace služeb pro potřeby environmentálního modelování z roku 2023 byla navržena sada nástrojů pro software ArcGIS Pro 3.2.0, pomocí níž jde provést základní kontrola výstupů z dopravního modelu.

2. Chyby v dopravních modelech

V případě využití dopravního modelu jako podkladu pro jiné, v našem případě environmentální modelování v dopravě, je dobré provést alespoň základní kontrolu dopravního modelu před jeho využitím jako datové základny pro environmentální modelování. Důvodem kontroly ještě ve fázi přípravy podkladů do environmentálního modelu je, že pokud jsou některé nedostatky dopravního modelu odhaleny až ve fázi modelování, může nastat situace, kdy je třeba spouštět celé modelování opakovaně. Toto opětovné modelování může například při tvorbě hlukových modelu představovat časovou náročnost i v řádu dnů. V mnohých případech je také třeba znovu provést přípravné práce a korekce dat z dopravního modelu a až poté opakovat samotné environmentální modelování. Právě z těchto důvodů tak může docházet k navyšování nákladů na zpracování daného projektu.

Při využívání dopravních modelů pro environmentální analýzy se často nesnažíme přímo ověřovat jejich přesnost vůči reálným dopravním podmínkám a místo toho se zaměřujeme na to, zda model jako celek dává smysl a neobsahuje chyby, které by mohly zkreslit výsledky a negativně ovlivnit analýzu. Klíčovou částí procesu je zajistit, že model správně pracuje s kvalitními a konzistentními daty. Mezi nejčastější chyby, které mohou ovlivnit výstupy environmentálních modelů, patří neúplnost dat – je třeba ověřit, zda jsou všechna potřebná data dostupná a v dostatečném rozsahu, aby co nejvěrněji reprezentovala reálnou situaci v dopravě. Dalším problémem může být nekonzistentnost dat, která může vést k nepřesným predikcím, a také chybná topologie dopravní sítě v modelu, jež může narušit správné propojení a funkčnost dopravní infrastruktury v simulaci.

3. Chybovost environmentálních modelů

Požadavky na vstupní data pro modelování emisí a hluku mohou být dle [7] rozděleny do čtyř hlavních skupin: data o dopravním proudu, dopravní síti, topografii okolí komunikací a demografická data. Data o dopravním proudu zahrnují intenzitu, rychlost a složení dopravy, včetně podílu vozidel dle emisních norem a alternativních pohonů. Tato data se získávají z průzkumů a dopravních modelů. Data o dopravní síti obsahují prostorové uspořádání komunikací, včetně výškového profilu, technického stavu, šířky jízdních pruhů a povrchu vozovky. Klíčové jsou také informace o mostech a estakádách.

Topografická data hrají významnou roli v hlukových modelech. Patří sem informace o budovách, protihlukových stěnách a výškopisu. Přesnost digitálních modelů terénu je klíčová pro správné modelování hluku. Chyby v topografických datech, například nepřesné nebo neúplné výškopisné údaje, mohou vést k nesprávným výsledkům v modelování šíření hluku. Digitální model terénu, který se používá jako základ pro výšky budov, musí přesně odrážet členitost terénu a umístění objektů. Pokud jsou data o terénu nesprávná, ovlivní to i výšky budov získané konverzí z 2D na 3D, což může dále zkreslit výpočty hluku. Chyby

v zaznamenání protihlukových stěn, valů nebo mostů mohou rovněž vést k nesprávným odhadům jejich vlivu na šíření hluku.

Demografická data se pak používají pro hodnocení dopadů hluku na obyvatelstvo, přičemž pro přesné výsledky je potřeba znát počet obyvatel nejen na úrovni obcí, ale i jednotlivých budov. Chyby v demografických údajích mohou mít důsledky při hodnocení dopadů hluku a emisí. Pokud nejsou data aktuální nebo dostatečně detailní, mohou modely nesprávně vyhodnotit, kolik lidí je vystaveno nepřiměřené hlukové zátěži a emisím. To může ovlivnit plánování a implementaci opatření na ochranu zdraví, jelikož nesprávné demografické údaje mohou vést k podcenění nebo přecenění vlivu environmentálních faktorů na obyvatelstvo.

Chyby v dopravním modelu mají významný vliv na výsledky hlukových a emisních modelů. Nepřesné údaje o intenzitě, skladbě a rychlosti dopravy, stejně jako o povrchu komunikací a niveletě, mohou způsobit chyby v předpovědích emisí a hladin hluku. Tyto odchylky mohou mít dopad na veřejné zdraví a na rozhodovací procesy v oblasti infrastruktury a územního plánování.

Vliv změny vstupních dat na hlukový model

Tabulka 1 popisuje, jak nepřesnosti ve vstupních parametrech dopravních modelů ovlivňují výsledky výpočtů hlukových map, konkrétně hodnoty ekvivalentní hladiny hluku (L_{Aeq}). Změny vstupních údajů, jako je intenzita dopravy, skladba dopravního proudu, rychlost vozidel, výškový profil komunikace (niveleta) nebo povrch silnice, mají různý vliv na výsledné hodnoty hluku.

Tab. 1. Velikost chyby výpočtu hlukových map na základě nepřesných vstupních údajů [8].

Výpočtový postup	Změna vstupu	Změna hodnoty L_{Aeq}
Intenzita dopravy	$\pm 10 \%$	$\pm 0,4$ dB
Skladba dopravního proudu	$\pm 5 \%$ NA	$\pm 0,5$ dB
Rychlost dopravního proudu	$\pm 10 \%$	$\pm 0,8$ dB
Niveleta komunikace	$\pm 1 \%$ (obousměrně)	$\pm 0,3$ dB
Typ povrchu	Ac ($F3 = 1,1$)	$\pm 0,4$ dB

Nejvýraznější vliv na hlučnost má změna rychlosti dopravního proudu, kde odchylka o $\pm 10 \%$ způsobuje změnu hlučnosti o $\pm 0,8$ dB. Naopak nejmenší vliv má změna nivelety komunikace, kde odchylka o $\pm 1 \%$ mění hladinu hluku jen o $\pm 0,3$ dB.

Tyto změny ukazují, že přesnost vstupních dat je klíčová pro kvalitu hlukových modelů. Zatímco rychlost a skladba dopravy mají větší vliv na hlučnost, faktory jako povrch komunikace a intenzita dopravy mají menší, ale stále měřitelný dopad. Správné nastavení a verifikace případné validace těchto parametrů je proto zásadní pro přesné modelování šíření hluku.

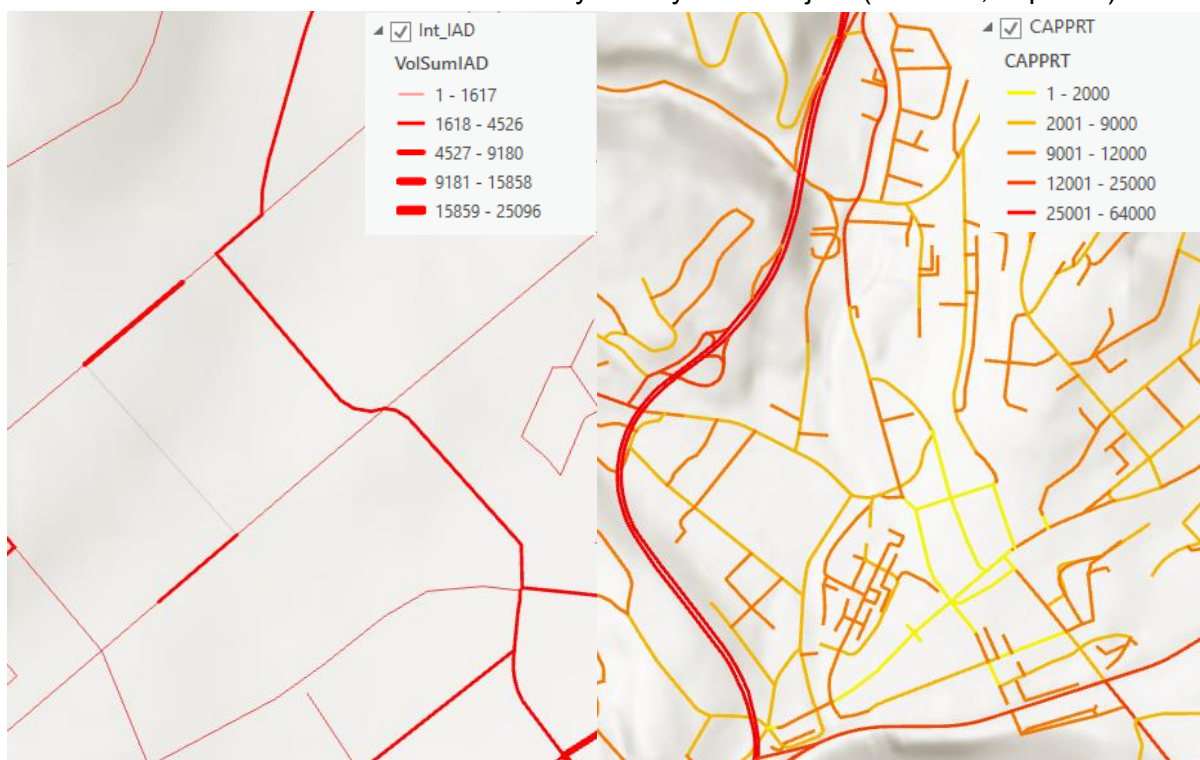
4. Představení nástroje kontroly dopravních modelů

V souvislosti s projektem Optimalizace služeb pro potřeby environmentálního modelování z roku 2023 byl navrhnout automatizovaný postup kontroly výstupu z dopravních modelů. V rámci automatizace kontroly byla vytvořena sada nástrojů v prostředí GIS společnosti ESRI.

Pro kontrolu návaznosti a úplnosti dat je možné s využitím vyvinutého nástroje vytvořit vhodnou kartografickou vizualizaci, nejčastěji stuhový kartodiagram (na obrázku 1 vlevo), a takto znázornit informace o intenzitě, rychlosti a kapacitě dopravy na jednotlivých modelovaných úsecích. S pomocí této metody znázornění atributových dat je následně snadné jednoduchou vizuální kontrolou odhalit nedostatky v datové sadě. Pomocí nástroje tak lze objevit například chyby změny

atributových hodnot intenzity dopravy nebo kapacity komunikace i v případě, že v daném místě nedochází ke křížení komunikací, kde by byla změna hodnot možná. Obdobně jde rozpoznat nárazovité zvýšení modelované rychlosti, nebo nepřiměřenou rychlost u některých módů dopravy (například vysoká rychlost těžké nákladní dopravy na dálnicích). V některých případech mohou zobrazené změny v liniové struktuře vizualizovaných dat odpovídat skutečným nebo modelovaným záměrům a nejedná se tedy o chybu v datech. Během kontroly návaznosti atributových hodnot je možné odhalit také chybějící úseky komunikací a zároveň provádět kontrolu správné topologie jednotlivých úseků za využití vhodné podkladové mapy. Tato část kontroly je důležitá z důvodu následného napojení dopravní sítě na digitální modely reliéfu a povrchu.

Obrázek 1: Ukázka kontrolních vizualizací vytvořených nástrojem (intenzita, kapacita)



Další nástroj, jenž byl v rámci projektu vytvořen, pomáhá s kontrolou konzistentnosti dat. Konkrétně porovnává intenzity dopravy s rychlostí a s kapacitou komunikace a vyhodnocuje, zdali zkoumaný dopravní úsek obsahuje všechny potřebné atributy odpovídající očekávaným hodnotám. Nástroj tak pomůže odhalit úseky u kterých nějaký z atributů chybí, ale ostatní jsou doplněny. Zároveň jsou za pomoci nástroje kontrolovány extrémní hodnoty atributů, čímž se dají odhalit ojedinělé excesivní hodnoty, které byly do modelu zaneseny chybou. Pro lepší přehlednost kontroly nástroj vizualizuje chybné úseky odhalené porovnáním atributových hodnot, čímž je lokalizace chybné oblasti velmi přehledná a rychlá. Při vizualizaci jsou nekonzistentní úseky rozděleny dle jednotlivých módů dopravy a uloženy do samostatné mapové vrstvy.

Další součástí vytvářené sady nástrojů je nástroj pro generování kontrolních reportů. Tento nástroj využívá již vytvořené výstupy z kontroly dopravního modelu pro tvorbu reportu, jenž může sloužit k jasnému a přehlednému představení chyb dalším osobám a je tedy vhodný pro předání dopravního modelu k dopracování

a opravě chyb. V kontrolním reportu jsou chybné oblasti představeny pomocí mapových náhledů s doplňujícími informacemi o dopravní síti.

5. Závěr

Chyby v dopravních modelech mohou výrazně ovlivnit výsledky environmentálních analýz. I malé nepřesnosti ve vstupních datech nebo parametrech modelů mohou způsobit zkreslené výsledky, což ovlivňuje rozhodovací procesy týkající se dopravního plánování a ochrany životního prostředí. Tyto chyby mohou vést k nadhodnocení nebo podhodnocení skutečných dopadů dopravy na životní prostředí, což následně ovlivňuje efektivnost navrhovaných opatření a celkovou kvalitu plánování. Představený nástroj pro kontrolu dopravních modelů poskytuje efektivní způsob, jak tyto chyby identifikovat a minimalizovat, čímž se zvyšuje spolehlivost a přesnost výsledků. Implementace takových nástrojů může přispět například k optimalizaci nákladů spojených s environmentálními analýzami a následnými opatřeními a zároveň omezí opakování modelovacích procesů.

Literatura

- [1] RODRIGUE, J.-P (2020). Transportation and the Environment. In The Geography of Transport Systems [online]. New York: Routledge, 2020. Dostupné z: <https://transportgeography.org/?page_id=5711> ISBN 978-0-367-36463-2.
- [2] CHAPMAN, L. (2007) "Transport and climate change: a review", Journal of Transport Geography 15(5), pp. 354-367.
- [3] OECD (2014) The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport, Paris: OECD Publishing
- [4] KURFÜRST, J. ed. (2008). Kompendium ochrany kvality ovzduší. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2008. ISBN 978-80-86832-38-8.
- [5] WHO (2018). Environmental Noise Guidelines for the European Region [online]. Kodaň: WHO Regional Office for Europe, 2018 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/279952/9789289053563-eng.pdf>
- [6] CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU, V. V. I.; , AF-CITYPLAN s. r. o. a , SUDOP PRAHA a. s. (2017) Metodika pro tvorbu a hodnocení makroskopických dopravních modelů. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i, 2017. ISBN 978-80-88074-52-6.
- [7] HEJKAL, Z. et al. (2020). Datové zdroje pro environmentální modelování v dopravě – porovnání dostupnosti v ČR a SR. Geografické informácie. 24. 143-156. 10.17846/GI.2020.24.1.143-156.
- [8] LÁDYŠ, L. a kol. (2006) Systémová podpora interaktivního ovlivňování vývoje hlukové situace v okolí dálnic a silnic I. třídy. Ekola group, spol. s.r.o., Praha

Poděkování

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

Impact of errors in traffic models on environmental modelling

David Hrubý, Zdeněk Hejkal, Anna Tišlerová

Transport Research Centre

Líšeňská 2657/33a, 63600 Brno, Czech Republic

e-mail: david.hruby@cdv.cz

Abstract

This paper investigates the effect of errors in traffic models on environmental modelling results. Traffic models are a key tool for predicting traffic flows and their subsequent impact on the environment, including pollutant emissions, noise and energy consumption. However, the accuracy of these models is often compromised by errors in the data.

The aim of this study is to present the possible errors that can arise in traffic models and to show how these errors can affect the results of emission and noise models. Also to present a tool that allows for easy inspection of traffic models and identification of these errors. The results of the study can be used to better understand the impact of errors in traffic models on environmental analyses and to optimise their use in practice.

Doprava, zdraví a životní prostředí v primárním a preprimárním vzdělávání

Petr Anděl

Technická univerzita v Liberci
Studentská 1402/2, 461 17 Liberec 1
e-mail: petr.andel@tul.cz

Abstrakt

Problematika dopravy má v preprimárním i primárním vzdělávání své pevné místo a zaměřuje se především na nejdůležitější téma, a to bezpečnost dětí v silničním provozu. Tento příspěvek je zaměřen na méně běžnou oblast vlivu dopravy na volně žijící živočichy a na fragmentaci krajiny. Na příkladu výukového projektu pro žáky ve věku 7-11 let je demonstrováno, že vhodnou formou je možné s dětmi probírat i složitá témata a vést je k osobní odpovědnosti v chování ve vztahu k životnímu prostředí.

1. Úvod

Doprava je zásadní společenský fenomén, který zasahuje do života každého z nás, tedy i dětí. V rámci předškolního a prvostupňového vzdělávání se výuka o dopravě soustřeďuje především na bezpečnost v rámci silničního provozu. Je to logické, protože se jedná o nejzávažnější téma, které rozhoduje o životě a zdraví dětí. Těmto okruhům je ve vzdělávání dlouhodobě věnována velká pozornost a existuje velké množství odborných a metodických materiálů. V rámci tohoto příspěvku se proto budu zabývat jiným, méně obvyklým tématem, které se do výuky dosud promítá jen ojediněle.

Jedná se o vliv dopravy na volně žijící živočichy, na fragmentaci krajiny a populací. Může se zdát, že tato problematika je natolik složitá, že ji nedokáží děti na prvním stupni akceptovat. Na příkladu využití vhodného vzdělávacího programu chci ukázat, že děti téma nejen dobře chápou, ale současně u nich i rozvíjí zodpovědný vztah k životnímu prostředí.

2. Doprava a ochrana volně žijících živočichů

Děti a doprava

Doprava je běžnou součástí našeho života již od dětství a děti tráví často v autech hodně času. Proto si velmi brzy začínou všimnout i negativních vlivů dopravy, jako jsou hluk, imise a mrtvá zvířata na krajnicích. Děti jsou ve velké většině emocionálně citlivé a mrtvých zvířat je jim líto. Logicky následují otázky:

- a) Proč k tomu musí docházet?
- b) Jak tomu můžeme zabránit?

Rodiče ale často nejsou schopni na tyto otázky správně odpovědět. Zde potom zaujímá významné místo škola, která by měla dětem poskytnout správně informace a vést je k zodpovědnému vztahu k životnímu prostředí. Různé možnosti zařazení těchto témat do výuky je uvedeno například v [1].

Fragmentace krajiny a populací a ochrana volně žijících živočichů

Po odborné stránce patří tato problematika do aplikované ekologie. Jedná se o složité téma, protože se zde hrají roli různé druhy dopravy (především silniční a železniční) a téma se dotýká širokého spektra živočišných druhů, především těch, které mají značné nároky na prostor a migraci. K tématu existuje rozsáhlá literatura, jako příklad uvádím příručku zpracovanou pro potřeby České republiky [2].

Role pedagogických fakult

Klíčovou roli ve větším začlenění tématu dopravy do výuky mají pedagogické fakulty. Ty připravují budoucí učitele, kteří budou svoje znalosti dále předávat žákům. Nejde ale pouze o konkrétní znalosti. Jde především o snahu zapojovat do výuky méně tradiční a často i obtížná témata. Doprava zde může být vzorem pro jiná aktuální otázky.

Na fakultě přírodovědně-humanitní a pedagogické Technické univerzity v Liberci začleňuji toto téma do výuky dvěma způsoby:

- a) v rámci výuky studentů v předmětu environmentální výchova [3]
- b) vytvořením speciálního vzdělávacího programu pro žáky 1. stupně ZŠ, který prezentují přímo ve vybraných základních školách. Jeho realizace mi poskytuje zpětnou vazbu, kterou mohou následně uplatnit při výuce studentů.

V následující části příspěvku chci tento program představit a ukázat na něm, že i náročná odborná témata je možné ve vhodné formě předkládat dětem na 1. stupni ZŠ. Dílčí části programu jsou využitelné i v preprimárním vzdělávání, především v posledním ročníku MŠ, kdy se děti připravují na školní docházku.

3. Výukový program

3.1. Základní charakteristika programu

Základní charakteristika programu:

Název:	Zvířátka a silnice
Časová dotace:	45 minut (jedna vyučovací hodina)
Cílová skupina:	program je zpracován ve dvou verzích: A. pro děti 2. a 3. třídy B. pro děti 4. a 5. třídy

Obě zpracované verze se neliší strukturou a základním obsahem, ale pouze hloubkou a rozsahem informací, aby byla dodržena didaktická zásada věkové přiměřenosti.

Metodika

Základem programu je prezentace v Powerpointu, která vytváří osnovu pro kontinuální diskusi se žáky. Vedení průběžné diskuse je zásadní, protože je cílem, aby žáci, pokud možno sami, dospěli ke správným závěrům.

Tento postup bude demonstrován na dvou klíčových otázkách, ve kterých je ukryta vlastní podstata problému bariérového efektu a ochrany volně žijících živočichů.

3.2. Dvě klíčové otázky

Klíčové otázky pro pochopení celého problému jsou:

- a) Proč chtějí zvířata přecházet silnici?
- b) Co můžeme dělat, abychom je ochránili?

Proč chtějí zvířata přecházet silnicí?

Tato otázka je velmi důležitá a běžné odpovědi dětí jsou následující:

- a) jsou na to zvyklá ještě z doby, kdy tady žádná silnice nebyla
- b) dělají to přirozeně a nejsou schopni odhadnout nebezpečí
- c) hledají vodu, potravu, úkryt
- d) hledají své kamarády a partnery.

Vidíme, že děti ve svých odpovědích vystihují podstatu rizika bariérového efektu silnic. Nejedná se zde pouze o riziko havárie (problematika bezpečnosti silničního provozu), ale současně o nutnost dostat se na druhou stranu (problematika fragmentace populací a krajiny). S dětmi není nutné rozebírat nebezpečí reprodukční izolovanosti populací a hledání sexuálních partnerů. Pro ně tento problém zosobňuje otázka kontaktu s kamarády. Považují za samozřejmé se s kamarády stýkat každý den a při běžném antropomorfickém myšlení dětí předpokládají tutéž potřebu i u zvířat. V obecné rovině je možné na toto téma diskutovat i s dětmi v mateřské škole. Uvedené odpovědi dětí logicky evokují druhou otázku.

Jak můžeme zvířátkům pomoci?

Je zajímavé, že děti raného školního věku automaticky cítí odpovědnost nás lidí za tuto situaci. Při hledání řešení nabízím dětem tři základní alternativy a ptám se na jejich názor.

A. Dopravní semaforey

Návrh: Umístíme do lesa dopravní semaforey.

Odpověď: Ne, zvířátka by je neuměla využívat.

Je třeba upozornit, že z pohledu dětí, které ještě žijí hodně v pohádkách a smyšlených příbězích, není tento návrh tak absurdní, jak se může zdát nám.

B. Oplocení

Návrh: Oplotíme celou silnici.

Odpověď: Ano i ne. Zabráníme sice nehodám na silnici, ale zvířátka se nebudou moci dostat na druhou stranu za svými kamarády.

Děti velmi správně chápou, že se jedná o polovičaté řešení. Bohužel v reálných situacích se na některých silnicích používá úplné oplocení, aniž by tam byla možnost migračního propojení.

C. Migrační objekty a oplocení

Návrh: Postavíme speciální mosty pro zvířata a zbytek silnice oplotíme.

Odpověď: Ano, zabráníme dopravním nehodám a současně zvířátka budou moci přecházet na druhou stranu.

Kombinace migračních objektů a oplocení je základním dnes všeobecně v celé Evropě doporučovaným řešením. Nyní následují diskuse, že mosty pro zvířata dělíme na podchody a nadchody a že máme velké množství různých typů technických řešení.

Když se děti seznámí s typickou siluetou nadchodu budovaného speciálně pro živočichy, tzv. ekoduktu, můžeme je vyzvat, aby až pojedou někdy s rodiči a uvidí takovýto most, aby rodiče upozornili, že je to most pro zvířata. Možná budou překvapeni, že to řada dospělých neví.

3.3. Rozvoj osobní odpovědnosti u dětí

Bylo již zmíněno, že děti cítí obecnou zodpovědnost lidí za chování k přírodě. Důležité je ale rozvíjet konkrétní osobní odpovědnost. Vhodným tématem je cyklistika. Každé dítě jezdí na kole a může se dostat do situace, kdy by ohrožovalo život živočichů. Jedná se především o tyto situace:

- a) jarní tah obojživelníků k vodě – v té době se na silnicích, ale i cyklostezkách pohybují stovky žab
- b) hadi vyhřívající se na asfaltu – jedná se o častý problém cyklostezek, které procházejí chráněnými oblastmi
- c) slepýš – tato beznohá pomalá ještěrka se stává častou obětí cyklistů na lesních cestách i cyklostezkách. Je zajímavé, že všechny děti znají slepýše z vyjmenovaných slov, ale většina si ho v přírodě nikdy nevšimla.

Je třeba upozornit děti, že musí dávat pozor na cestu a nikdy nesmí záměrně nějakého živočicha přejet. A tam, kde jich je hodně (místa migrace žab), je třeba zastavit, slézt z kola a opatrně přejít na druhou stranu.

3.4. Další probíraná témata

V rámci výukového projektu se diskutují i další témata, např.:

- Kolik váží los evropský? Jeden dospělý los (500 kg) váží cca tolik jako 20 dětí ve věku 7 let, tj. skoro celá třída.
- Jak jsou zvířata velká a jak velké musí být migrační podchody? Je třeba si uvědomit, že většina zvláště městských dětí zná zvířata více i fotek a televize, nežli z volné přírody. Toto téma je možné diskutovat již v mateřské škole, kdy děti mohou ze stavebnic stavět různě velké mosty a sledovat, jestli pod nimi figurky zvířat projdou.
- Poznávání obrázků našich běžných zvířat a jejich zařazování do taxonomického systému. Podrobnost systému je dána věkem dětí.
- Jak se v přírodě ke zvířatům chovat? Která zvířata mohou být nebezpečná? Co dělat, když najdeme opuštěné mládě? Co dělat, když najdeme zraněné zvíře? Co to jsou záchranné stanice?

3.5. Kreslení obrázků a celková reflexe

Na představený hodinový projekt navazuje vlastní výtvarná činnost dětí. Na příští hodině výtvarné výchovy již při běžném vyučování v režii své paní učitelky děti kreslí to, co je z předchozího projektu nejvíce zaujalo. Tyto kresby jsou velmi zajímavé a inspirativní a ukazují, že si děti z výukového programu odnesly řadu informací i podnětů k zamyšlení.

Motem výukového projektu bylo heslo: „Zvířátka tu žijí s námi a musíme jim pomáhat.“ Dlouhodobé zkušenosti s aplikací tohoto projektu mi ukazují, že děti chápou podstatu problému a s heslem se ztotožňují.

4. Závěr

Ve vztahu k problematice zařazování témat z oblasti dopravy do primárního a preprimárního vzdělávání považuji za důležité tyto skutečnosti:

1. témata z oblasti dopravy, zdraví a životního prostředí je třeba zařazovat do výuky již v období primárního a preprimárního vzdělávání.
2. kromě bezpečnosti dětí v silničním provozu, které je tématem prioritním, je třeba hledat i další náměty.
3. není třeba se bát tzv. složitých témat. Děti jsou schopny vnímat i komplexní problémy, klíčovou otázkou pouze je, jak my jim to dokážeme vysvětlit a podat ve formě, která je pro daný věk přijatelná.
4. děti je třeba vést k osobní zodpovědnosti za své chování. Je to vůbec jeden z nejdůležitějších úkolů vzdělávání. A tuto odpovědnost nemohou vnímat v abstraktní rovině, ale pouze na konkrétních příkladech z jejich života.

Literatura

- [1] ANDĚL, P., STRNADOVÁ, Z., VRTALOVÁ, J., G. ELOVÁ E. *Vzdělávání k udržitelné dopravě. Obecné metodiky*. – Centrum dopravního výzkumu Brno, 2015, 41 p., ISBN 978-80-88074-08-3.
- [2] HLAVÁČ, V., ANDĚL, P., PEŠOUT, P., LIBOSVÁR, T., ŠIKULA, T., BARTONIČKA, T., DOSTÁL, I., STRNAD, M., UHLÍKOVÁ, J. *Doprava na ochranu fauny v České republice. Metodika AOPK ČR*. – Agentura ochrana přírody a krajiny ČR, Praha, 2020, 239 s., ISBN: 978-80-7620-070-8.
- [3] ANDĚL, P. *Ochrana životního prostředí pro učitele základních škol*. – Technická univerzita v Liberci, 2014, ISBN 978-80-7494-051-4.

Transport, health and the environment in primary and pre-primary education

Petr Anděl

Technical University of Liberec

Studentská 1402/2, 461 17 Liberec 1, Czech Republic

e-mail: petr.andel@tul.cz

Abstract

The issue of transport has a strong place in both pre-primary and primary education and focuses primarily on the most important topic, namely the safety of children in road traffic. This article focuses on the less common topic of the impact of traffic on wildlife and landscape fragmentation. Using the example of a educational project for pupils aged 7-11, it is demonstrated that it is possible to discuss even complex topics with pupils in an appropriate way and lead them to personal responsibility in their behaviour in relation to the environment.

Teplotní poměry parkovišť

Jaroslav Rožnovský

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Kroftova 43, 616 00 Brno

e-mail: jaroslav.roznovsky@chmi.cz

Abstrakt

Doprava ve městech vyžaduje také parkování motorových vozidel. Vyhrazenými plochami jsou parkoviště, z nichž tzv. parkoviště venkovní představují stavební plochy významně ovlivňující radiační bilanci města. Vzhledem k teplotám jejich povrchů se podílejí na výskytu tepelného ostrova měst. Stále se zvyšující počet motorových vozidel vyvolává následně zvyšování potřeby parkovišť. Přitom jejich povrch tvoří převážně asfaltový beton s nízkou hodnotou albeda, tedy s nízkým odrazem slunečního záření. Tím je dáno, že za jasných dnů, krátce po kulminaci Slunce, teploty povrchu parkovišť dosahují i přes 70 °C. Za stejných podmínek má povrch travního porostu jen kolem 35 °C. Pro snížení negativních vlivů tepelného ostrova je nutné nejen nedovolit další výstavbu venkovních parkovišť, ale i stávající nahradit parkovacími domy.

1. Úvod

Proměnlivost našeho podnebí se potvrdila v průběhu léta a první poloviny září 2024, kdy během čtyř dnů došlo k radikální změně počasí a dny tropických teplot beze srážek byly nahrazeny ochlazením o více jak dvacet stupňů a vysokými úhrny srážek včetně výskytu až extrémních povodní. K hodnocení našeho podnebí jsou k dispozici podklady v Atlasu podnebí Československa [5] a Podnebí ČSSR - Tabulky [12], kde jsou uvedeny výstupy zpracování za období 1901 až 1950. Mapy klimatických prvků v Atlasu podnebí Česka [14]) byly vypracovány z meteorologických údajů za období 1961 až 2000. Nejvyšší maximum teploty vzduchu na území ČR bylo naměřeno 20. 8. 2012 v Dobřichovicích, a to 40,4 °C. Z analýzy průměrných ročních a měsíčních teplot vzduchu za období 1961 až 2020 vyplývá, že teploty vzduchu na našem území rostou. Ovšem roční úhrny srážek za toto období nemají statisticky prokazatelný trend. Ale tyto údaje vzhledem k datům, která byla pro jejich zpracování použita, nevyjadřují jednak vývoj podnebí v posledních desetiletích, ale také ne městské prostředí.

V posledních letech jsou se změnami klimatu diskutovány i změny mezo a mikroklimatu ve městech. Náhrada původních porostů plochami střech, parkovišť, vozovek apod. ovlivňuje hodnoty radiační bilance, a tím i velikost a dynamiku meteorologických prvků. Jde o specifické klima, tedy klima městské [9], jako klima velkých měst a průmyslových aglomerací, které se vytváří za spolupůsobení specifického aktivního povrchu měst, antropogenní produkce tepelné energie a průmyslové, dopravní i jiné činnosti ve městech. Aktivní povrch měst je tvořen střechami a stěnami budov, vozovkami s umělým povrchem, malou plochou zeleně a jeho vlastnosti závisí i na typu zástavby, šířce ulic apod. Od klimatu přilehlého venkovského okolí se městské klima zpravidla liší nižší průměrnou rychlostí větru, vytvářením tepelného ostrova města (projevuje se vyššími denními i 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. Městským klimatem se zabývá klimatologie měst.

Pojem „tepelný ostrov města“ (urban heat island, UHI) dokládá, že dominantním projevem „ostrova“ je zvýšení teploty vzduchu. Citované poznatky potvrzují, že se teplota vzduchu směrem k centru měst zvyšuje v závislosti na narůstající hustotě zástavby [13]. Výsledky velmi podrobného plošného monitoringu v lokalitě Barrow na Aljašce během zimní sezóny 2001/2002 uvádějí [4]. Jejich výsledky vycházejí z měření registrátory HOBO rozmístěných na 54 stanovištích.

Dokladem tohoto stavu ve městech je velké množství publikací, např. [1,6,10,13]. 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 na zdraví obyvatel přispívá ve městech též znečištění ovzduší. Vlivům městského prostředí včetně dopadů na zdraví obyvatel byla věnována pozornost mnoha autorů, např. [2,3,7]. Srovnání teplotního režimu města a přilehlých venkovských oblastí provedl Howard ve studii Climate of London z roku 1833 [13].

Uzavřené prostory mezi budovami způsobují omezení dlouhodobného 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 zezeň 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].

Problematika městského klimatu je předmětem zájmu také našich klimatologů. Jedna z prvních podrobných studií klimatu města byla zpracována pro Bratislavu [11]. Klimatické podmínky Brna byly předmětem několika výzkumných projektů a následně mnohých publikací. 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 [3]. 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. Vztah mezi výskytem tepelného ostrova v Praze a synoptickými situacemi analyzovali [1].

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

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 „micro urban heat islands - 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

K problematice hodnocení teplotních poměrů parkovišť byly jednak použity texty z příslušných zákonů k hodnocené problematice a ambulantní měření teploty povrchu parkoviště pomocí termometru za převážně jasných dnů splňujících podmínku tropických dnů, tedy dnů, kdy denní maximální teplota vzduchu byla nebo překročila 30 °C. Pro doložení významu zeleně byla termometrem prováděna i měření povrchu s travním porostem a teploty zastíněné části parkoviště stromy.

Hodnocení vlivu venkovního parkoviště vychází z radiační bilance povrchu, kterým je převážně asfaltový beton. Jaká část dopadajícího záření se odrazí, nám říká veličina zvaná albedo, tedy míra odrazivosti tělesa nebo jeho povrchu. Jde o poměr odraženého elektromagnetického záření k množství dopadajícího záření. Zlomek, obvykle vyjadřovaný procentuálně od 0 do 100 %, je důležitým pojmem v meteorologii i dalších vědách. Závisí také na úhlu dopadu záření.

3. Výsledky

Aktivní povrchy v silně urbanizovaných územích utvářejí z velké části pevné nepropustné stavební materiály. K těmto jednoznačně patří parkoviště, které je obecně chápáno jako plocha k parkování. Zákon o pozemních komunikacích 13/1997 Sb. ze dne 23. ledna 1997, § 12, odstavec (6) jej definuje takto: „Veřejné parkoviště je stavebně a provozně vymezená plocha místní nebo účelové komunikace anebo samostatná místní nebo účelová komunikace určená ke stání silničního motorového vozidla“. Ovšem parkoviště můžeme dělit z několika pohledů. S ohledem na stavební provedení jde o:

A, Venkovní parkoviště, která jsou stavebně nejjednodušší a časově nejrychlejším řešením. Parkovací plocha je až na výjimky přímo vystavena vlivům počasí, tedy je ozařována přímo slunečním zářením a dopadají na ni srážky. Jejich nevýhodou je vysoký nárok na plochu.

B, Podzemní parkoviště jsou vytvářena při stavbě nových budov. Jejich výhodou mimo šetření plochy je ochrana zaparkovaných vozidel před vlivy počasí. Z hlediska nákladů jde o vyšší finance než u parkovišť venkovních.

C, Parkovací domy jsou řešením, kdy jde o omezení ploch pro parkoviště při možnosti parkování pro vysoký počet vozidel. Ovšem finance jsou násobně vyšší než u obou předcházejících typů, zvláště potom vzhledem k venkovnímu parkovišti. Je to dáno vysokým zatížením, takže musí být použity odolné výztuže a materiály s velkou nosností. Výstavba parkovacího domu je proto také finančně náročnější, výhody jsou však nesporné. Setkáte se s nimi nejen u obchodních center, ale také v centrech měst, kde řeší problém s nedostatečnými parkovacími kapacitami.

Zatím v hodnocení vlivu venkovních parkovišť nenacházíme argumentaci s ohledem na městské klima, zvláště tepelný ostrov města či průmyslových oblastí a obchodních center. Jak již bylo uvedeno v metodické části, plocha parkovišť je umělým povrchem, nejčastěji je to tzv. asfaltový beton či asfaltobeton. Jde o druh betonu, který je složen z asfaltu, který tvoří pojivo kameniny, takže nejsou volné prostory kolem částic kameniva. Povrch je kompaktní, a tím pádem nenasává při

srážkách vodu, ta po povrchu odtéká. Tímto jevem je v rámci hodnocení energetické bilance vyloučena evaporace či evapotranspirace, tedy latentní tok tepla.

Městské klima je dáno fyzikálními vlastnostmi umělých povrchů, které se vyznačují většinou nižším albedem, vyšší hustotou, tepelnou kapacitou i tepelnou vodivostí. Z vlastností povrchů je pro utváření městského klimatu důležité především albedo, které je pro zastavěné oblasti v průměru o 10–15 % nižší než albedo přirozených povrchů. To značí, že větší část dopadajícího slunečního záření je umělými povrchy ve městě absorbována, takže se ohřívají více než porosty přirozené, např. travní. Hodnoty albeda (%) pro vybrané druhy povrchů jsou v Tab. 1.

Tab. 1. Porovnání typických hodnot albeda (α) a emisivity (ϵ) pro vybrané typické druhy urbánních a přirozených povrchů [3]

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

Jsou zde též uvedeny hodnoty emisivity, tedy koeficienty vyzařování. Jde o bezrozměrné číslo, které vyjadřuje schopnost povrchu emitovat dlouhovlnné záření a je důležitou vlastností pro odhad tzv. povrchové teploty z termálních snímků.

Porovnání vybraných tepelných vlastností typického povrchu urbanizovaných oblastí (asfaltu) a typického přirozeného povrchu (půdy) vidíme v Tab. 2. Tepelná difuzivita charakterizuje schopnost látky vyrovnávat rozdílné teploty při šíření tepla a tepelná jímavost potom schopnost prostupu tepla látkou. Obě charakteristiky nabývají u typických povrchů v zástavbě zhruba dvakrát větších hodnot než povrchy přirozené. Rozdílné tepelné vlastnosti se významně uplatňují při akumulaci tepla v období pozitivní energetické bilance a při jeho uvolňování v období negativní energetické bilance.

Tab. 2 Porovnání vybraných tepelných vlastností typického povrchu urbanizovaných oblastí a typického přirozeného povrchu [3]

Materiál	Hustota ρ [kg m ⁻³]		Tepelná kapacita C [J m ⁻³ K ⁻¹]	Tepelná vodivost λ [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Tepelná difuzivita a [m ² s ⁻¹]	Tepelná jímavost μ [J s ^{-1/2} m ⁻² K ⁻¹]
asfalt	2100		2,0 10 ⁶	0,75	0,4 10 ⁶	1200
jílovitá půda	1 600		1,4 10 ⁶	0,25	0,2 10 ⁶	600
Poměr asfalt/jílovitá půda	1,3		1,4	3,0	2,0	2,0

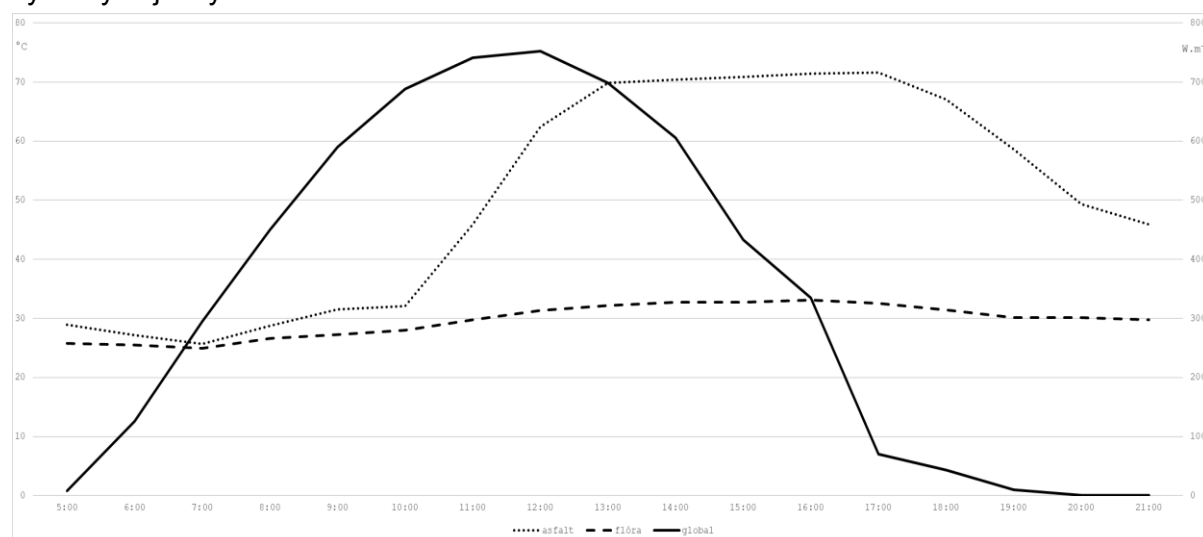
Snaha snížit výskyt tepelného ostrova ve městech znamená věnovat pozornost zákonitostem radiační bilance. Povrchové teploty parkoviště se liší v průběhu dne. Dopady na městské klima vyniknou při srovnání s průběhem teploty travního povrchu, viz Obr. 1.

Příklad rozdílů teploty povrchů měřené termometrem vidíme názorně na Obr. 1, kde jsou vyjádřeny průběhy hodnot globálního záření (W.m⁻²), teploty povrchu asfaltu a travnatého pásu (oba v °C) za jasného dne 14. 8. 2024 mezi 5:00 až 21:00 s maximem teploty vzduchu přes 30 °C. Plná čára vyjadřuje průběh globálního záření, které kulminuje hodnotou 751,8 W.m⁻². Průběh povrchové teploty asfaltu (čára

tečkovaná) dokládá postupné prohřívání, takže jeho teplota od páté h roste postupně a prudce se zvyšuje mezi desátou až třináctou h, a to takřka o 40 °C. Přes pokles globálního záření se teplota povrchu asfaltu udržuje přes 70 °C až do krátce po sedmnácté h. Přitom následný pokles je daleko pozvolnější, než byl dopolední vzestup, když ve dvacet jedna hodin byla teplota povrchu skoro 46 °C. Pokud jde o teplotu travnatého pásu (čerchovaná čára), tak vidíme výrazný rozdíl oproti povrchu asfaltu. Nejnižší teplota je v sedm h, a to 24,9 °C, maxima dosahuje v sedmáct h hodnotou 32,5 °C, a do jednadvacáté h je jen velmi pozvolný pokles na hodnotu 29,8 °C. Teplotní amplituda je velmi malá, ani ne 3 °C.

Z uvedených údajů, které reprezentují průběhy v tropických dnech, sice nelze vynášet jednoznačné závěry, protože travnatý pás vzhledem ke své šířce 1 m je významně ovlivňován celkovým tepelnými poměry. Ale naopak i tato dílčí část travního porostu v rámci venkovního parkoviště dokládá významný vliv na teplotní poměry, tedy význam zelených pásů v rámci venkovního parkoviště. Další vliv mají stromy, vysazené do těchto zelených pásů. Svým stínem významně snižují teplotu povrchu asfaltu. Zastíněná místa měla v době kulminace teplotu povrchu asfaltu o více jak 20 °C nižší, pokud koruny vytvářely stín o šířce 2,5 m a více. Snížení teploty je dáno velikostí koruny, která vytváří zastínění.

Obr. 1 Průběh hodinových teplot povrchu trávy a parkoviště (asfaltový beton) v Brně za vybraných jasných dnů v červenci 2022.



Uvedený příklad rozdílných teplot povrchů je dán podmínkami jasného dne, kdy není dopad slunečního záření významně ovlivňován oblačností. Rozdíl teplot jednotlivých povrchů je dán jejich rozdílnými vlastnostmi, zvláště albedem. Tímto je určen rozsah radiační bilance. Stručně řečeno, rovnice radiační bilance nám říká, že celkové množství vyzářené energie povrchem tělesa je funkcí teploty povrchu a emisivity tohoto povrchu. Protože je povrch parkoviště významnou část dne o mnoho 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 povrchů v době ranního minima sobě blíží.

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. Množství energie pro výpar vody obecně vyjadřujeme jejím skupenským teplem výparným (L). Pro vodu

o teplotě 0 °C činí $L_0 = 2\,500 \text{ J.g}^{-1}$, při jiné teplotě vody se vypočte ze vztahu $L_t = 2500 - 2,5 \cdot t \text{ (J.g}^{-1})$. Právě vzhledem k tomu, že povrch asfaltu není evapotranspirací ochlazován, průběh teplotních křivek obou povrchů se desátou hodinou začíná významně lišit.

Ze srovnání obou křivek vyplývá, že i u travního povrchu je maximum později než kulminace Slunce, v podstatě ve stejném čase jako u asfaltu. Zde je nutné uvést, že vysoká teplota povrchu asfaltu znamená, že jsou také vysoké hodnoty vyzařování, a tím následně vysoké teploty vzduchu nad povrchem venkovního parkoviště. Takto dochází k výstupným proudům vzduchu, protože s rostoucí teplotou se snižuje hustota vzduchu, takže je lehčí. Dochází tak k dílčí cirkulaci, kdy na plochu parkoviště proudí chladnější vzduch z okolí, který je následně ohříván. S vysokou teplotou souvisí změny hodnot dalších meteorologických prvků, zvláště vlhkost vzduchu, kdy hodnoty relativní vlhkosti vzduchu významně klesají, zvyšuje se potenciální evapotranspirace, takže pokud je na parkovišti a kolem něho zeleň, vyžaduje častější zalévání.

4. Závěry

Uvedené výsledky teplotních poměrů asfaltového povrchu venkovního parkoviště a povrchu travního porostu zelených pásů v ploše parkoviště, včetně vlivu stromů z našeho pohledu jednoznačně dokládají potřebu členit parkoviště zelenými pásy a mít na parkovištích stromy. Máme-li opravdu dosáhnout snížení výskytů tepelného ostrova měst a zlepšení městského klimatu hlavně z hlediska teplotních maxim, musíme uvedené výsledky aplikovat do praxe.

Naše výsledky o povrchových teplotách jednoznačně dokládají, že venkovní parkoviště oprávněně řadíme k největším zdrojům tepla ve městech. Zde je třeba připomenout, že k vysokým teplotám na parkovištích přispívají zaparkované automobily, které mají též vysoké teploty kapot, zvláště barvy černé. Dále jejich vnitřní prostory se ohřívají v maximech též až přes 70 °C.

Uvedené analýzy hodnot a dynamiky povrchových teplot asfaltu a travního porostu jednoznačně potvrzují, že bychom neměli ve městech dále budovat venkovní parkoviště, ale přejít na výstavbu parkovacích domů a stávající venkovní parkoviště postupně na parkovací domy přebudovat. Jistě, že tato doporučení představují vysoké finanční náklady, takže je bude možné provádět postupně.

Proto by u současných venkovních parkovišť měly být provedeny úpravy tak, aby mezi řadami zaparkovaných automobilů byly vybudovány zelené pásy se stromy. Tyto snižují vysoké teploty svým stínem, proto by to měly být stromy pouze se širokou korunou. Vzhledem k současným trendům v energetice, je třeba zvážit stínění venkovních parkovišť fotovoltaickými panely.

Analýzovali jsme výsledky z parkovišť s asfaltovým povrchem. Je otázkou, zda jsou možnosti změnit povrch parkovišť, tedy použít jiné materiály s vhodnějšími fyzikálními vlastnostmi, dominantně s vyšším albedem, ale také s propustným povrchem pro vodu. Tím by bylo dosaženo vypařování z povrchu, a tím jeho ochlazování, ale také snížení potřeby závlah zelených ploch. Současně by došlo k omezení odtoku vody z městského prostředí.

S ohledem na fyzikální podstatu specifik městského klimatu a výskytu tepelného ostrova je též nutné zdůraznit, že jde o samostatný proces, který není vyvolán tolik diskutovanou změnou klimatu, kde jde o proces vlivem rostoucí koncentrace skleníkových plynů. Jistě, že i tento proces se promítá do městského klimatu, jde tedy o synergický vliv.

Uvedené poznatky jsou dalším dokladem pro změny v územních plánech měst. Již bylo uvedeno, že je řešením zvýšení ploch zeleně ve městech. Vysoké teploty

vzduchu ohrožují zdraví obyvatel měst. Proto by neměl mít přednost ekonomický pohled, ale péče o zdravé podmínky pro obyvatele. Zde se se současnou praxí střetávají postupy mitigační a adaptační. Ty mitigační jsou určitě nejvhodnějším řešením.

Literatura

- [1] BERANOVÁ, R., HUTH, R. (2003): Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. Meteorologické zprávy, č. 5, s. 137 - 142
- [2] CAO, C., LEE, X., LIU, S., SCHULTZ, N., XIAO, W., ZHANG, M. AND ZHAO, L., 2016. Urban heat islands in China enhanced by haze pollution. *Nature communications*, 7(1), pp. 1-7.
- [3] 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, *Klima Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu*. Brno: Masarykova univerzita, 200 s. ISBN 978-80-210-6029-6.
- [4] HINKEL, K. M. et al. (2003): The urban heat island in winter at Barrow, Alaska. *Int. Journal of Climatology*, 23, s. 1889-1905
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ (1958): Atlas podnebí Československé republiky. Ústřední správa geodézie a kartografie, Praha.
- [6] KOPEC, R. J. (1970): Further observations of the urban heat island in a small city. *Bulletin American meteorological Society*, Vol. 51, No. 7, s. 602-606
- [7] LI, H., SODOUDI, S., LIU, J., TAO, W., 2020. Temporal variation of urban aerosol pollution island and its relationship with urban heat island. *Atmospheric Research*, 241.
- [8] LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J., 2009. The incidence of heat index levels in urban areas of Brno. In: Sustainable development and bioclimate: Reviewed Conference Proceedings, Eds. Pribullová and Bičarová. Geophysical Institute of the Slovak Academy of Science and Slovak Bioclimatological Society of the Slovak Academy of Science, Stará Lesná, pp. 205–206. ISBN 978-80900450-1-9.
- [9] METEOROLOGICKÝ slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS, dostupný na: <http://slovník.cmes.cz>
- [10] OKE, T.R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7, 769-779.
- [11] PETROVIČ, Š., 1979. Klíma a bioklíma Bratislavy. VEDA, Bratislava, 272 s.
- [12] Podnebí ČSSR - Tabulky (1961). HMÚ Praha.
- [13] 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
- [14] TOLASZ R. et al. (2007). Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci.

Poděkování

Tato práce vznikla jako součást řešení projektu TA ČR „Omezení negativních dopadů meteorologických extrémů (teploty, větru a srážek) na veřejné zdraví a životní prostředí ve velkých aglomeracích“ č. SS07020449.

Temperature conditions of parking lots

Jaroslav Rožnovský

Czech hydrometeorological institute

Kroftova 43, 616 67 Brno, Czech Republic

e-mail: jaroslav.roznovsky@chmi.cz

Abstract

Temperature conditions of parking lots Traffic in cities also requires parking of motor vehicles. Reserved areas are parking lots, of which the so-called outdoor parking lots represent construction areas that significantly affect the radiation balance of the city. Due to the temperatures of their surfaces, they contribute to the occurrence of the heat island of cities. The ever-increasing number of motor vehicles subsequently causes an increase in the need for parking lots. At the same time, their surface consists mainly of asphalt concrete with a low albedo value, i.e. with a low reflection of solar radiation. This means that on clear days, shortly after the culmination of the Sun, the surface temperatures of parking lots reach over 70 °C. Under the same conditions, the surface of the grass is only around 33 °C. In order to reduce the negative effects of the heat island, it is necessary not only to allow the further construction of outdoor parking lots, but also to replace the existing ones with parking garages.

Zkušenosti se zpracováním dokumentace k prověřování z hlediska klimatického dopadu projektů dopravní infrastruktury

Jiří Jedlička, Hana Trávníčková, Richard Fleischer, Petr Klimeš, Martin Vokřál

ASITIS s.r.o.

Vážného 10, 621 00, Brno

e-mail:travnickova@asitis.cz

Abstrakt

Představte si, že bydlíte v malebné obci, kterou ale neustále projíždějí osobní vozidla i těžká nákladní doprava. Nejenže je to hlučné a obtěžující, ale také to zvyšuje riziko dopravních nehod. Hustá doprava narušuje klid a bezpečnost obce, což je většinou pro obec impulsem v hledání řešení. Když se dnes mluví o výstavbě silnic a jiných dopravních staveb, nejde jen o to, aby byly funkční a bezpečné. Moderní projekty musí také myslet na to, jak ovlivní naši planetu a jak samy budou schopny čelit změnám, které přináší změna klimatu. Nejen z tohoto důvodu se při plánování projektů vyžaduje i komplexní prověřování dopravní infrastruktury z hlediska klimatického dopadu. Cílem tohoto prověřování je zjistit, zda nový obchvat nebo obecně infrastruktura nebude zranitelná vůči dlouhodobým změnám klimatu, jako jsou například extrémní povětrnostní podmínky a zvyšující se teplota. Důkladně se také zkoumá produkce skleníkových plynů, které vzniknout při jejich výstavbě a provozu. Díky tomuto komplexnímu prověřování má následně zadavatel jistotu, že plánovaná infrastruktura nejen zlepší dopravu a životní prostředí, ale také bude odolná vůči změnám klimatu a nebude negativně přispívat k jejich prohlubování.

1. Východiska a rámec

Prověřování z hlediska klimatického dopadu je proces, který do vývoje projektů infrastruktury začleňuje opatření pro zmírňování změny klimatu a pro přizpůsobení se této změně. Proces je rozdělen do dvou pilířů (zmírňování, přizpůsobení) a dvou fází (prověření, podrobná analýza). Podrobná analýza závisí na výsledku prověřovací fáze. Z hlediska funkce posouzení vycházejí Technické pokyny:

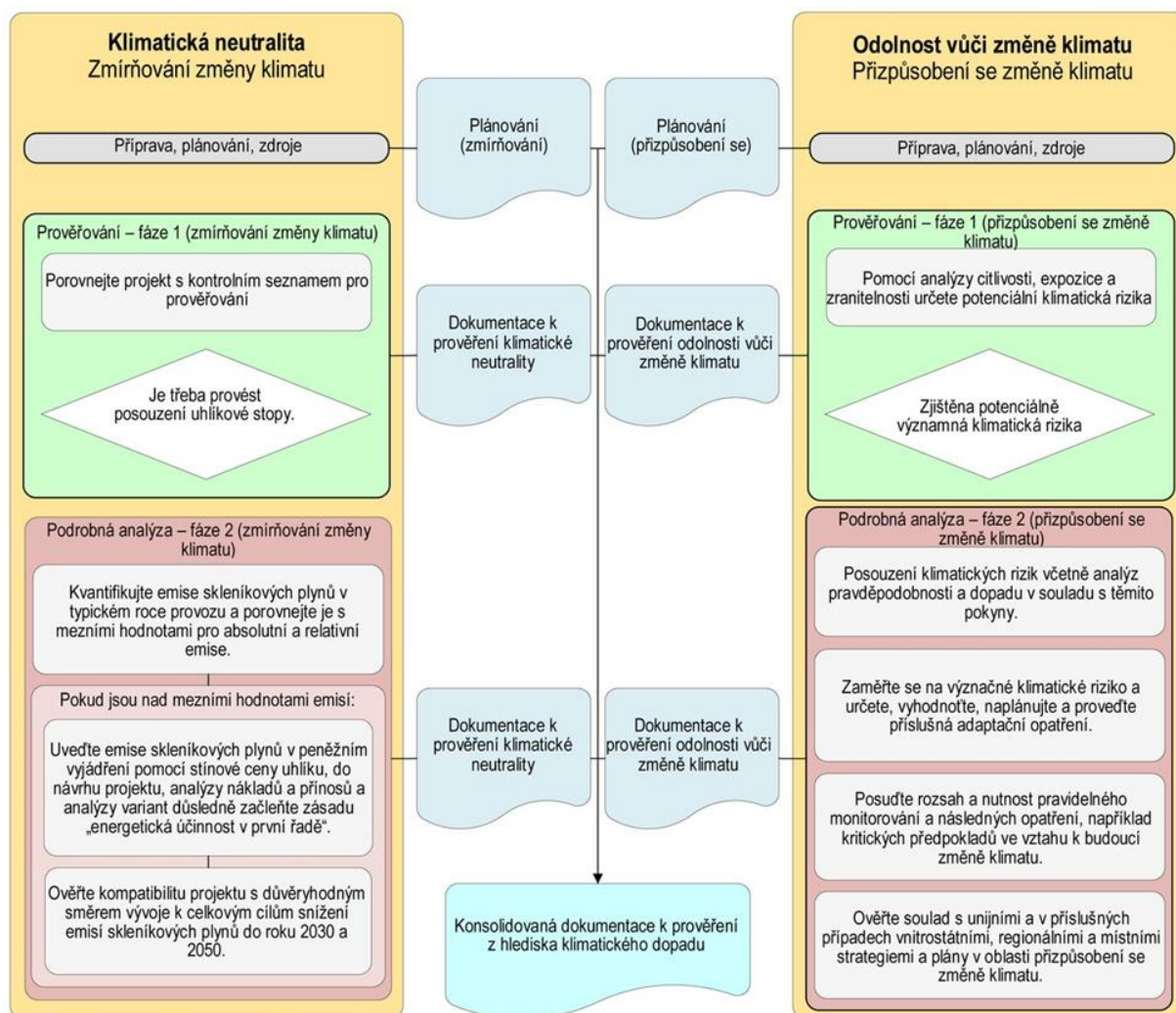
- a) **ze zásady „energetické účinnosti v první řadě“** (Energy Efficiency First), která je definována v čl. 2 bodě 18 nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1999; a
- b) **ze zásady „významně nepoškozovat“** (Do No Significant Harm), která se odvíjí od přístupu EU k udržitelnému financování a je zakotvena v nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/852 (nařízení o taxonomii). Tyto pokyny řeší dva z environmentálních cílů uvedených v článku 9 nařízení o taxonomii, tedy zmírňování změny klimatu a přizpůsobování se této změně.

Cílem dokumentace k prověřování je posoudit, zda tato infrastruktura/výstupy projektu nejsou zranitelné z hlediska potenciálních dlouhodobých důsledků změny klimatu, posoudit úroveň emisí skleníkových plynů, které při projektu vzniknou a prověřit, zda infrastruktura/výstupy z projektu jsou v souladu s cílem dosažení klimatické neutrality do roku 2050 a rozvojem odolným vůči změně klimatu.

Proces prověřování z hlediska klimatického dopadu se dělí do dvou fází. Ve fázi 1 probíhá proces prověřování a ve fázi 2 podrobná analýza rizik, dle postupu stanoveného Technickými pokyny.

Proces prověřování z hlediska klimatického dopadu se dělí do dvou pilířů, mitigace a adaptace. Ve Fázi 1 probíhá prověřování, a podrobná analýza (Fáze 2) se provádí až na základě výsledku Fáze 1.

Obr. 1. Přehled součástí dokumentace k prověřování z hlediska klimatického dopadu



Zdroj [9]

1.2. Mezinárodní a nadnárodní legislativa a strategické dokumenty

Pařížská dohoda byla přijata smluvními stranami Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu (Úmluva) v prosinci 2015. Dohoda provádí ustanovení Úmluvy a po roce 2020 nahradila předtím platný Kjótský protokol. Dohoda mimo jiné stanovila dlouhodobý cíl ochrany klimatu, jímž je přispět k udržení nárůstu průměrné globální teploty výrazně pod hranicí 2 °C v porovnání s obdobím před průmyslovou revolucí a usilovat o to, aby nárůst teploty nepřekročil hranici 1,5 °C, a přináší významnou změnu, pokud jde o závazky snižování emisí skleníkových plynů. Dohoda totiž ukládá nejen rozvinutým, ale i rozvojovým státům, povinnost stanovit si vnitrostátní redukční příspěvky k dosažení cíle Dohody.

Strategie EU pro přizpůsobení se změně klimatu, která stanoví opatření ke zlepšení odolnosti Evropy vůči změně klimatu. Ukládá cíl zvýšit připravenost a kapacitu pro reakci na dopady změny klimatu na místní, regionální, vnitrostátní úrovni a úrovni EU. Klade důraz na soudržný přístup a společnou koordinaci činností. Strategie obsahuje 3 hlavní cíle:

- Zvýšit odolnost členských států EU, jejich regionálních uskupení, regionů a měst;
- Zlepšit informovanost pro rozhodování o problematice adaptace na změnu klimatu;
- Zvýšit odolnost klíčových zranitelných sektorů vůči negativním dopadům změny klimatu.

V rámci *Zelené dohody pro Evropu* (Green Deal) si EU prostřednictvím Evropského právního rámce pro klima (nařízení EU č. 2021/1119) stanovila závazný cíl dosáhnout do roku 2050 klimatické neutrality. K tomu je zapotřebí, aby se stávající úrovně emisí skleníkových plynů v příštích desetiletích výrazně snížily. Jako dílčí krok směrem ke klimatické neutralitě EU zvýšila své ambice v oblasti klimatu do roku 2030 a zavázala se snížit emise do roku 2030 alespoň o 55 %. Tyto cíle jsou pro členské státy právně závazné.

Balíček *Fit for 55 – Plán EU* na ekologickou transformaci je posledním souborem návrhů na revizi a aktualizaci právních předpisů EU a na zavedení nových iniciativ, který má zajistit, aby byly politiky EU v souladu s klimatickými cíli dohodnutými Radou a Evropským parlamentem. Název „Fit for 55“ odkazuje na nově nastavený cíl EU snížit do roku 2030 čisté emise skleníkových plynů alespoň o 55 %. Balíček klade důraz také na sociální spravedlnost při transformaci společnosti. Dále na zachování konkurenceschopnosti EU a podpoření její vůdčí pozice v oblasti boje proti změně klimatu.

Z výše uvedených dokumentů a komplexního právního rámce EU pro klima pak vyplývají konkrétní postupy, které musí investor dodržet a doložit jejich plnění.

Technické pokyny jsou klíčovým dokumentem pro předkládanou dokumentaci k prověřování z hlediska klimatického dopadu infrastruktury, jsou obsahem platného SDĚLENÍ KOMISE uveřejněném 16.9.2021 v Úředním věstníku Evropské unie č. 2021/C 373/01. Jde o sdělení, jehož účelem je poskytnout technické pokyny k prověřování investic do infrastruktury z hlediska klimatického dopadu v novém programovém období 2021-2027.

- Tyto pokyny k prověřování infrastruktury z hlediska klimatického dopadu jsou součástí pokynů k udržitelnosti.
- Pokyny Komise k prověřování infrastruktury z hlediska klimatického dopadu, v relevantních případech soudržné s pokyny vypracovanými pro jiné programy Unie, jsou předpokládány také podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2021/1153 (nařízení o Nástroji pro propojení Evropy (CEF)) [7]

Tyto pokyny jsou považovány za relevantní referenční dokument pro posuzování klimatické odolnosti infrastruktury podle čl. 2 bodu 37 a čl. 67 odst. 3 písm. j) nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2021/1060 (nařízení o společných ustanoveních) [6], jakož i podle Nástroje pro oživení a odolnost. [8]

1.2. Národní legislativa a strategické dokumenty

Národní legislativa a strategické dokumenty nejvyšší úrovně, které výše uvedené cíle přebírají a mají za úkol zajistit jejich výkon, jsou:

Strategie přizpůsobování se změně klimatu v podmínkách ČR (2015, Aktualizace z roku 2021) - představuje národní adaptační strategii a je v souladu s Adaptační strategií EU. První aktualizace strategie pro období 2021–2030 byla schválena usnesením vlády č. 785 ze dne 13. září 2021, předchozí verze byla schválena v říjnu 2015. Jejím implementačním dokumentem je Národní akční plán adaptace na změnu klimatu. Tento dokument stanovuje následující hlavní cíl:

Zýšit připravenost České republiky na změnu klimatu – snížit zranitelnost a zvýšit resilienci lidské společnosti a ekosystémů vůči změně klimatu a omezit tak její negativní dopady.

Politika ochrany klimatu v České republice - definuje hlavní cíle a opatření v oblasti ochrany klimatu na národní úrovni tak, aby zajišťovala splnění cílů snižování emisí skleníkových plynů v návaznosti na povinnosti vyplývající z mezinárodních dohod (Rámcová úmluva OSN o změně klimatu a její Kjótský protokol, Pařížská dohoda a závazky vyplývající z legislativy Evropské unie). Tato strategie v oblasti ochrany klimatu se zaměřuje na období 2017 až 2030, s výhledem do roku 2050, a měla by tak přispět k dlouhodobému přechodu na udržitelné nízko-emisní hospodářství ČR. Aktualizace Politiky ochrany klimatu v ČR je v návaznosti na přezkum závazků v rámci Pařížské dohody naplánována do konce roku 2023.

Cíl pro rok 2020, odpovídající snížení emisí o 20 % oproti roku 2005, se s největší pravděpodobností podařilo naplnit. Cíle Politiky ochrany klimatu pro rok 2030 (snížení o 30 % oproti roku 2005) je možné dle aktuálních scénářů dosáhnout jen při naplnění scénáře s dodatečnými opatřeními.

Politika ochrany klimatu obsahuje celkem 41 opatření, od průřezových témat a politik, přes opatření v jednotlivých sektorech až po výzkum a vývoj, monitorování a opatření v oblasti mezinárodní ochrany klimatu a rozvojové spolupráce.

Dopravní politika České republiky pro období 2021–2027 s výhledem do roku 2050 – jejím hlavním cílem je zajistit rozvoj kvalitní, funkční a spolehlivé dopravní soustavy postavené na využití technicko-ekonomicko-technologických vlastností jednotlivých druhů dopravy, na principech hospodářské soutěže s ohledem na její ekonomické a sociální vlivy a dopady na obyvatelstvo (sociální koheze, veřejné zdraví, životní úroveň) a všechny složky životního prostředí, na principu udržitelného využívání přírodních zdrojů.

Dopravní politika se věnuje také problematice změn klimatu. Vyplývá z ní, že změny klimatu budou mít vliv na dopravu, ale neočekávají se změny dramatické. Vzhledem k významu dopravy ve společnosti bude tomuto tématu věnována náležitá pozornost. Jsou zde navržena tato opatření:

- 1.3.6.1 - Zajistit vyšší průchodnost, bezpečnost a operativnost dopravní sítě (nutná realizace i bez ohledu na očekávané změny klimatu).
- 1.3.6.2 - Zohlednit rizika dopadu extrémních klimatických jevů při ochraně stávající a nové dopravní infrastruktury včetně zajištění bezpečnosti a základní mobility v průběhu extrémních klimatických jevů.

Především k druhému z výše uvedených opatření směřuje tato Dokumentace k prověřování z hlediska klimatického dopadu.

2. Proces prověřování z hlediska klimatického dopadu

Příloha C Technických pokynů – „Prověřování z hlediska klimatického dopadu a řízení projektového cyklu“ popisuje postup prověřování a řízení ve třech dílčích kapitolách:

- C.1. - Společné fáze projektového cyklu a činnosti při rozvoji projektu
- C.2. - Fáze strategie/plánu a předkladatel projektu
- C.3. - Příklady problematiky prověřování z hlediska klimatického dopadu v jednotlivých fázích projektového cyklu

Řízení projektového cyklu je proces efektivního a účelného plánování, organizování, koordinace a kontroly projektu v průběhu všech jeho fází, od plánování přes realizaci a provoz až po vyřazení z provozu. Prověřování z hlediska klimatického dopadu by mělo být začleněno do cyklu rozvoje projektu od samého počátku, tj. do všech příslušných fází a souvisejících procesů a analýz. Tím je zajištěno, aby bylo možné do projektu optimálně začlenit odpovídající opatření ke zvýšení klimatické odolnosti a zmírnění dopadů. V následujícím grafu je uveden zjednodušený a ilustrativní přehled fází projektového cyklu a společných činností při rozvoji projektu.

Obr. 2: Přehled fází projektového cyklu a činností při rozvoji projektu.



Pokud mohou studie proveditelnosti* zahrnovat různé druhy analýzy, např. analýzy poptávky, finanční, ekonomické, variant a nákladů a přínosů. Graf je pouze ilustrativní, do určité míry je možné načasování některých činností v průběhu projektového cyklu přizpůsobit. Zkratky: SEA = strategické posuzování vlivů na životní prostředí; EIA = posuzování vlivů na životní prostředí.

Zdroj [9]

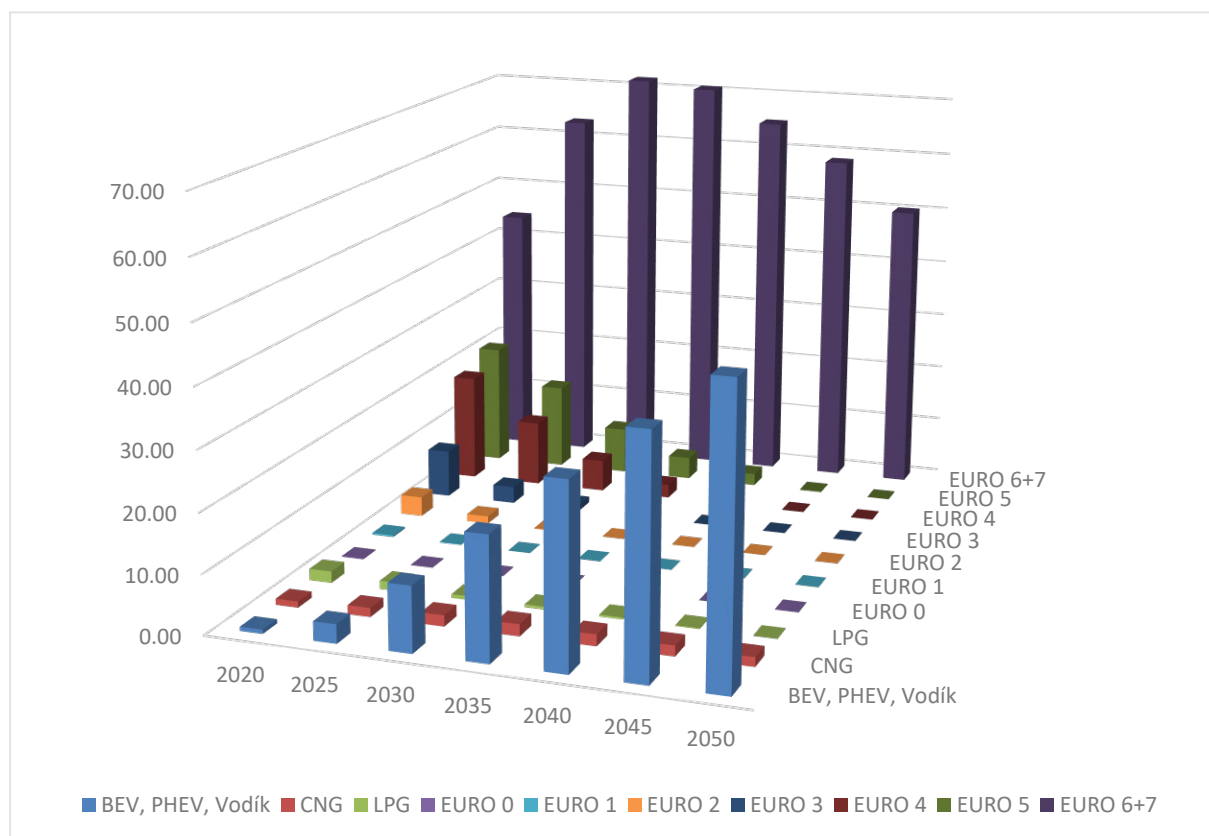
2.1. Zmírňování změny klimatu

Na úrovni ČR řeší snižování produkce emisí *Dopravní politika ČR* (pro období 2021–2027, s výhledem do roku 2050) a *Národní akční plán čisté mobility*, který přijala vláda ČR 20. listopadu 2015 za účelem splnění cílů stanovených směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU. Uvedené strategické dokumenty počítají s postupným navyšováním podílu alternativních pohonů a paliv v silniční dopravě. Celková obnova vozového parku zahrnující zvýšení podílu vozidel na elektrický, plynový, vodíkový nebo jiný alternativní pohon povede výhledově ke změně skladby vozidel používajících silnice a dálnice. Posílení zastoupení nízkoemisních způsobů dopravy, tedy čisté mobility, povede ve výsledku k žádoucímu snižování emisí z dopravy, zlepšení kvality ovzduší a snížení dopadů silniční dopravy na klima.

Množství emisí znečišťujících látek, které jsou produkovány automobilovou dopravou, je zásadně ovlivněno skladbou vozidlového parku, tj. procentuálním

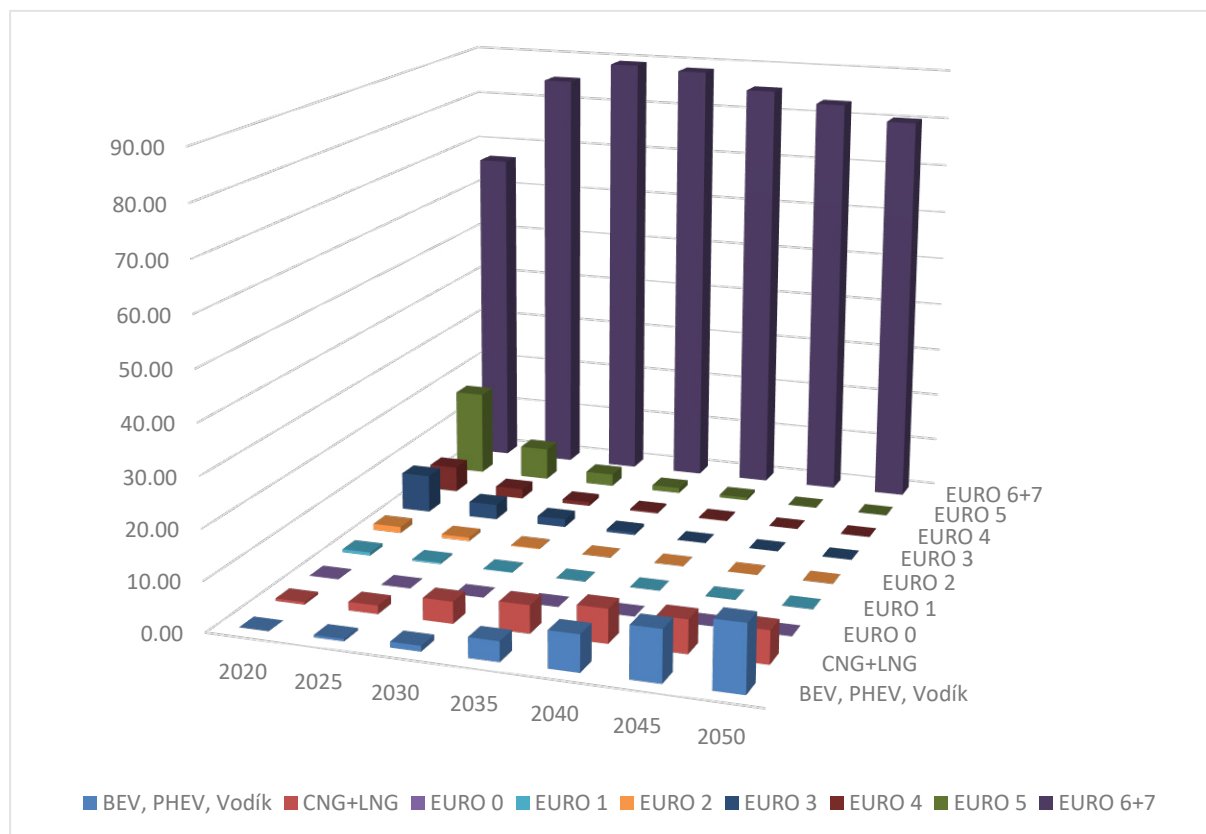
zastoupením vozidel podle jejich emisních charakteristik. Za účelem aktualizace údajů týkajících se skladby vozového parku ŘSD ČR pravidelně zajišťuje zpracování aktuálních dat v této oblasti. Aktuální studie *Zjištění aktuální dynamické skladby vozidlového parku, Prognóza skladby vozidlového parku do roku 2050* byla zpracována v roce 2021. Předmětem studie bylo zpracování dynamické skladby vozového parku na území České republiky v roce 2021 a zpracování prognózy očekávaného vývoje skladby vozidel do roku 2050. [12] Výsledky prognózy v pětiletých intervalech do roku 2050 v grafickém vyjádření jsou uvedeny níže.

Obr. 3: Prognóza vývoje skladby vozového parku – osobní automobily (podíl v %)



Zdroj [12]

Obr. 6: Prognóza vývoje skladby vozového parku – nákladní automobily (podíl v %)



Zdroj [12]

Z výsledků je patrný trend postupné proměny vozového parku s tím, že předpokládaný podíl vozidel s alternativními pohony v roce 2050 v případě osobních vozidel je cca 50 % a cca 13 % v případě nákladních vozidel.

Zmírňování změny klimatu zahrnuje dekarbonizaci, energetickou účinnost, úspory energie a zavedení obnovitelných forem energie. Zahrnuje opatření ke snížení emisí skleníkových plynů nebo zvýšení sekvence skleníkových plynů a řídí se podle politiky EU pro cíle snižování emisí do roku 2030 a 2050. V tomto bodě se jednotlivé infrastrukturní návrhy projektů dále řídí specifickými pravidly, kdy se rozhodne, zda bude projekt dále prověřován v pilíři Zmírňování změny klimatu Fází 2 – Podrobná analýza (posouzení uhlíkové stopy, peněžní vyjádření uhlíkové stopy, analýza nákladů a přínosů). Pokud z výpočtu uhlíkové stopy vyplývá, že projekt má emise větší než 20 000 tun CO₂ ekv./rok. bude proveden výpočet emise skleníkových plynů v peněžním vyjádření pomocí stínové ceny uhlíku. Poté proběhne analýza nákladů a přínosů vyjadřující společenské hledisko, kdy je posouzeno, zda projekt má či nemá významný dopad na základní ekonomické ukazatele.

2.2. Přizpůsobení se změně klimatu

Ve *Fázi 1* prověřování v oblasti přizpůsobení se změně klimatu je vyhodnocena zranitelnost projektu v souvislosti s dopady změny klimatu. Analýza je rozdělena na tři kroky sestávající z analýzy citlivosti, posouzení současné a budoucí expozice a poté z kombinace těchto dvou kroků pro účely posouzení zranitelnosti. Cílem analýzy zranitelnosti je určit podstatná klimatická nebezpečí/rizika pro daný projekt jako základ pro určení vhodných adaptačních opatření. Zranitelnost projektu je kombinací dvou aspektů: toho, jak citlivé jsou složky projektu na klimatická nebezpečí obecně

(citlivost), a toho, jak pravděpodobné je, že se tato nebezpečí vyskytnou v místě projektu nyní a v budoucnu (expozice).

Zranitelnost projektu je kombinací toho, jak citlivé jsou složky projektu na klimatická nebezpečí obecně (citlivost), a toho, jak pravděpodobné je, že se tato nebezpečí vyskytnou v místě projektu nyní a v budoucnu (expozice). Analýza expozice se zaměřuje na umístění projektu a analýza citlivosti se zaměřuje na typ projektu. Obecný popis rizik vyplývajících ze změny klimatu:

- *Teplotní extrémy a vlny horka* – stoupající teploty a počty tropických dní se nejvíce projevují v zastavěných územích měst (především v centrálních a průmyslových oblastech). Jedná se zejména o části zasažené problémem tzv. městského tepelného ostrova a místa s nedostatkem zeleně. Přehřívání má dopady na lidské zdraví (zvýšený výskyt srdečních a dýchacích obtíží), tepelný komfort v budovách, městské hromadné dopravě a na ulicích, způsobuje např. usychání vegetace, snižuje trvanlivost potravin nebo zvyšuje pravděpodobnost narušení silniční i kolejové dopravy. Vlny horka jsou období, ve kterých alespoň tři dny po sobě teplota vystoupá nad 30 °C.
- *Sucho* – s nárůstem teplot se zvyšuje riziko sucha, především v zemědělské krajině, zvyšování teplot vede k vyššímu odpařování vody z půdy i vegetace. Ohroženy jsou také oblasti, kde je významná část půdy zastavěná nepropustnými povrchy (asfalt, beton), kde nemá dešťová voda možnost se vsáknout.
- *Vydatné srážky* – způsobují největší škody v místech terénních depresí, místech nedostatečně odvodněných nebo na svazích s velkým sklonem. Častější výskyt extrémního množství srážek vede k vyššímu výskytu tzv. přívalových povodní.
- *Přívalové povodně* – vznikají v situaci, kdy v krátkém čase spadne na malé území velké množství srážek. V takovém případě není území schopné vodu zadržet a ta ve velkém množství teče místy, kde se trvalé vodní toky a koryta nevyskytují. V těchto situacích jsou nejvíce ohrožené domy, průmysl a infrastruktura pod strmými svahy.
- *Povodně* – přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a ohrožuje životy a majetek, devastuje životní prostředí a působí značné materiální škody. Povodeň je i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo je její odtok nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod. Povodeň může být způsobena přírodními jevy, zejména táním, dešťovými srážkami nebo chodem ledů (přirozená povodeň), nebo jinými vlivy, zejména poruchou vodního díla, která může vést až k jeho havárii (protržení) nebo nouzovým řešením kritické situace na vodním díle (zvláštní povodeň).
- *Sesuvy* – svahové nestability vznikají při porušení stability svahu působením gravitace a jejich důsledkem je svahový proces doprovázený pohybem hmot po svahu dolů. Jedná se o geodynamický proces přirozeně probíhající v přírodním prostředí, ale je často urychlován aktivitami člověka. Nejčastěji jsou podmíněny antropogenními zásahy do stability svahu, např. komunikačními zářezy, těžbou surovin nebo změnou vodního režimu. Pojem sesuv je pouze jednou z mnoha výsledných forem svahových pohybů. Spouštěcím mechanismem sesuvů jsou často extrémní srážkové úhrny a urychlené tání sněhové pokrývky. Významná je aktivace sesuvů po povodňových událostech, kdy se díky častějším a intenzivnějším povodním zvyšuje i riziko sesuvů půd, podpořené nedostatečným vegetačním pokryvem v rámci celého roku.

- *Silný vítr* – rychlost větru, respektive jeho síla se určuje přesným měřením jeho rychlosti nebo ve stupních tzv. Beaufortovy stupnice. Tato stupnice má celkem 12 stupňů, přičemž od 8. stupně (bouřlivý vítr) má vítr již ničivé účinky (láme větve stromů) a je definován rychlostí větru mezi 62 a 74 km/h. Vědecké modely vývoje změn v rychlosti větru nejsou v současné době natolik průkazné, aby se z nich dalo přesněji usuzovat, k jak velké změně bude docházet. Přesto panuje shoda, že bude docházet k častějším extrémním povětrnostním jevům (bouřky, vichřice, orkány).

Analýza citlivosti zjišťuje, jakým rizikům může daný typ projektu podléhat v různých fázích realizace.

Tab. 1: Analýza citlivosti - příklad

ANALÝZA CITLIVOSTI					
Téma		Klimatická nebezpečí a rizika			
		Zvyšování teplot, extrémně vysoké teploty	Povodně a přivalové povodně	Vydatné srážky	Extrémní vítr
Témata	Aktiva na místě (samotný záměr)	Střední	Střední	Nízká	Nízká
	Vstupy (energie pro provoz a údržbu infrastruktury)	Nízká	Střední	Nízká	Nízká
	Výstupy není relevantní				
	Dopravní spoje (silniční doprava)	Nízká	Střední	Nízká	Nízká
Nejvyšší skóre z výše uvedených		Střední	Střední	Nízká	Nízká

Zdroj: Vlastní zpracování dle metodiky [10, 11]

Škála pro hodnocení citlivosti je následující:

- vysoká citlivost – klimatické nebezpečí může mít významný dopad na aktiva a procesy, vstupy, výstupy a dopravní spoje,
- střední citlivost – klimatické nebezpečí může mít menší dopad na aktiva a procesy, vstupy, výstupy a dopravní spoje,
- nízká citlivost – klimatické nebezpečí nemá žádný (nebo má jen nevýznamný) dopad.

Cílem analýzy expozice oblasti je zjistit, v jaké míře a jakým meteorologickým jevům je zájmová oblast vystavena. Expozice je zde hodnocena ve vztahu konkrétního řešeného záměru k přítomnosti rizik v území, ať už v podmínkách současného nebo budoucího klimatu. Pro analýzu zranitelnosti se používá nejvyšší míra stanovená pro dané riziko.

Tab. 2: Analýza expozice - příklad

ANALÝZA EXPOZICE				
Období	Klimatická nebezpečí a rizika			
	Zvyšování teplot, extrémně vysoké teploty	Povodně a přívalové povodně	Vydatné srážky	Extrémní vítr
Současné klima	Nízká	Nízká	Nízká	Střední
Budoucí klima	Střední	Nízká	Nízká	Střední
Nejvyšší skóre současné + budoucí	Střední	Nízká	Nízká	Střední

Zdroj: Vlastní zpracování dle metodiky [10, 11]

Analýza zranitelnosti má za cíl zjistit, vůči kterým klimatickým jevům může být hodnocený záměr zranitelný. Analýza zranitelnosti vychází z analýzy citlivosti a z analýzy expozice.

Tab. 3: Analýza zranitelnosti - příklad

ANALÝZA ZRANITELNOSTI					
Citlivost / Expozice		Expozice (současné a budoucí klima)			Úroveň zranitelnosti – vysvětlivky
		Vysoká	Střední	Nízká	
Citlivost (nejvyšší z uvedených témat)	Vysoká				vysoká
	Střední		Zvyšování teplot, extrémně vysoké teploty	Povodně a přívalové povodně	střední
	Nízká		Extrémní vítr	Vydatné srážky	nízká

Zdroj: Vlastní zpracování dle metodiky [10, 11]

Pokud je v rámci analýzy zranitelnosti identifikováno u projektu střední nebo vysoké klimatické nebezpečí, pokračuje prověřování projektu v pilíři přizpůsobení se změně klimatu podrobnou analýzou rizik (fáze 2).

Fáze 2 – podrobná analýza rizik představuje strukturovanou metodu analyzování klimatických nebezpečí a jejich dopadů a poskytuje informace pro rozhodování. Tento proces probíhá tak, že se posuzuje pravděpodobnost a závažnost dopadů souvisejících s nebezpečími určenými při posouzení zranitelnosti a hodnotí se význam rizika pro úspěšnost projektu. Cílem je kvantifikovat význam rizik pro projekt za podmínek současného a budoucího klimatu. Podrobná analýza se skládá z těchto kroků:

- Analýza pravděpodobnosti
- Analýza dopadů
- Posouzení rizik

Tyto kroky tvoří základ pro určení, zhodnocení, výběr a provedení adaptačních opatření.

Analýza pravděpodobnosti - tato část posouzení rizik zkoumá, s jakou pravděpodobností se vyskytnou určená klimatická nebezpečí v daném časovém rámci, např. v průběhu životnosti projektu. Současně je třeba zvážit, jak se může pravděpodobnost klimatických rizik vyvíjet v čase.

Analýza dopadu - tato část posouzení rizik se zabývá důsledky, pokud dojde k určeným klimatickým nebezpečím. To by mělo být u každého nebezpečí posuzováno na stupnici dopadu. Označuje se to také jako závažnost nebo velikost. Důsledky se obvykle týkají hmotných aktiv a operací, zdraví a bezpečnosti, dopadů na životní prostředí, sociálních dopadů, dopadu na přístupnost pro osoby se zdravotním postižením, finančních dopadů a rizika poškození dobré pověsti. Někdy je nutné, aby posouzení zahrnovalo adaptační kapacitu systému, v němž projekt působí. Také může být vhodné zvážit, nakolik závažná je tato infrastruktura pro širší síť nebo systém (tj. kritičnost) a zda může vést k dalším širším dopadům a kaskádovým účinkům.

Po posouzení pravděpodobnosti a dopadu každého nebezpečí může být odhadnuta hladina významnosti každého potenciálního rizika zkombinováním těchto dvou faktorů. Rizika mohou být zanesena do matice rizik (v rámci celkového posouzení rizik projektu), aby tak byla zjištěna nejvýznamnější potenciální rizika a rizika, u nichž je třeba přijmout adaptační opatření.

Tab. 4: Posouzení rizik - příklad

ANALÝZA RIZIK								
Určená klimatická nebezpečí		Dopad (velikost)					Úroveň rizika:	
		Nevýznamný	Nízký	Střední	Významný	Katastrofický		
Pravděpodobnost (výskytu)	Vzácný						Nízká	
	Nepravděpodobný						Střední	
	Nevelký						Vysoká	
	Pravděpodobný		Zvyšování teplot, extrémně vysoké teploty				Extrémní	
	Téměř jistý						x	

Zdroj: Vlastní zpracování dle metodiky [10, 11]

3. Závěr

Problematika ochrany životního prostředí je s postupujícími klimatickými změnami stále více spojená s adaptací a mitigací klimatické změny. Evropská komise i jednotlivé členské státy EU, včetně České republiky, formulovaly nové požadavky na posouzení vlivů na životní prostředí u investičních projektů do infrastruktury. Tyto požadavky vychází z mezinárodních úmluv a jsou zhmotněny právními akty Evropské komise i vnitrostátními strategickými dokumenty nejvyšší úrovně.

V průběhu posledních 3 let naše společnost zpracovala více jak 80 dokumentací k prověřování z hlediska klimatického dopadu pro různé typy dopravní infrastruktury (silnice dálničního typu, silnice I., II. i III. třídy, chodníky, cyklostezky, mosty).

V průběhu posuzování oblasti *zmírňování změny klimatu* byla většina projektů ukončena ve Fázi 1., dálnice a obchvaty silnic I. a II. třídy byly většinou podrobeny i fázi 2. U posuzování v oblasti *přizpůsobení se změně klimatu* byla naopak u významné části projektů identifikována střední nebo vysoká úroveň zranitelnosti, což vedlo k hodnocení ve fázi 2. V těchto případech jsou navrhovány zmírňující opatření, která je nutné v průběhu realizace stavby a následného užívání dodržet.

Z průběhu zpracování těchto dokumentací v posledních 3 letech je zároveň možno konstatovat, že řada projektantů již při návrzích projektové dokumentace bere vlivy prostředí a klimatické změny v potaz. Zároveň i investoři se postupně naučili zahajovat zpracování dokumentace k prověřování z hlediska klimatického dopadu v době projektové přípravy, tak aby předešli případným následným dodělkám, či dokonce kompletnímu přepracování projektové dokumentace.

Z dosavadní praxe můžeme potvrdit opodstatněnost zpracování tohoto typu dokumentace, která především investorům, ale také uživatelům dopravní infrastruktury přinese benefity ve formě snížení dopadů na životní prostředí a také finanční úsporu v průběhu provozu a údržby příslušné infrastruktury.

Literatura

- [1] Ministerstvo životního prostředí (MŽP), 2017: Politika ochrany klimatu v České republice.
- [2] Ministerstvo životního prostředí (MŽP), 2022: Rámcová vodítka pro implementaci zásady „významně nepoškozovat“ životní prostředí (DNSH) a prověřování infrastruktury z hlediska klimatického dopadu v EU fondech v ČR
- [3] Ministerstvo životního prostředí (MŽP), 2021: Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR, 1. aktualizace pro období 2021–2030, Praha.
- [4] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1999 ze dne 11. prosince 2018 o správě energetické unie a opatření v oblasti klimatu (Úř. věst. L 328 21.12.2018), Brusel.
- [5] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/852 ze dne 18. června 2020 o zřízení rámce pro usnadnění udržitelných investic a o změně nařízení (EU) 2019/2088 (Úř. věst. L 198, 22.6.2020), Brusel.
- [6] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2021/1060 ze dne 24. června 2021 o společných ustanoveních pro Evropský fond pro regionální rozvoj, Evropský sociální fond plus, Fond soudržnosti, Fond pro spravedlivou transformaci a Evropský námořní, rybářský a akvakulturní fond a o finančních pravidlech pro tyto fondy a pro Azylový, migrační a integrační fond, Fond pro vnitřní bezpečnost a Nástroj pro finanční podporu správy hranic a vízové politiky (Úř. věst. L 231, 30.6.2021), Brusel.
- [7] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2021/1153 ze dne 7. července 2021, kterým se zřizuje Nástroj pro propojení Evropy (Úř. věst. L 249, 14.7.2021), Brusel.
- [8] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2021/241 ze dne 12. února 2021, kterým se zřizuje Nástroj pro oživení a odolnost (Úř. věst. L 57, 18.2.2021), Brusel.
- [9] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2021/1119 ze dne 30. června 2021, kterým se stanoví rámec pro dosažení klimatické neutrality a mění nařízení (ES) č. 401/2009 a nařízení (EU) 2018/1999 („evropský právní rámec pro klima“), PE/27/2021/REV/1 (Úř. věst. L 243, 9.7.2021), Brusel.
- [10] Sdělení Komise — Technické pokyny k prověřování infrastruktury z hlediska klimatického dopadu v období 2021–2027 (OJ C, C/373, 16.9.2021), Brusel
- [11] Sdělení Komise - Vytvoření Unie odolné vůči změně klimatu – nová strategie EU pro přizpůsobení se změně klimatu (COM(2021) 82 final, 24.2.2021), Brusel.
- [12] ATEM – Ateliér ekologických modelů, s. r. o.: Zjištění aktuální dynamické skladby vozidlového parku, Prognóza skladby vozidlového parku do roku 2050, Praha, 2021.

Experience with processing of documentation on the climate proofing of infrastructure with a focus on transport infrastructure

Jiří Jedlička, Hana Trávníčková, Richard Fleischer, Petr Klimeš, Martin Vokřál
ASITIS s.r.o.

Vážného 10, 621 00, Brno, Czech Republic

e-mail: travnickova@asitis.cz

Abstract

Imagine that you live in a picturesque village, but it is constantly passed by cars and heavy trucks. Not only is this noisy and annoying, but it also increases the risk of road accidents. Heavy traffic disturbs the comfort and safety of the village, which is usually an impulse for the municipality to find a solution. When we talk about the construction of roads and other transport projects today, it is not just about making them functional and safe. Modern projects must also think about how they will affect our planet and how they will protect the climate changes. This is not the only reason why the planned project requires a comprehensive review of the transport infrastructure in terms of climate impact. The aim of this screening is to determine whether the new bypass or infrastructure in general will be vulnerable to long-term climate changes, such as extreme weather conditions and rising temperatures. The production of greenhouse gases produced during its construction and operation is also thoroughly examined. Thanks to this comprehensive screening, the contracting authority can be sure that the planned infrastructure will not only improve transport and the environment but will also be resilient to climate change and will not negatively contribute to its extension.

Indikátor dynamiky fragmentace krajiny

Petr Anděl¹, Ivo Dostál², Zdeněk Hejkal²

¹Technická univerzita v Liberci, Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická,
Studentská. 1402/2, 461 17 Liberec

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

e-mail: petr.anděl@tul.cz

Abstrakt

Indikátor m_{eff} se stal evropským měřítkem pro výpočty zabývající se kvantifikací fragmentace krajiny dopravou. Z hlediska plánování a rozvoje dopravní infrastruktury má však jeden zásadní nedostatek: všechny bariéry hodnotí stejně jako zcela nepropustné, a proto nemůže zohlednit pozitivní vliv realizace migračních objektů (podjezdů a nadjezdů) na dálnicích a silnicích I. třídy, ani rozdílnou míru migrační propustnosti dvoupruhových komunikací v závislosti na intenzitě dopravy. Naprostá většina okrajů z geometrie fragmentace představuje bariéry, které sice omezují prostupnost krajiny pro volně žijící živočichy, ale nepředstavují absolutní bariéru, jak předpokládají stávající indikátory. Tento rozdíl je základem koncepce nově navrhovaného indikátoru nazvaného IDFK (indikátor dynamiky fragmentace krajiny), jehož inovací je zohlednění integrace jednotlivých pracovních polygonů vymezených fragmentační geometrií do větších prostorových celků, kde existuje alespoň částečná pravděpodobnost migrační konektivity mezi fragmentovanými dílčími prostory. Vyšší vypovídací schopnost nového ukazatele je však vyvážena složitostí samotného pracovního postupu, který vyžaduje zejména větší množství vstupních dat než stávající ukazatele. IDFK lze také použít jako základ pro výpočet regionálních rozdílů v míře fragmentace podle dopravy.

1. Úvod

Činnost člověka a s ní spojená fragmentace patří k nejvýznamnějším trendům ovlivňujícím dnešní evropskou krajinu [1]. Rozšiřování zástavby sídel i budování nové liniové dopravní a technické infrastruktury představují zásadní ohrožení volné krajiny navzdory nesporným krokům, které se v rámci managementu krajiny a jejího využívání povedlo v posledních letech provádět [2]. Bariérový efekt je považován za nejvýznamnější z pěti primárních ekologických efektů fragmentace krajiny dopravní infrastrukturou [3]. Je představován obtížně průchodnou, či úplně neprůchodnou, liniovou infrastrukturou, která krajinu parceluje na stále menší a menší plochy, což vede k snížení, či dokonce přímo ztrátě schopnosti poskytovat určité ekosystémové služby, zejména schopnost hostit populace určitých druhů. Negativně ovlivňuje dynamiku populací a může vést až k jejímu úplnému zániku. Nejvíce jsou z tohoto pohledu ohroženy takové druhy, jež mají vysoké nároky na zachovalé přírodní prostředí, velikost domovského okrsku a často jsou pro ně typické i migrační pohyby na velmi dlouhé vzdálenosti [4]. Ve střední Evropě patří mezi představitele této skupiny druhů zejména medvěd hnědý (*Ursus arctos*), vlk obecný (*Canis lupus*), rys ostrovid (*Lynx lynx*), jelen lesní (*Cervus elaphus*) a los evropský (*Alces alces*). Považujeme je za tzv. deštníkové druhy: budou-li zajištěny jejich požadavky na vhodné prostředí, lze tvrdit, že jsou s velkou pravděpodobností uspokojeny také druhy méně náročné [5]. Vedle svého stavebně-technického uspořádání (fyzická bariéra) může komunikace působit jako bariéra behaviorální, vyvolaná antropogenním rušením z provozu (hluk, světelné znečištění apod.)

Pro popis míry a analýzu vývoje antropogenní fragmentace krajiny se používá několik přístupů. Jeden z nich představují modely založené na výpočtu pravděpodobnosti, že dva body náhodně umístěné do prostoru se budou nacházet ve shodném polygonu vymezeném bariérami v území. Evropským etalonem pro tento druh výpočtů je indikátor m_{eff} [6]. Jde o hodnotu vyjadřující v km² průměrný stupeň fragmentace v řešené oblasti. Převádí se tak nestejnoměrná struktura krajiny na vypočtený průměr velikosti nefragmentovaného území ve tvaru čtverce a při zohlednění nejen velikosti všech podprostorů, ale také struktury fragmentace celé posuzované oblasti. Platí, že vyšší hodnota indikátoru znamená lepší stav z pohledu míry fragmentace.

Z hlediska plánování a rozvoje dopravní infrastruktury má tento výpočet však jeden zásadní nedostatek: všechny bariéry hodnotí stejně jako zcela nepropustné, a proto nemůže zohlednit pozitivní vliv realizace migračních objektů (podjezdů a nadjezdů) na dálnicích a silnicích I. třídy, ani rozdílnou míru migrační propustnosti dvoupruhových komunikací v závislosti na intenzitě dopravy. Překonání těchto metodických nedostatků je základním cílem návrhu nového indikátoru, jehož koncept je představen v následujícím textu.

2. Koncepte indikátoru

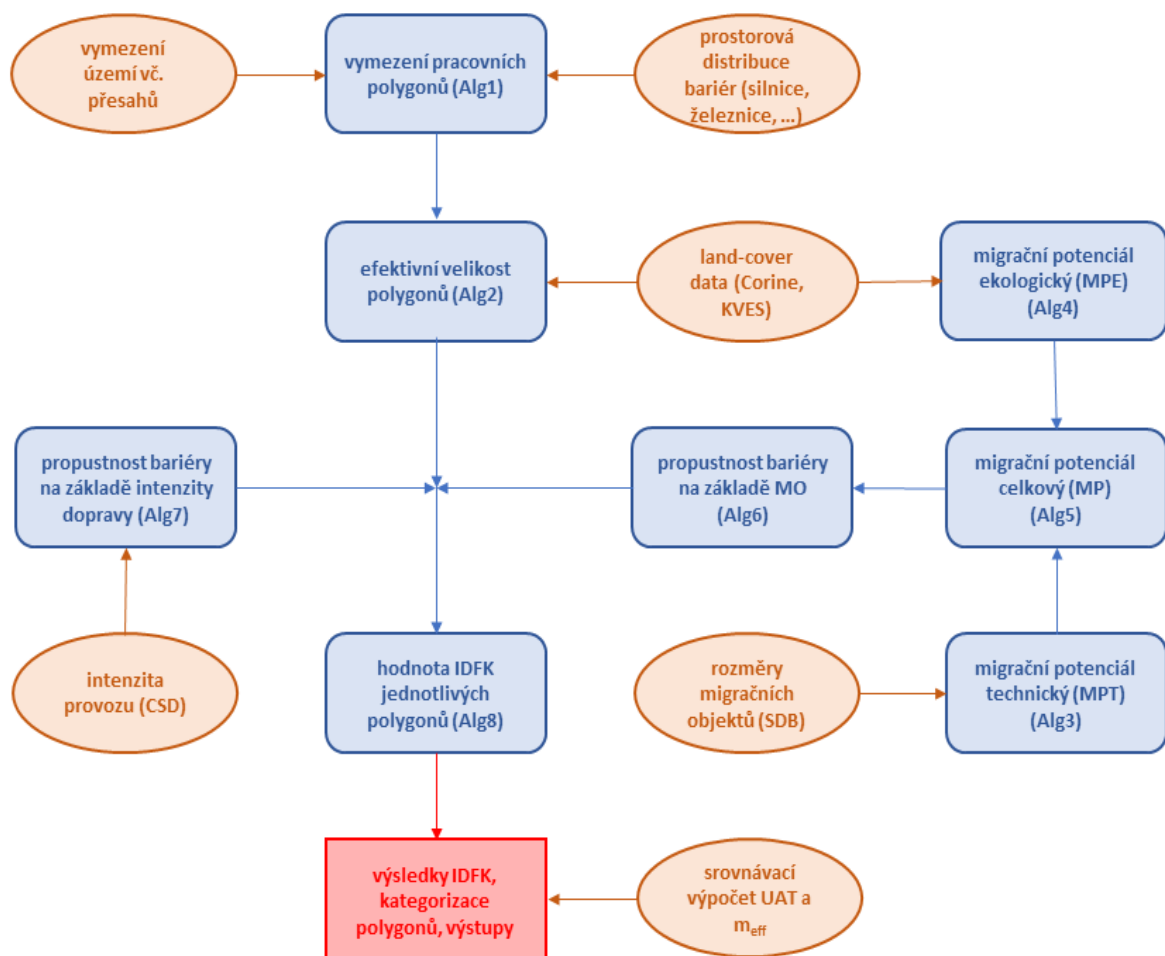
Inovací nově navrženého indikátoru nazvaného IDFK (indikátor dynamiky fragmentace krajiny), je zohlednění integrace jednotlivých pracovních polygonů vymezených fragmentační geometrií do větších prostorových celků, kde existuje alespoň částečná pravděpodobnost migrační konektivity mezi fragmentovanými dílčími prostory.

Potřebná vstupní data pro analýzu zahrnují následující položky:

1. vymezení oblasti výpočtu, včetně přesahu za správní hranici řešeného území,
2. prostorové rozmístění bariér (silnice, železnice, ...) včetně jejich kategorie,
3. intenzita dopravy na silnicích,
4. údaje o krajinném pokryvu,
5. informace o migračních objektech na významných bariérách a jejich rozměrech

Výpočet vlastní hodnoty ukazatele IDFK se provádí v osmi dílčích krocích, které se nazývají také „algoritmy“. Přehled algoritmů (modrý rámeček), požadovaných vstupních dat (hnědý rámeček) a jejich logické propojení je vidět na obrázku níže.

Obr. 1. Koncepte výpočtu IDFK



Alg 1: Definice pracovních polygonů

- vytvoření polygonů z linií fragmentační geometrie – jejich rozsah musí plně pokrýt oblast výpočtu tak, aby každý z polygonů umístěných alespoň částečně uvnitř ní, byl ze všech stran obklopen jiným dalším polygonem, vč. potenciální ho přesahu za hranici výpočetní oblasti
- všechny polygony s rozlohou menší než 0,1 ha (0,001 km²) jsou sloučeny s jedním ze sousedních polygonů – pravidlem je zachovat vždy nejvýznamnější bariéru
- tento počáteční krok je analogický pracovnímu postupu pro definování polygonů UAT/m_{eff} s výjimkou sloučení polygonů menších než 0,01 ha

Alg 2: Efektivní plocha polygonů

- V GIS se s pomocí nástroje Union provede propojení geometrie pracovních polygonů s polygony plně fragmentovaných ploch (zastavěné oblasti, průmyslové zóny atd.)
- pro každou dílčí plochu se určí její výměra, která vstupuje do finálního výpočtu (Alg 8) jako hodnota A_i

Alg 3: Technický migrační potenciál jednotlivých MO

- Výpočet teoretické migrační propustnosti jednotlivých stavebních objektů na základě jejich rozměrů
- index propustnosti je transformován na hodnotu mezi 0 (nejhorší) a 1 (nejlepší) s využitím nomogramů [7].

Alg 4: Ekologický migrační potenciál jednotlivých MO

- cílem stanovení MPE je zhodnocení potenciální funkčnosti dané migrační cesty – zda je okolí MO příznivé pro migraci a nevyskytují-li se v okolí nějaké významné rušivé vlivy
- pro území ČR se využije vrstva KVES (Konsolidovaná vrstva ekosystémů) z produkce AOPK ČR, pro ostatní území doporučujeme využití vrstvy ESRI 10m LU/LC Time Series
- MPE nabývá hodnot v intervalu $/0;1/$. Hodnoty blízké nebo rovné 0 představují situaci, kdy se v okolí MO nacházejí pouze biotopy nevhodné nebo přímo bránící migraci zvíře (např. urbanizovaná území nebo pole). Naopak hodnoty blízké 1 nabývá MPE v případech kdy je okolí MO obklopeno pouze přírodními biotopy (především lesy a trvalé travní porosty)

Alg 5: Celkový migrační potenciál každého MO

- stanovení celkového migračního potenciálu (MP) jednotlivého migračního objektu, který v sobě zahrnuje jak ekologické, tak technické hledisko.
- $MP = MPT * MPE$
- MP nabývá hodnot v intervalu $/0; 1/$, kde hodnota 0 představuje objekt zcela neprůchodný, hodnoty 1 objekt zcela průchodný
- význam MP spočívá ve vyváženém zastoupení technického a ekologického hlediska a ve vyloučení objektů u nichž je jedno z hledisek je nevyhovující

- do dalších výpočtů se zahrnují jen migrační objekty, které mají MP větší nebo roven 0,1
- MP migračních objektů vstupuje pro stanovení propustnosti celé bariéry dle Alg6

Alg 6: Průchodnost bariéry na základě MO

- Stanovení propustnosti bariér tvořených dálnicemi, oplocenými úseky silnic I. třídy a vysokorychlostními tratěmi (VRT).
- výpočet propustnosti bariéry se provádí v jednotlivých výpočetních bodech s krokem po 0,05 km
 - přiřazení MP daného MO k příslušným výpočetním bodům v závislosti na kilometrické poloze jednotlivých MO
 - dopočet hodnot MP do uvažované vzdálenosti dosahu MO – lineárně klesající MP až do vzdálenosti 1500 m po obou stranách migračního objektu
 - korekce hodnot MP v případě průniku MO a jeho dosahu se zastavěným územím (snížení hodnot MP na 0,0)
- hodnota propustnosti celého úseku bariéry se stanoví jako aritmetický průměr hodnot propustnosti jednotlivých výpočetních bodů
- propustnost bariéry nabývá hodnot v intervalu /0; 1/, kde hodnota 0 představuje bariéru zcela neprůchodnou, hodnota 1 bariéru teoreticky zcela průchodnou

Alg 7: Propustnost bariér podle intenzity dopravy

- Stanovení propustnosti bariér, které vytvářejí silnice a železnice nižšího významu. V případě silničních komunikací se jedná o neoplocené úseky silnic I. třídy a silnice II. a III. třídy. U železničních tratí se jedná o všechny tratě mimo VRT.
- propustnost silniční bariéry je funkcí ročního průměru denních intenzit dopravy
- u železnic je propustnost definována koeficientem na základě typu trati
- propustnost bariéry nabývá hodnot v intervalu /0; 1/, kde hodnota 0 představuje bariéru zcela neprůchodnou, hodnota 1 bariéru teoreticky zcela průchodnou a vstupuje do Alg 8

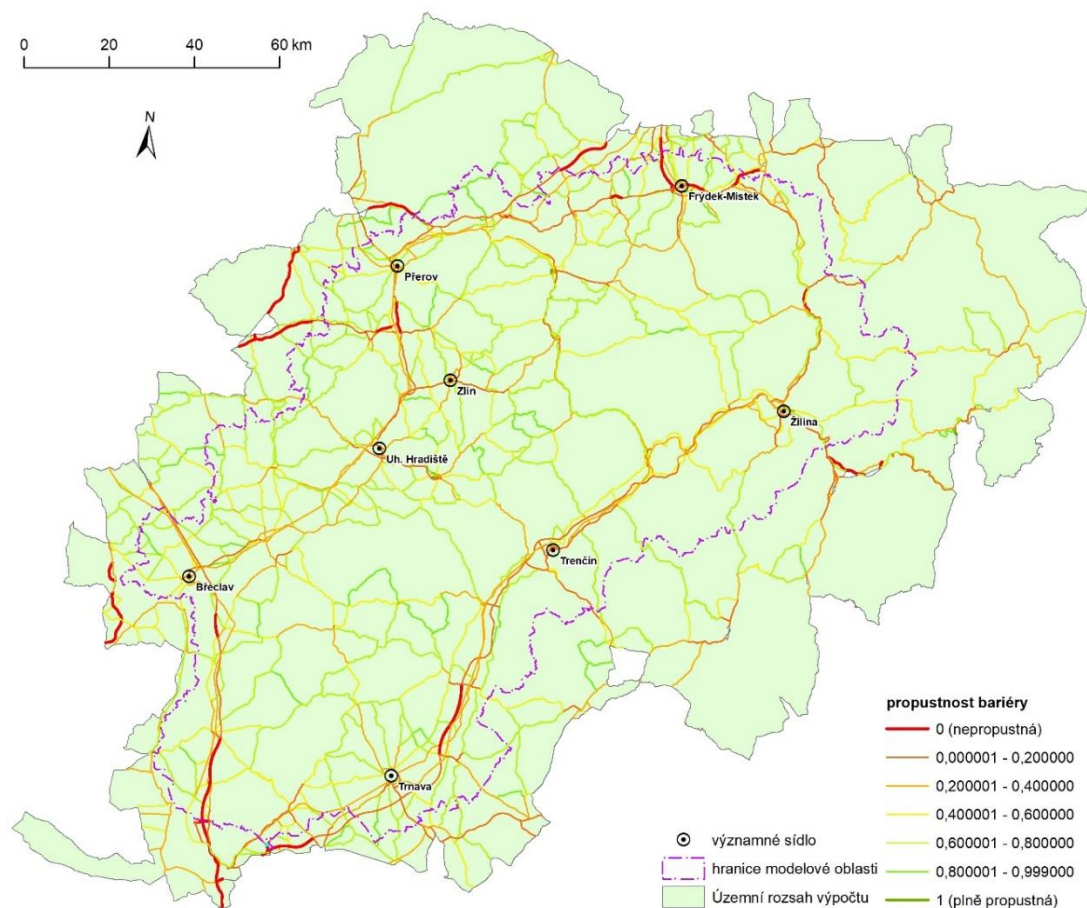
Alg 8: Výpočet hodnoty IDFK

- Stanovení výsledné hodnoty IDFK pro jednotlivé pracovní polygony.
- pro každý z pracovních polygonů se vypočte hodnota IDFK, která zohledňuje vazbu dvou sousedních polygonů
- míru příspěvku jednotlivých sousedních polygonů určuje hodnota propustnosti dané hraniční bariéry
- výpočet probíhá iterativně. Pro každý pracovní polygon se postupně procházejí všechny jeho sousední polygony. Z jejich hodnot efektivní plochy a hodnoty propustnosti příslušné bariéry se vypočte příspěvek k základní hodnotě efektivní plochy hodnoceného polygonu. Součet všech příspěvků efektivní plochy se základní hodnotou efektivní plochy hodnoceného polygonu představuje hodnotu IDFK.

3. Výsledky

V následující kapitole jsou uvedeny ukázky aplikace výše uvedeného pracovního postupu na modelové území moravsko-slovenského pohraničí, vč. údolí řek Morava a Váh.

Obr. 2 Bariéry vstupující do výpočtu a jejich propustnost

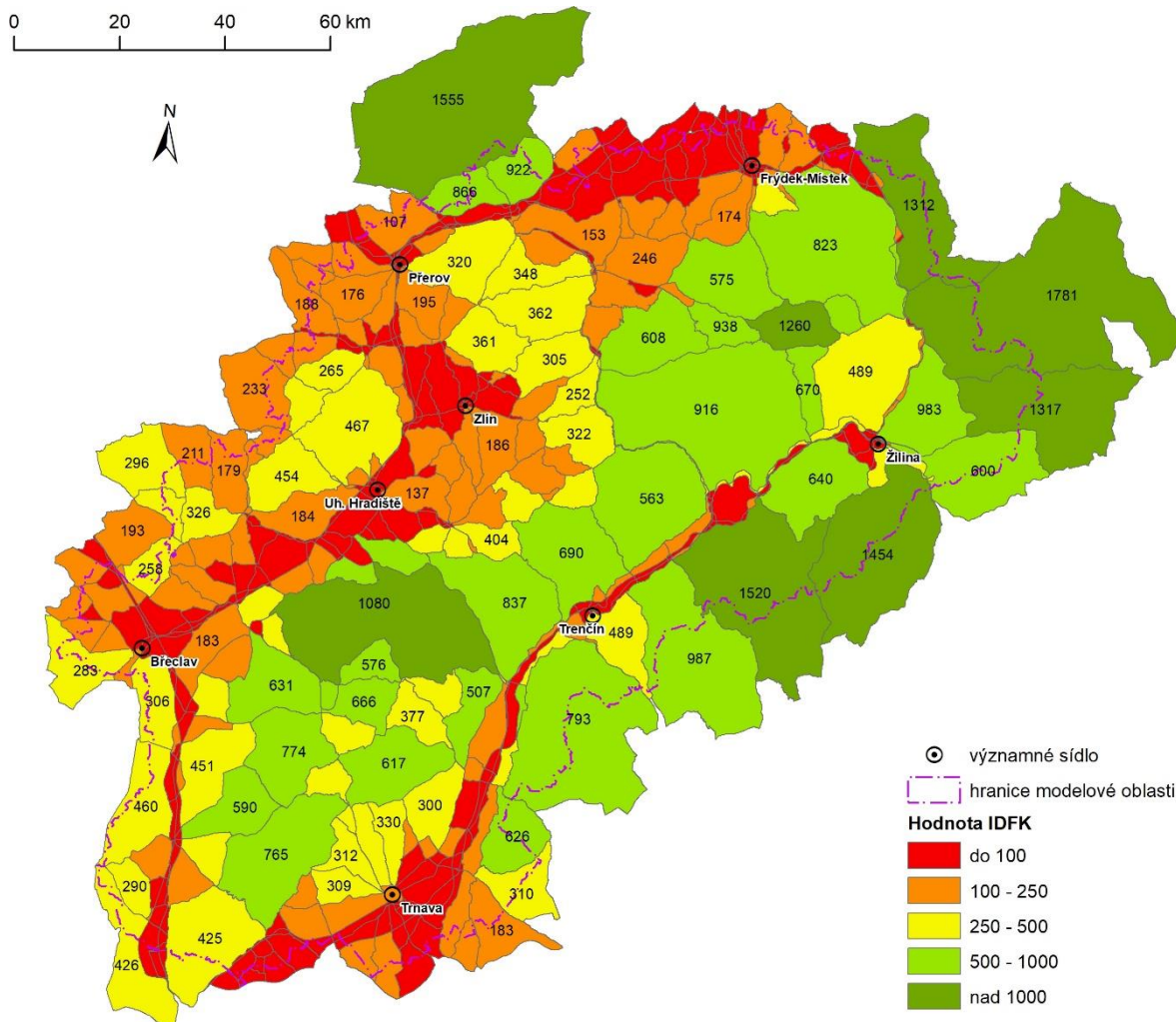


Na obr. 2 je vizualizována fragmentační geometrie v modelové oblasti. Převážná část bariér má vypočtenou míru propustnosti mezi 0,3 a 0,9 (viz Tab. 1), přitom při výpočtu m_{eff} by byly všechny považovány za úplně neprůchodné. Takto umožňují při výpočtu hodnoty IDFK připočítání části efektivní plochy sousedních polygonů, neboť jsou součástí většího celku pouze částečně fragmentovaných území.

Tab. 1. Bariéry vstupující do výpočtu a jejich propustnost

míra propustnosti	délka [km]	podíl [%]
0 (nepropustná)	317,4	4,1 %
0,01 – 0,1	443,1	5,8 %
0,1 – 0,3	950,7	12,4 %
0,3 – 0,5	2 060,0	26,8 %
0,5 – 0,7	2 106,5	27,4 %
0,7 – 0,9	1 801,1	23,4 %
0,9 – 0,99	0,0	0,0 %
1 (plně propustná)	7,8	0,1 %

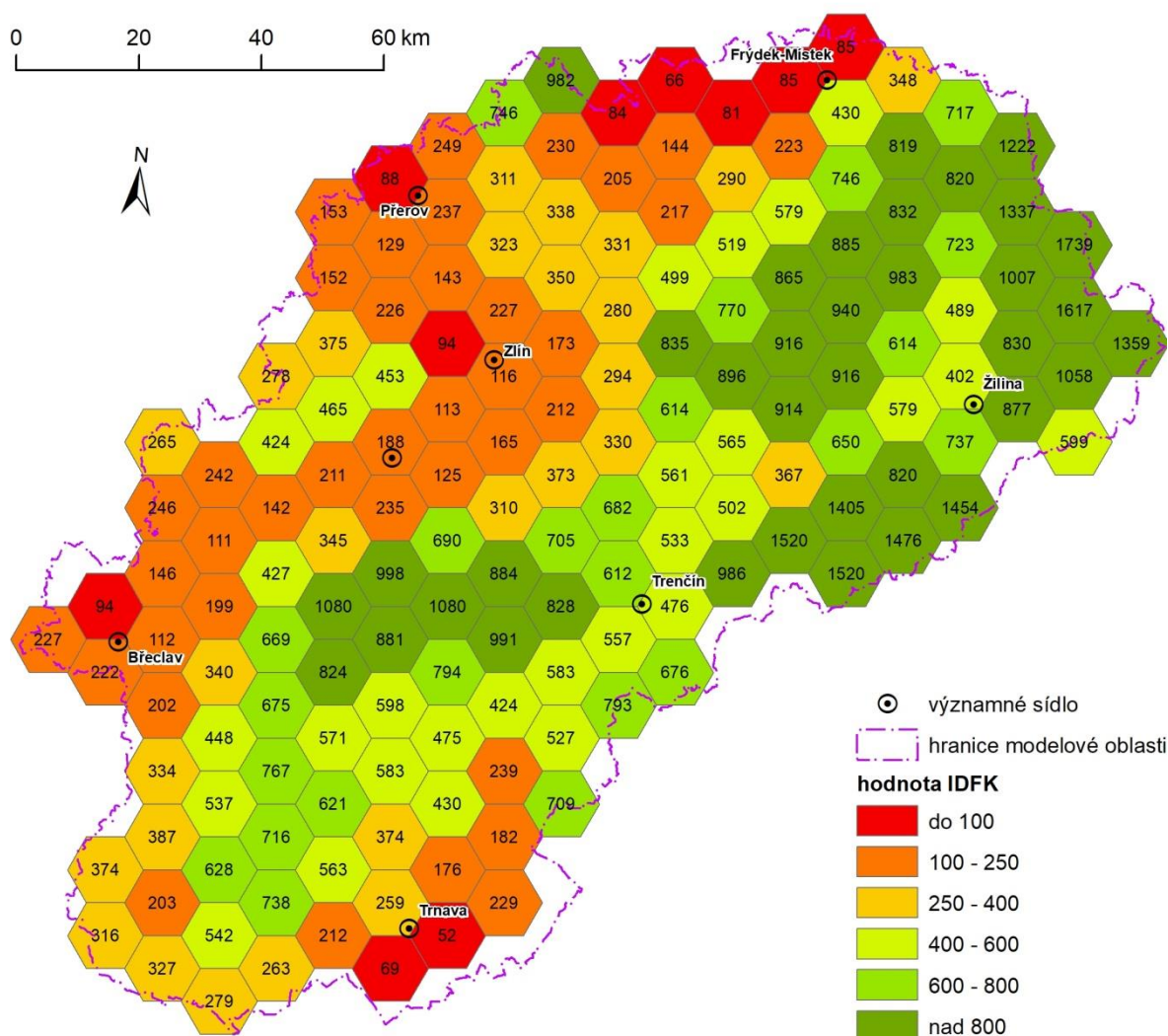
Obr. 3. Pracovní polygony a vypočtená hodnota IDFK



Pro výpočet hodnot IDFK v celém modelovém území bylo zapotřebí celkem 841 pracovních polygonů jako plošných podprostorů definovaných fragmentační geometrií, z nichž 644 alespoň částečně zasahuje do modelového území, ostatní sloužily pouze pro účely výpočtu. Slovenská část je výrazně méně fragmentovaná než část česká, zejména její severovýchodní okresy. Nejvyšší dosažená hodnota IDFK je 1 780,9 km² pro polygon ve východní části území zahrnujícím část území CHKO Kysuce a sousedního polského Zywieckiego parku krajobrazowego. Průměrná hodnota IDFK za celé území je 531,3 km². Pro srovnání prostý výpočet m_{eff} za celé dosahuje 193,57 km² a tedy hodnota IDFK je 2,5 násobně vyšší.

Lepší vizualizace výsledků stanovení míry fragmentace krajiny lze dosáhnout pomocí výpočtu hodnoty pro jednotlivé buňky v pravidelně uspořádané síti s využitím přepočtu cross-border connections (CBC), který použili Moser et al. [8] pro výpočty s indikátorem m_{eff} . Přepočet do pravidelné hexagonové sítě je uveden na obr. 4.

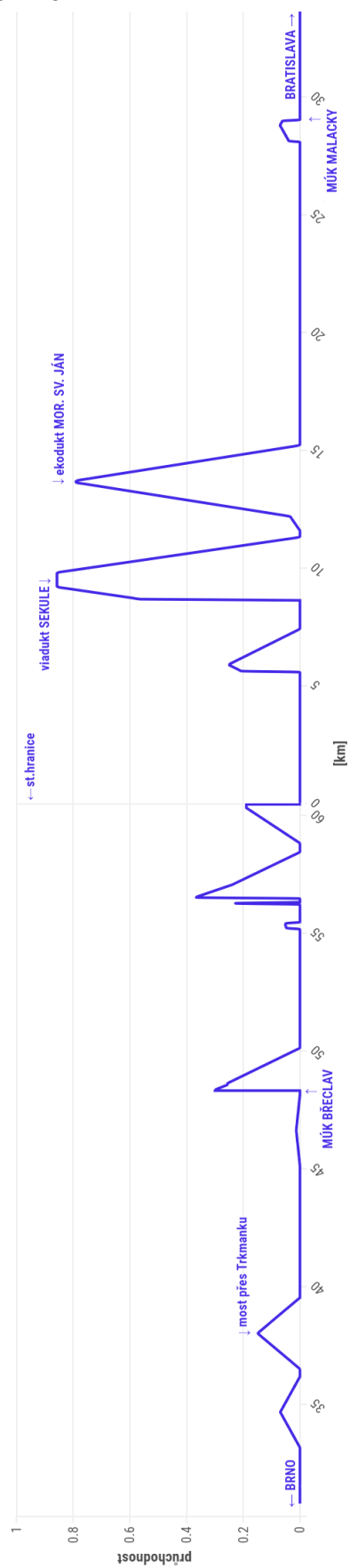
Obr. 4. Přepočtená hodnota IDFK do pravidelné hexagonové sítě



I když nejde o hlavní z výstupů výpočtu IDFK, nástrojem velmi názorně dokumentujícím dopady dálniční infrastruktury na průchodnost krajiny jsou liniové grafy hodnoty průchodnosti zpracované pro jednotlivé dálnice. Ty je relevantní zpracovávat pro všechny komunikace, jejichž průchodnost se stanovuje pomocí migračního potenciálu objektů, tedy dálnice a další čtyřpruhé směrově dělené silnice, oplocené úseky silnic I. třídy a v budoucnu také pro železniční vysokorychlostní tratě. Jednoduchá forma vizualizace umožňuje také porovnávat vývoj průchodnosti daného úseku v čase – zejména realizaci opatření typu výstavba ekoduktu nebo rozšíření již existujícího podchodu. Zahrnutí ekologického migračního potenciálu do výpočtu tak zároveň umožňuje i reagovat na změny ve využití krajiny v těsné blízkosti jednotlivých migračních objektů.

Ukázkou takového výstupu je Obr. 5 znázorňující průchodnost části dálnice D2 jak na české, tak i na slovenské straně.

Obr. 5. Dálnice D2 a vizualizace její průchodnosti



4. Diskuse a závěry

Výsledná hodnota IDFK je vždy vyšší než běžně užívaný indikátor m_{eff} , neboť nepovažuje bariéry tvořené zejména komunikacemi s nižší intenzitou provozu (nebo propojené pomocí vhodného migračního objektu) jako absolutní bariéru. Tyto komunikace jsou běžně živočichy v reálné krajině překonávány, a tak sousedící polygony působí jako jeden nefragmentovaný areál. Tento efekt je markantní zejména u polygonů o nízké výměře, které často vznikají u souběhu silnic a železnic anebo u nově postavených dálnic, které nahradily původní silnici I. třídy, která je dnes často provozována jako doprovodná silnice II. třídy.

Praktická využitelnost indikátoru vyplývá především z těchto následujících vlastností:

- jedná se o výrazně komplexnější model než předchozí indikátory, který do hodnocení fragmentace krajiny zahrnuje nejen technické, ale i ekologické parametry (kategorie komunikace, dopravní zatížení, migrační objekty, biotopový charakter okolí komunikací, přítomnost sídelní a průmyslové infrastruktury).
- model reaguje citlivě na změny vstupních parametrů a umožňuje zohlednit nejen výstavbu nové komunikace, ale i realizaci migračních opatření. Přináší tedy zpětnou vazbu o efektivitě vynaložených prostředků na migrační opatření.
- model je primárně určen pro hodnocení větších území, ale současně popisuje i jednotlivé trasy silnic s jejich migračními objekty. Tím se využití rozšiřuje z oblastí územních plánů a koncepcí i na investiční přípravu konkrétních silnic a dálnic.

Kromě fáze vlastní výstavby je indikátor prakticky použitelný ve všech fázích životního cyklu komunikace, zejména však ve fázi projektové přípravy. Představuje vstupní standardizovaný podkladový materiál pro analýzu a rozhodování, při čemž samozřejmě nenahrazuje další speciální a podrobná šetření.

Klíčovou roli při ochraně krajiny před fragmentací dopravou a sídelní infrastrukturou hraje ale územní a prostorové plánování. IDFK je zaměřený především na dopravní stavby, ale vzhledem k tomu, že ve svém výpočtu zohledňuje i migrační bariéry způsobené sídelní a průmyslovou infrastrukturou, je využitelný také ve všech stupních územního plánování. Stanovení IDFK by mělo být automatickou součástí strategického hodnocení vlivů na životní prostředí (SEA) u všech relevantních koncepcí jako jeden z klíčových podkladů pro hodnocení vlivu na faunu a krajinu.

Mapy IDFK by mohly nalézt vhodné uplatnění také v environmentální výchově na všech stupních škol i pro šíření obecného povědomí o fragmentaci krajiny při prezentaci široké veřejnosti v médiích.

Ve stávající definici předpokládá výpočetní model řešení propustnosti bariér pouze pro velké savce, tedy kategorii živočichů A dle Hlaváče et al. [9]. Jako potenciální možné rozšíření modelu by bylo vhodné otestovat výpočet také s parametry pro kategorii živočichů B (střední kopytníci), kam je řazen srnec a praxe divoké, kteří způsobují nejvíce dopravních nehod se zvěří. Model by pak lépe odrážel průchodnost komunikací z pohledu bezpečnosti provozu. Další možnosti návazného výzkumu otevírá návrh koncepce indikátoru dynamiky fragmentace krajiny po stránce metodické, kdy je žádoucí pokračovat ve výzkumu směrem ke zpřesnění vstupních

parametrů (konstant) vstupujících do IDFK (citlivostní analýza) a ve stávajícím návrhu převzatých z již existujících metodických materiálů a doporučení, tak i po stránce aplikační, kdy by bylo žádoucí provést aplikaci výpočtu na národní úrovni pro ČR i SR (příp. i další země) a založit tak časovou řadu vzájemně porovnatelných výsledků. Též se nabízí vytvoření ucelených časových řad zpětně za pravidelná období v návaznosti na jednotlivá Celostátní sčítání dopravy.

Literatura

- [1] EEA (2011). Landscape fragmentation in Europe. EEA report 2/2011. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 92 pp. ISBN 978-92-9213-215-6. doi:10.2800/78322.
- [2] EEA (2019). The European environment — state and outlook 2020 : Knowledge for transition to a sustainable Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 499 pp. ISBN 978- 92-9480-090-9. doi: 10.2800/96749.
- [3] Iuell, B., Bekker, G. J., Cuperus, R. et al. (2003). Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions. Brussels: KNNV Publishers, 176 pp. ISBN 978- 9050111867.
- [4] Anděl, P., Gorčicová, I., Hlaváč, V., Miko, L., Andělová H. (2005). Hodnocení fragmentace krajiny dopravou. Metodická příručka. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 99 s.
- [5] Anděl, P., Mináriková, T et Andreas, M. (2010). Ochrana průchodnosti krajiny pro velké savce. Liberec: Evernia, 137 s. ISBN 978-80-903787-5-9.
- [6] Jaeger J. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. Landscape Ecology, 15: 115-130. doi:10.1023/A:1008129329289.
- [7] MD SR (2023). TP 067 – Migračné objekty pre voľne žijúce živočíchy. Projektovanie, výstavba, prevádzka a oprava. [Bratislava]: Ministerstvo dopravy SR, 57 s.
- [8] Moser, B.; Jaeger, J.A.G.; Tasser, E.; Eiselt, B.; Tappeiner, U. (2007). Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem. Landscape Ecology, 22:447–459. doi:10.1007/s10980-006-9023-0.
- [9] Hlaváč, V., Anděl, P., Pešout, P., Libosvár, T., Šíkula, T., Bartonička, T., Dostál, I. Strnad, M., Uhlíková, J. (2020). Doprava a ochrana fauny v České republice. Metodika AOPK ČR. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 293 s. ISBN 978-80-7620-070-8.

Indicator of landscape fragmentation dynamics

Petr Anděl¹, Ivo Dostál², Zdeněk Hejkal²

¹ *Technical University of Liberec, Faculty of Science, humanities and Education, Studentská. 1402/2, 461 17 Liberec, Czech Republic*

² *Transport Research Centre*

Líšeňská 33a, 636 00 Brno, Czech Republic

e-mail: petr.anděl@tul.cz

Abstract

The m_{eff} indicator has become the European standard for calculations dealing with the quantification of landscape fragmentation by traffic. However, from the point of view of the planning and development of transport infrastructures, it has one major shortcoming: it evaluates all barriers equally as completely impermeable. It, therefore, cannot take into account the positive impact of the implementation of migration objects (underpasses and overpasses) on motorways and class I roads, nor the different degrees of migration permeability of two-lane roads depending on the traffic volume. The vast majority of the edges from the fragmentation geometry represent barriers that, while limiting the permeability of the landscape for wildlife, do not represent an absolute barrier as assumed by existing indicators. This difference underlies the concept of a newly proposed indicator called IDFK (Indicator of Landscape Fragmentation Dynamics), whose innovation is to take into account the integration of individual working polygons defined by fragmentation geometry into larger spatial units where there is at least a partial probability of migratory connectivity between fragmented subspaces. However, the higher explanatory power of the new indicator is outweighed by the complexity of the workflow itself, which in particular requires a larger amount of input data than the existing indicators. The IDFK can also be used as a basis for calculating the regional disparities in the degree of fragmentation by transport.

25 let ekoduktů v České republice

Ivo Dostál

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: ivo.dostal@cdv.cz

Abstrakt

Když se v červenci 1999 otevřel úsek rychlostní silnice R35 Velký Újezd – Lipník n/B, vstoupil do české krajiny nový fenomén – ekodukt. Příspěvek poskytuje komplexní zhodnocení historického vývoje stavby ekoduktů u nás od jejich prvopočátků až po současnost a jejich význam v ochraně biodiverzity a udržitelnosti dopravy. Připomíná také výzkum efektivity jejich fungování v ochraně migrace volně žijících živočichů a zachování ekosystémů v rámci projektu TAČR „Průchodnost dopravní infrastruktury pro faunu jako podmínka bezpečné a udržitelné dopravy“ a systém ochrany průchodnosti krajiny v České republice, vč. metodik zaměřených na snížení dopadů liniové infrastruktury na faunu s ohledem na harmonizaci mezi rostoucím tlakem na biodiverzitu a potřebou rozvoje dopravy.

1. Fragmentace krajiny jako globální výzva

Krajinné celky se postupnou výstavbou plošných a liniových antropogenních bariér dělí na stále menší části, které postupně ztrácejí potenciál k vykonávání původních ekologických funkcí. Dochází k jevu známému jako fragmentace krajiny [1]. Ta je společně se ztrátou biotopů považována globálně za hlavní příčinu poklesu biodiverzity [2,3]. Až v posledních desetiletích začala být tomuto problému věnována zvýšená pozornost [4,5,6]. Mezi významné příčiny fragmentace a úbytku biotopů patří rozvoj sítí liniové infrastruktury, ať už dopravní (silnice, železnice), tak i energetické. Tyto sítě jsou zásadní pro zajišťování mobility lidí i ekonomický rozvoj společnosti, ale na druhé straně působí environmentální problémy zábořem půdy, narušením přírodních procesů, usnadněním šíření invazních druhů a snížením konektivity krajiny pro volně žijící živočichy [7,8,9]. Kromě toho se negativní dopady liniových infrastruktur na životní prostředí rychle kumulují a zasahují i lokality mimo svůj vlastní koridor, např. prostřednictvím úmrtnosti v důsledku dopravy, rušení hlukem a chemického znečištění [10,11]. Krajina bez fragmentačních vlivů se stává stále vzácnějším jevem. Proto prostor nezasažený fragmentací je třeba považovat za cenný a neobnovitelný přírodní zdroj, neboť až na výjimky jde o proces ireverzibilní. Je reálné, že s plánovaným rozšiřováním sítí liniových infrastruktur, a očekávaným nárůstem dopravy, kumulativní dopady na přírodu rychle překročí únosnost ekosystémů [12].

2. Problematika prostupnosti krajiny v minulém století v ČR

Výstavba dálniční infrastruktury byla v ČSSR obnovena na konci 60. let minulého století s prvním úsekem uvedeným do provozu v roce 1971 (D1, Praha – Mirošovice). V té době však stály environmentální problémy způsobované rozvojem dálniční sítě stranou zájmu. Přitom jen do roku 1990 bylo na území dnešní ČR uvedeno do provozu 344 km dálnic a rychlostních silnic. A tak zatímco v západoevropských zemích již vznikaly zelené mosty (Francie, Nizozemí, Kanada), u nás se začalo o problému významněji mluvit až po změně socio-ekonomických

poměrů a přijetí environmentální legislativy v podobě Zákona o posuzování vlivů na životní prostředí č. 244/1992 Sb.

Důležitým okamžikem bylo zapojení českých expertů do mezinárodní výzvy COST 341 Habitat fragmentation due to Transportation Infrastructure (1998-2003) ke které se postupně připojilo více než 20 evropských zemí. Hlavním cílem projektu bylo podpořit bezpečnou a udržitelnou celoevropskou dopravní infrastrukturu prostřednictvím doporučení opatření a plánovacích postupů s cílem zachovat biologickou rozmanitost a snížit počet dopravních nehod s účastí volně žijících živočichů a z nich vyplývajících obětí na životech. Zásadním výstupem této akce se stala evropská příručka Wildlife and Traffic: A European handbook for Identifying conflicts and Design Solutions [13]. Akce COST 341 byla také zásadním impulsem pro rozvoj rodící se mezinárodní sítě expertů Infra-Eco Network Europe (IENE), která dnes hraje zásadní roli v mezinárodní výměně zkušeností v oboru fragmentace [14].

3. První ekodukt v Česku

Klíčovou rolí v ochraně biodiverzity a obnovení konektivity krajiny v místech narušených výstavbou dopravní infrastruktury hrají zelené mosty, tzv. ekodukty [1,13]. Jsou zmírňujícím opatřením, které snižuje dopady dané dálnice na volně žijící živočichy. Jde o speciální druh mostního objektu typu nadchod, který umožňuje volně žijícím zvířatům bezpečně překonávat silnice, dálnice nebo železniční tratě. Společně s dalšími doprovodnými opatřeními (oplocení) bývá navržen tak, aby se minimalizovaly střety mezi vozidly a živočichy, což nejen snižuje nebezpečí pro zvířata i řidiče, ale zároveň zachovává přírodní migrační trasy a ekologickou kontinuitu krajiny. Podobnou funkci jako ekodukt zastává ve volné krajině také většina tunelových objektů.

Obr. 1. Ekodukt Dolní Újezd nedlouho po uvedení do provozu



Foto: J. Dufek

Obr. 2. Ekodukt Dolní Újezd v roce 2007



Foto: I. Dostál

Do české krajiny vstoupil fenomén ekoduktů v červenci 1999, kdy se otevřel úsek rychlostní silnice R35 Velký Újezd – Lipník n/B na němž byl v km 293,259 vybudován most č. 35-159 lokalizovaný severně od obce Dolní Újezd. Fakticky jde o multifunkční objekt, který kromě zajištění migrační prostupnosti pro volně žijící živočichy slouží také pro převedení lesní cesty hojně využívané pro rekreační účely. Na obrázcích 1 až 3 lze pozorovat postupná stadia vývoje zeleně tvořící povrch tohoto objektu.

Obr. 3. Ekodukt Dolní Újezd v roce 2018



Foto: I. Dostál

4. TP 180 a další metodické materiály

V návaznosti na evropská doporučení [13] bylo důležité zakotvit principy a doporučení pro správné navrhování migračních objektů (nejen ekoduktů, ale také různých druhů podchodů) do praxe i v České republice. K tomu sloužila zejména Metodická příručka k zajišťování průchodnosti dálničních komunikací pro volně žijící živočichy vydaná a schválená AOPK ČR v roce 2001 [15]. Ta se zaměřovala převážně na ekologickou část problému, na hodnocení míst, kde je třeba jednotlivé průchody realizovat. Na ni pak v roce 2006 navázalo vydání Technických podmínek MD ČR č. 180 Migrační objekty pro zajištění průchodnosti dálnic a silnic pro volně žijící živočichy [16], které již byly zaměřeny víc praktičtěji, s návody na realizaci potřebných opatření během celého životního cyklu stavby, tj. jak přípravy, stavby, tak i období samotného provozu. V současnosti probíhá proces jejich aktualizace v souladu s postupným rozvojem míry poznání této problematiky.

5. Rozšiřování počtu ekoduktů po roce 2000

Další migrační objekty pro zvěř se v ČR objevily až v letech 2006 až 2007, kdy přibýly objekty na dálnici D11 - ekodukty Žehuň (Obr. 4) a Voleč a modifikované nadjezdy Pravy a Chýšť; na silnici R6 u Jenišova (viz dále) a na směrově rozdělené silnici I/20 u Písku nedaleko Mladotic. Na úseku dálnice D1 směr Ostrava vznikl v roce 2009 ekodukt nedaleko Kletného a multifunkční objekt (převedení silnice III. třídy, akvadukt) u Hrabůvky. V letech 2010–2011 byla uvedena do provozu část Pražského okruhu D0 a některé městské radiály, kdy vzbudily kontroverze stavby devíti objektů (obr. 5) upravených pro migrace zvěře, byť fakticky slouží pouze k propojení prostorů v těsné blízkosti zástavby Prahy se vzdálenějším zázemím – jejich vliv na migrační průchodnost krajiny v národním měřítku je nulový.

Obr. 4. Ekodukt Žehuň v roce 2007 - nedlouho po dokončení



Foto: I. Dostál

Obr. 5. Ekodukt Šabatka v sousedství MÚK Lahovice



Foto: M. Strnad

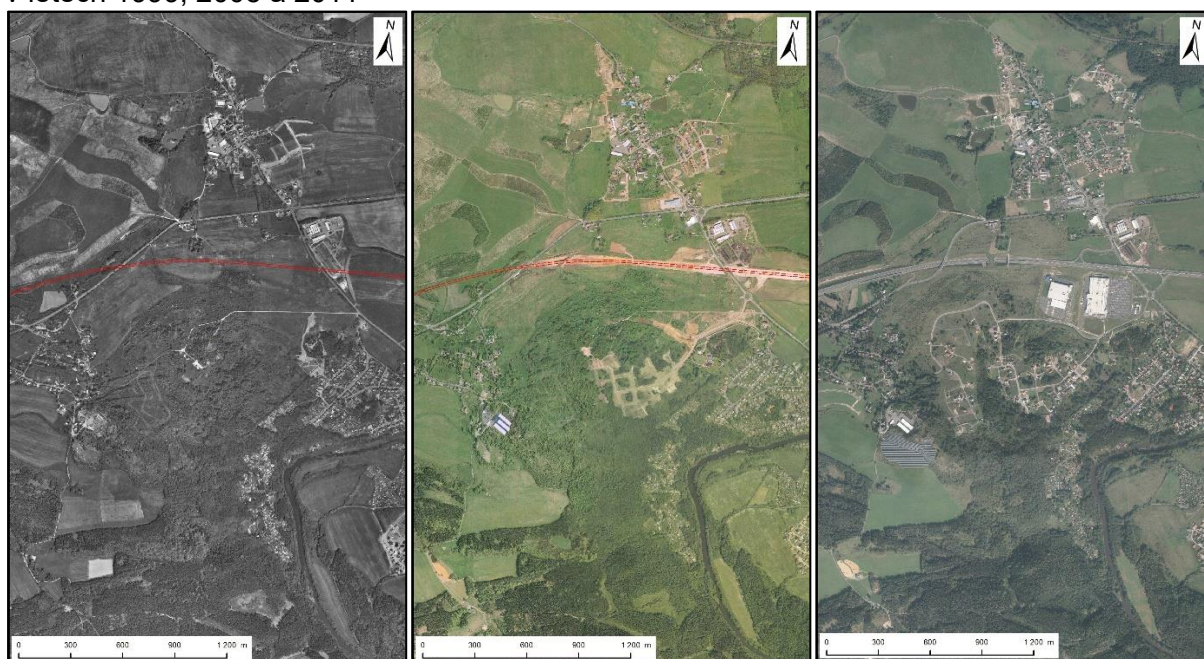
Právě ekodukt Jenišov na silnici D6 (dříve R6) lokalizovaný západně od Karlových Varů je ukázkovým případem chybějící vzájemné komunikace a spolupráce mezi různými procesy plánování v krajině. Funkčnost ekoduktu navrženého v rámci procesu EIA (zajištění migračního propojení mezi Krušnými horami a Slavkovským lesem) zde totiž byla znemožněna přerušením migračního propojení jižně od objektu v důsledku suburbanizační výstavby povolené v mezidobí (mezi zpracováním EIA na příslušný úsek dálnice a samotnou výstavbou) územním plánem. Vznik problému je názorně ilustrován na a souboru obrázků 7a až 7c.

Obr. 6. Ekodukt Jenišov



Foto: I. Dostál

Obr. 7a-7c. Vývoj stavu území v prostoru ekoduktu Jenišov na dálnici D6 (bývalá R6) v letech 1999, 2005 a 2011



Mapový podklad: ČÚZK

6. Ochrana průchodnosti formou ekologické sítě

Chybějící systematický přístup k umisťování nejen ekoduktů, ale i dalších opatření pro podporu migrace volně žijících živočichů, vyústil okolo roku 2010 v návrh národní ekologické sítě zajišťující minimální trasy pro dálkové migrace živočichů, zejména velkých savců [17]. Základním ochranným opatřením je vymezení těch částí krajiny, které mají pro výskyt a migraci druhů zásadní význam. Síť byla představována soustavou ploch vymezujících migračně významná území (oblasti s výskytem velkých savců) a linií představujících jednotlivé migrační koridory tato území propojujícími.

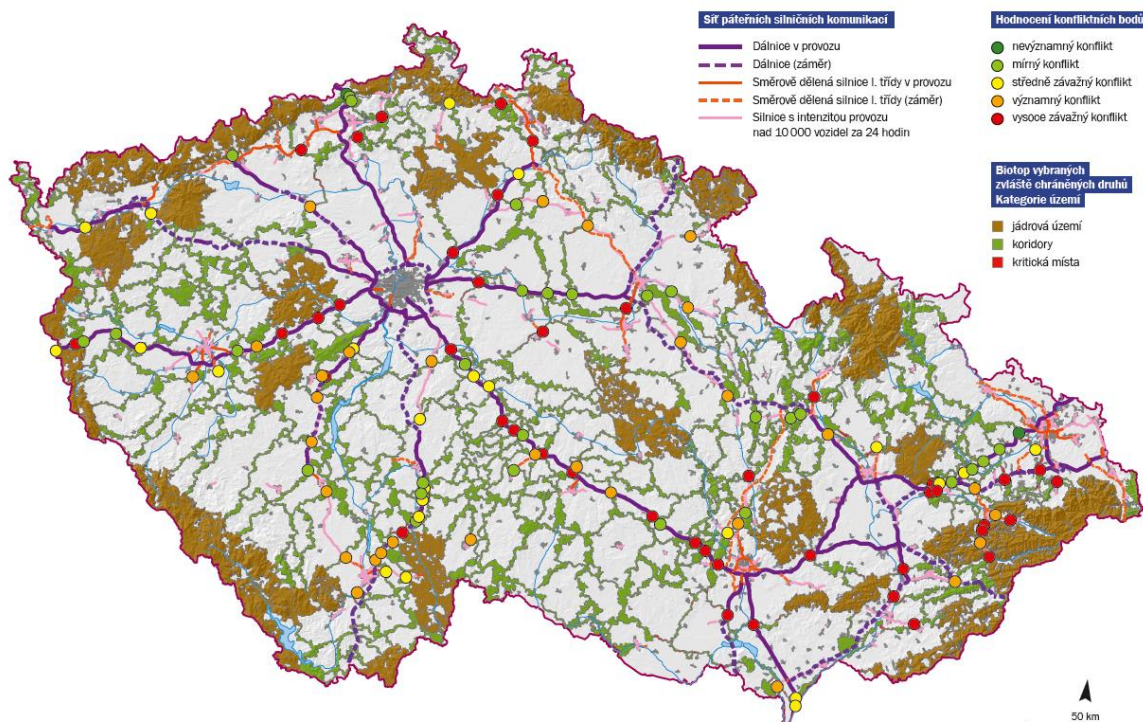
Z pohledu prostorového plánování však vyjádření migračních koridorů pomocí linií nepředstavovalo vhodný podklad. V roce 2017 byl proto představen nový koncepční nástroj, nazvaný „Biotop vybraných zvláště chráněných druhů velkých savců“ [18], který vymezuje biotop vybraných druhů (vlk, rys, medvěd, los) v minimálním rozsahu nutném pro zachování jejich existence na území ČR. Jde o polygonovou vrstvu (zpracování v GIS) území založenou na recentních datech o výskytu těchto druhů, prostorové habitatové analýze a terénní kontrole fragmentace v krajině. Mapová vrstva biotopu je z důvodu potřeby diferencované ochrany členěna na:

1. Jádrová území – jde o oblasti, které svojí rozlohou a biotopovými charakteristikami umožňují rozmnožování minimálně jednoho z vybraných zvláště chráněných druhů velkých savců. Minimální rozloha je alespoň 300 km².
2. Migrační koridory – propojují oblasti vhodné pro rozmnožování (jádrová území) tak, aby umožnily migrační spojení, a to v minimální míře, která ještě zajistí dlouhodobé přežití populací.
3. Kritická místa – jde o místa, která jsou součástí migračních koridorů nebo jádrových území, kde je zároveň průchodnost biotopu významně omezena, nebo kde hrozí, že k omezení průchodnosti může v blízké budoucnosti dojít. Negativní

zásah do kritického místa může znamenat přerušení celého dílčího úseku migračního koridoru nebo významné omezení funkčnosti jádrového území

Základním mapovacím měřítkem vrstvy biotopu je 1:50 000, pouze kritická místa jsou vymezena v měřítku 1:10 000. Biotop je tvořen jedním spojitým polygonem, neboť z logiky jeho koncepce zde nemohou existovat žádné izolované prvky (obr. 8). Zastavěné plochy nejsou oficiálně součástí biotopu, i když měřítko mapy neumožňuje jejich vyčlenění. V současnosti je vymezený Biotop začleněn i do procesů územního plánování – je poskytován v rámci ÚAP jako jev 36b.

Obr. 8. „Biotop vybraných zvláště chráněných druhů velkých savců“ [18]



7. Ekodukty jako defragmentační opatření

Kritická místa vymezená v rámci Biotopu identifikovala lokality, kde je nutné migrační průchodnost dálniční sítě přednostně řešit. To je příležitost pro zlepšení stavu průchodnosti dálnic, které byly postaveny v dávné minulosti a budou postupně podrobovány modernizačním projektům tak, jako tomu bylo u dálnice D1 mezi Mirošovicemi a Brnem v letech 2013 až 2021. V rámci této stavby byly na čtyřech místech (km 96 u Humpolce; km 129 u Meziříčka a v km 170 a km 176 mezi Devíti kříži a Ostrovačicemi) doplněny migrační objekty obnovující migrační propojení přes již provozované úseky, čímž byl v těchto místech významně snížen bariérový účinek naší nejvýznamnější dálnice. Do provozu byly uvedeny v roce 2021.

Vysoký počet srážek zvíře s vozidly na úseku silnice I/13 mezi Bílým Kostelem nad Nisou a Jitřavským sedlem inicioval stavbu ekoduktu Rozkoš (Obr. 9), který byl dokončen v květnu 2023 společně s doprovodným oplocením. Prakticky okamžitě došlo v této lokalitě k poklesu silniční mortality živočichů na nulu.

Obr. 9. Ekodukt Rozkoš na silnici I/13



Foto: I. Dostál

8. Závěr

Zpracování „Biotopu vybraných zvláště chráněných druhů velkých savců“ a jeho začlenění do legislativy a zejména procesů územního plánování přineslo evropsky unikátní systém závazného uchopení problematiky migrační prostupnosti krajiny, který je vysoce oceňován odborníky v mnoha zemích, vč. západní Evropy.

V současné době se v ČR nachází celkem 36 objektů typu ekodukt, multifunkční nadchod nebo modifikovaný nadjezd. Jejich umístění i realizované technické parametry jsou různorodé, často poplatné době jejich vzniku. V praxi se často problematika průchodnosti silničních a dálničních staveb pro volně žijící živočichy zužuje pouze na diskusi o rozměrech technických objektů. Požadují se často velmi rozsáhlé objekty bez ohledu na konkrétní migrační tlak, místní přírodní podmínky, zdroje okolního rušení apod. Tento postup nezajistí dostatečnou migrační průchodnost, ale vede pouze k plýtvání finančními prostředky. Proto je efektivita jednotlivých migračních objektů zkoumána v rámci projektu „Průchodnost dopravní infrastruktury pro faunu jako podmínka bezpečné a udržitelné dopravy“, kdy se již v průběhu řešení ukazuje, že při dodržení minimálních technických standardů je daleko nejdůležitější správná lokalizace objektu a jeho návaznost na migrační trasy zvěře v okolí.

Literatura

- [1] Anděl, P.; Mináriková, T.; Andreas, M. Ochrana *průchodnosti krajiny pro velké savce*. Liberec: Evernia, 2010, 137 s. ISBN 978-80-903787-5-9.
- [2] Barnosky AD, Matzke N, Tomiya S, Wogan GOU, Swartz B, Quental TB, Marshall C, McGuire JL, Lindsey EL, Maguire KC, Mersey B, Ferrer EA. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471(7336): 51–57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- [3] Hilty JA, Worboys GL, Keeley A, Woodley S, Lausche B, Locke H, Carr M, Pulsford I, Pittock J, White JW, Theobald DM, Levine J, Reuling M, Watson JEM, Ament R, Tabor GM (2020) Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors. Best practice protected area guidelines series no. 30. IUCN, Gland, 122 pp. <https://portals.iucn.org/library/node/49061>
- [4] Saunders DA, Hobbs RJ, Margules CR (1991) Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology* 5(1): 18–32.
- [5] Fahrig L (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34: 487–515.
- [6] Henle K, Lindenmayer DB, Margules CR, Saunders DA, Wissel C (2004) Species survival in fragmented landscapes: Where are we now? In: Henle K, Lindenmayer DB, Margules CR, Saunders DA, Wissel C, Species survival in fragmented landscapes: Where to from now? *Biodiversity and Conservation* (13) 1–8. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000004311.04226.29>
- [7] Dostál, I., Havlíček, M., Huzlík, J. Evaluation of Transport Impact to the Landscape. In Adamec, V., Jandová, V. (eds.) IV Czech-Slovak Scientific Conference „Transport, Health and Environment“. Blansko, November 2-3, 2010. Brno: Transport Research Centre, 2010, p. 97-104. ISBN 978-80-7399-141-8. WOS:000392425300013.
- [8] Van der Ree R, Smith DJ, Grilo C (2015) The ecological effects of linear infrastructure and traffic: Challenges and opportunities of rapid global growth. In Van der Ree R, Smith DJ, Grilo C (Eds) *Handbook of Road Ecology*. Hoboken (NJ): Wiley-Blackwell, p. 1–9.
- [9] Soanes K, Rytwinski T, Fahrig L, Huijser MP, Jaeger JAG, Teixeira FZ, van der Ree R, van der Grift EA (2024) Do wildlife crossing structures mitigate the barrier effect of roads on animal movement? A global assessment. *Journal of Applied Ecology* 61(3): 417–430. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14582>
- [10] Jaeger JA, Torres A (2021). Chapter 15: Fourteen lessons from road ecology for cumulative effect assessments. In: Blakley JAE, Franks DM (Eds.) *Handbook of cumulative impact assessment*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781783474028.00027>
- [11] Denneboom D, Bar-Massada A, Schwartz A (2024). Wildlife mortality risk posed by high and low traffic roads. *Conservation Biology* 38(e14159). <https://doi.org/10.1111/cobi.14159>
- [12] Forman RTT, Alexander LE (1998) Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 207–231.
- [13] Iuell, B.; Bekker, H.; Cuperus, R.; Dufek, J.; Fry, G. L.; Hicks, C.; Hlaváč, V.; Keller, V., Le Marie Wandall, B., Rosell, C., Sangwine, T., Törslöv, N. (2003). *Wildlife and Traffic – A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*. Deliverable of COST 341 – Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure. Utrecht (Netherlands): EC & COST 341 & KNNV, 172 pp.
- [14] 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.

- [15] Hlaváč, V., Anděl, P. Metodická příručka k zajišťování průchodnosti dálničních komunikací pro volně žijící živočichy. Praha: AOPK ČR, 2001, 36 s.
- [16] MD ČR (2006). TP 180 Migrační objekty pro zajištění průchodnosti dálnic a silnic pro volně žijící živočichy. Liberec: Evernia a Ministerstvo dopravy ČR, odbor pozemních komunikací, 97 s. ISBN 80-903787-0-6.
- [17] Anděl, P.; Mináriková, T; Andreas, M. Mapa migračních koridorů pro velké savce. Praha: Evernia, AOPK ČR, 2010.
- [18] Romportl D. (ed.). Atlas fragmentace a konektivity terestrických ekosystémů v České republice. Praha: AOPK ČR, 2017, 32 s.

Poděkování

Tato práce vznikla jako součást projektu č.CK03000086 Průchodnost dopravní infrastruktury pro faunu jako podmínka bezpečné a udržitelné dopravy podpořeného Technologickou agenturou ČR v rámci programu Doprava 2020+.

25 years of ecoducts in the Czech Republic

Ivo Dostál

Transport Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00 Brno, Czech Republic

e-mail: ivo.dostal@cdv.cz

Abstract

When the R35 Velký Újezd - Lipník n/B section opened in July 1999, a new phenomenon entered the Czech landscape - the ecoduct. The paper provides a comprehensive assessment of the historical development of ecoducts in the Czech Republic from their first beginnings to the present day and their importance in biodiversity protection and transport sustainability. It also recalls the research on the effectiveness of their functioning in the protection of wildlife migration and ecosystem conservation within the framework of the TAČR project "Permeability of transport infrastructure for fauna as a condition for safe and sustainable transport" and the system of landscape connectivity protection in the Czech Republic, including methodologies aimed at reducing the impacts of linear infrastructure on fauna with regard to harmonization between the increasing pressure on biodiversity and the need for transport development.



Novinka v naší nabídce

Technika pro rázové a pádové zkoušky a vibrační měření

svm tech

www.svmtech.cz

Název:

Doprava, zdraví a životní prostředí, Sborník příspěvků

Grafická úprava:

Mgr. Radek Dočkal

Vydalo:

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Líšeňská 33a Brno, Česká republika

Číslo vydání:

I. vydání

Rok, místo:

2024, Brno

ISBN 978-80-88655-33-6 (online, pdf)

