

IDENTIFIKACE ZDROJŮ RIZIK KONTAMINACE OVZDUŠÍ TĚŽKÝMI KOVY S VYUŽITÍM STATISTICKÉ KORELACE

**Magdaléna Náplavová ¹⁾, Jiří Huzlík ²⁾, Pavel Budínský ³⁾, František Božek ⁴⁾,
Michael Pondělíček ⁵⁾**

- 1) Vysoká škola regionálního rozvoje, Žalanského 68/54, 163 00 Praha 17 – Řepy, e-mail: naplavovam@gmail.com
- 2) Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno
- 3) Fakultní nemocnice v Motole, V Úvalu 84, 150 06 Praha 5
- 4) Vysoká škola regionálního rozvoje, Žalanského 68/54, 163 00 Praha 17 – Řepy,
- 5) Vysoká škola regionálního rozvoje, Žalanského 68/54, 163 00 Praha 17 – Řepy,

Souhrn

Příspěvek se zaměřuje na stanovení korelace mezi vybranými těžkými kovy, specificky arsenem, kadmíem, olovem a niklem v prostředí městské silniční komunikace v Brně a tunelu Mrázovka, Praha. Za tímto účelem byla aplikována neparametrická metoda Spearmanova testu pořadové korelace. Bylo prokázáno, že korelace mezi sledovanými kovy v tunelu lze považovat za statisticky velmi významnou, a tudíž pochází z jednoho zdroje. Zatímco v městském prostředí bylo zjištěno, že kadmium a nikl pochází z různých zdrojů znečištění na rozdíl od kontaminace arsenem a olovem.

Klíčová slova: doprava, korelace, Spearmanova metoda, těžké kovy.

Úvod

V současnosti se ochrana životního prostředí stává vědeckou oblastí, ke které se upírá stále větší pozornost, a to jak pozorností odborné tak i laické. Je již všeobecně známo, že některé látky jsou schopny akumulace v organismech a složkách životního prostředí, kde později mohou uplatňovat svůj negativní vliv.

Na znečištění životního prostředí se mohou podílet jak organické, tak anorganické přírodní či uměle vytvořené látky. Všechny tyto životnímu prostředí nebezpečné látky mohou být produkovány buď přírodními, nebo antropogenními vlivy. Hlavní význam pro životní prostředí pak mají právě škodliviny antropogenního původu, protože s nimi si již příroda nedokáže poradit, zejména vyskytují-li se tyto polutanty ve složkách životního prostředí ve větším množství, než je přirozené.

Vliv dopravy a hlavně vliv automobilových emisí je sledován především v ovzduší. Sledován je celkový mechanismus škodlivého působení, toxicita, reaktivita v atmosféře a poměrné zastoupení škodlivin ve výfukových plynech. Zjišťovány jsou přímé důsledky zatížení ovzduší, a také odhad celkového množství znečišťujících látek. Významnými polutanty pocházejícími z dopravy jsou zejména oxid uhelnatý, oxid uhličitý, oxidy dusíku, těžké organické látky, polycyklické aromatické uhlovodíky, ketony, fenoly, dehet a těžké kovy. Právě zmíněné těžké kovy, především arsen, kadmium, nikl a olovo, jsou zástupci skupiny těžkých kovů, která se vyznačuje vysokou toxicitou jak pro lidský organismus, tak pro celé životní prostředí, a proto je nezbytné analyzovat ovzduší a provádět aplikaci protipatření ke snížení těchto škodlivin.

Stejně jako jiné vyspělé země, tak i Česká republika klade velký důraz na splňování emisních limitů, které jsou stanoveny národní legislativou. Dalším významným aspektem je vývoj nových technologií a náhradních paliv pro městskou hromadnou dopravu, což by mělo také napomoci ke snížení množství nebezpečných látek v ovzduší především v oblastech, ve kterých je zvýšená intenzita dopravy.

Analýza současného stavu

V současné době se chemické látky staly součástí všedního života a značně ovlivňují nás i naše okolí. Bylo prokázáno, že mnoho látek, které byly dříve považovány za relativně bezpečné, mohou

po delším působení v organismu vyvolat poškození [1]. Látka může ve své primární nebo pozměněné formě reagovat s deoxyribonukleovou kyselinou, a tím poškodit či pozměnit její genetickou informaci [2, 3]. Vážným důsledkem tohoto působení může být například vznik mutací, karcinogeneze nebo letalita [4].

Doprava a jí produkované emise jsou v posledních letech stále větší problém, a to nejen ve velkých městech, ale i v okolí páteřních komunikací vedoucích napříč krajinou. Emise z dopravy se tak na mnoha místech, společně s emisemi z domácích topenišť, stávají hlavním zdrojem znečišťování. Aby bylo možno aplikovat efektivní opatření, je nutné tyto emise kvantifikovat.

Mezi závažné kontaminanty produkované dopravou s prokazatelnými účinky na zdraví člověka náleží emise pevných prachových částic suspendovaných v ovzduší [5]. Tuhé částice jsou nosičem i řady anorganických látek, zvláště síranů, dusičnanů, amonných iontů, těžkých kovů, ale rovněž alergenů, plísní a mikroorganismů [6]. K minimalizaci emisí jistých skupin polutantů, přispívají specificky vyvíjená aditiva [7]. Výfukové plyny motorových vozidel jsou směsí chemických látek, jejichž složení závisí na druhu paliva, typu a stavu motoru a případném užití zařízení na snížení emisí. Citlivějšími skupinami lidí vůči negativním účinkům výfukových plynů jsou zejména děti a staří lidé, stejně jako osoby s dýchacími nebo srdečními chorobami.

Vybrané nebezpečné látky, jež unikají do ovzduší při spalování pohonných hmot, mohou podporovat tzv. skleníkový efekt a tak přispívají k dlouhodobému oteplování atmosféry. Mezi škodliviny, které znečišťují ovzduší, patří oxid uhelnatý, oxid uhličitý, metan, oxidy dusíku, těkavé organické látky, polychlorované dibenzodioxiny a polychlorované bifenoly. Škodliviny vznikající nedokonalým spalováním paliv patří zejména polycyklické aromatické uhlovodíky, ketony, fenoly, dehet, xyleny a benzen [7].

Z hlediska zdravotních rizik jsou jedním z největších zdrojů znečištění ovzduší v městských aglomeracích emise ze spalovacích motorů. Ačkoli motory vozidel mohou splňovat nové emisní normy při homologačních zkouškách za ideálních podmínek v laboratoři, nelze však zaručit, že odpovídající nízké emise má i po celou dobu reálného provozu. Závisí především na technologii motoru, technickém stavu, atmosférických a provozních podmínkách a hlavně způsobu jízdy [8].

Zdravotní efekt tuhých částic je významně ovlivněn jejich velikostí. Částice velikosti 10–100 μm jsou zachyceny v horních cestách dýchacích, nicméně i přesto mohou být pro lidské zdraví nebezpečné, zvláště obsahují-li těžké kovy [9]. Částice pod 10 μm pronikají do dolních částí dýchacích cest a zatěžují tak samočisticí schopnost plic. Částice menší než 2,5 μm se usazují v plicích, blokují reprodukci buněk a snižují obranyschopnost dýchacího traktu [10]. Dlouhodobé uchování takovýchto částic a na nich adsorbovaných kontaminantů představuje nebezpečí oxidačního poškození vrcholící v riziku toxicity a vytváří podmínky pro rozvoj virových i bakteriálních respiračních infekcí a možný přechod akutních zánětlivých změn do chronické fáze [9]. Částice ultra jemné frakce řádu setin μm se již chovají jako plyny a lze je prokázat ve vydechaném vzduchu [6].

Existence těžkých kovů v ovzduší se zjišťuje prostřednictvím měření prašného spadu. Výskyt těžkých kovů z dopravy je způsoben spalováním fosilních paliv, jež se dostanou do ovzduší ve formě emisí výfukových plynů z automobilu a mohou se tak šířit kilometry daleko od místa původního zdroje znečištění. K uvolňování těžkých kovů do ovzduší dochází také obrusem pneumatik, brzdového obložení, oděry silničního povrchu a ostatních částí automobilu [11]. Konkrétně dle [12] obrusem pneumatik dochází k uvolňování kadmia, olova, mědi a zinku do ovzduší a oděrem ostatních částí automobilu uniká do ovzduší především arsen, kadmium, chrom, olovo, železo aj.

Základní prvkem české legislativy v oblasti ovzduší je zákon č. 201/2012 Sb. [13], který upravuje přípustné úrovně znečištění a znečišťování ovzduší, vymezuje práva a povinnosti fyzických a právnických osob a působnost veřejné správy při ochraně ovzduší [14]. V zákoně č. 201/2012 Sb. [13] jsou uvedeny imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení za jeden kalendářní rok. Stanovuje také maximální koncentrace pro olovo, arsen, nikl a kadmium v ovzduší.

V případě stanovení imisních hodnot koncentrací je česká legislativa [13] v úplné shodě s legislativou evropskou [15, 16], kdy limitní koncentrace arsenu v ovzduší se pohybuje ve výši 6 ng m^{-3} a pro nikl 20 ng m^{-3} . Rozdíl přináší Světová zdravotnická organizace [17, 18], která nestanovuje bezpečnou

koncentraci v ovzduší pro arsen a nikl. V případě limitních koncentrací kadmia je hodnota koncentrace shodná ve všech třech úrovních na 5 ng m^{-3} a u olova ve výši $0,5 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$.

Použité metody a přístroje

Metody odběru vzorků

Odběry vzorků z ovzduší byly realizovány v souladu se standardními operačními postupy, pro částice PM_{10} dle standardu [19] a pro částice $\text{PM}_{2,5}$ dle normy [20]. Odběry probíhaly aktivním způsobem středněobjemovým vzorkovačem Leckel MVS6, Sven Leckel Ingenierbüro, Německo. Ovzduší bylo prosáváno pomocí čerpadla přes nitrocelulóзовý filtr po dobu 24 hodin při odběrové kapacitě cca 55 m^3 vzduchu. Aktivní způsob vzorkování umožňuje zároveň zakoncentrování těžkých kovů v odebíraném materiálu, jelikož lze přes jeden sorpční filtr prosát značné množství ovzduší (řádově až 10^3 m^3). Byla použita vzorkovací zařízení s definovaným rozměrem trysek umožňující odběry částic velikosti $10 \text{ } \mu\text{m}$ a $2,5 \text{ } \mu\text{m}$. Filtry se zachycenými prachovými částicemi byly po ukončení operace vloženy mezi teflonové drážky do odběrové hlavice, která je součástí zařízení [21]. Poté byly filtry se vzorky přeloženy exponovanou stranou k sobě, zabaleny do hliníkové fólie, vloženy do polyethylenového sáčku se zipovým uzávěrem a umístěny do chladicího boxu. Po převozu do laboratoře byly vzorky do doby analýzy uchovávány v temnu v prostředí boxu, za stabilní teploty 25°C , atmosférického tlaku a relativní vlhkosti 50 %.

Metody analýzy vzorků

Kvantum zachycených prachových částic na filtrech bylo stanoveno gravimetricky na mikrováhách MX5A (Mettler-Toledo, USA/Švýcarsko).

K separaci analyzovaných kovů bylo použito mikrovlnné zařízení Speedwave SW-4, Berghof, Německo. Do teflonové mineralizační nádoby byl vložen celý filtr společně s odpovídajícím množstvím reagentů, která obsahovala 5 ml kyseliny dusičné a 0,5 ml kyseliny chlorovodíkové. Nádoby se uzavřely víčkem s tlakovou pojistkou a umístili se do mineralizačního rotoru. Ten byl následně vložen do mikrovlnné pece a byl zahájen proces mineralizace při teplotě 80°C dle nastaveného časového programu 30 minut, z toho 20 minut zahřívání a 10 minut chlazení. Po ukončení programu, vychladnutí nádobek a oplachu víčka, byl mineralizát kvantitativně převeden do 25 ml odměrné baňky. Veškeré použité nádobí bylo před separací vyluhováno v 5% kyselině dusičné, řádně umyto a osušeno [22].

Ke stanovení koncentrací analyzovaných těžkých kovů byl aplikován přístroj ICP-MS Spektrometr 8800 Triple Quadrupole, Agilent, Japonsko. Přístroj kombinuje vysoké teploty zdroje indukčně vázaného plazmatu (ICP) s hmotnostním spektrometrem (MS). Zdroj ICP převede proudem argonu atomy prvků ve vzorku na ionty, které jsou následně separovány a detekovány pomocí hmotnostního spektrometru [23]. V kvadrupólovém detektoru MS, kam z ICP kolony ionty jednotlivých kovů postupně přicházely, se dráha nabitých částic zakřivila úměrně intenzitě magnetického pole kvadrupólu. Výsledkem bylo hmotnostní spektrum, jehož intenzita je úměrná koncentraci každého kovu ve vzorku a profil (daný poměrem M/Z jednotlivých peaků), charakterizující jeho identitu.

Připravené mineralizáty ze vzorků filtrů a kalibračních roztoků získaných z certifikovaných referenčních materiálů pro jednotlivé prvky ze zásobních standardních roztoků byly podrobeny úpravě a kvantitativní analýze. Kalibrační roztoky měly koncentraci 0; 1; 10; 100 a $1000 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$.

Následně byly kalibrační roztoky a analyzované vzorky přeneseny do plastových zkumavek, které byly umístěny do autosampleru. Po spuštění přístroje a zvolení vhodných metod měření vycházejících z doporučení výrobce, byly nejprve provedeny kalibrace jednotlivých prvků a analýza vzorků. Měření probíhalo podle příslušného návodu k použití přístroje a doporučení výrobce [23]. Výsledky neznámých obsahů prvků ve vzorku byly měřeny a vyhodnoceny metodou kalibrační křivky s vnitřním porovnávacím standardem ^{209}Bi pro stanovení olova a ^{115}In pro stanovení ostatních prvků.

Vzorek se při analýze nasál peristaltickou pumpou do zmlžovače společně s roztokem interního standardu, kde vznikl jemný aerosol, který se dále odvál nosným plynem, argonem, do plazmové hlavice. Tam došlo k desolvataci, atomizaci a ionizaci vzorku. V prvním kvadrupólu a v kolizně reakční

cele proběhlo odstranění interferentů a vyselektování hledaných iontů. V koncovém kvadrupólovém analyzátoru dochází k propuštění iontů na základě poměru hmoty a náboje. Prošlé ionty se následně detekují.

Jednotlivé meze stanovitelnosti byly vymezeny pro sledované kovy následovně, pro arsen 287,0 ppt, nikl 18,0 ppt, kadmium 1,7 ppt a olovo 11,3 ppt.

Hodnocení korelací obsahu těžkých kovů v kontaminovaném ovzduší

Protože nebyla známa distribuce souborů naměřených koncentrací jednotlivých těžkých kovů, byla k porovnání aplikována neparametrická metoda Spearmanova koeficientu pořadové korelace [24]. Předpokladem aplikace této metody je, aby oba soubory měly stejný počet dat, nesmí se zaměnit jejich pořadí a oba porovnávané údaje o koncentracích $\tilde{c}_{i,hmx,u}$ a $\tilde{c}_{i,hmy,u}$, typicky ve stejném časovém období, musí být na témže u -tém řádku. Spearmanův korelační koeficient $r_{Sp}(\tilde{c}_{i,hm})$ pro každý pár ze sledovaných těžkých kovů hmx a hmy byl vypočten dle vztahu (1):

$$r_{Sp}(\tilde{c}_{i,hm}) = 1 - \frac{6 \times \sum_{u=1}^n D_{i,u}^2(\tilde{c}_{i,hm,u})}{n \times (n^2 - 1)} \quad (1)$$

v němž $D_{i,u}^2(\tilde{c}_{i,hm,u})$ představuje druhou mocninu rozdílu mezi pořadím hodnot koncentrace $\tilde{c}_{i,hmx,u}$ sledovaného těžkého kovu hmx a hodnot koncentrace $\tilde{c}_{i,hmy,u}$ porovnávaného těžkého kovu hmy příslušné u -té korelační dvojice a n je počet korelačních dvojic. Vypočtený koeficient se porovná s tabelovanými kritickými hodnotami Spearmanova korelačního koeficientu $r_{Sp}(\alpha, n)$ pro zvolenou kritickou oblast α a počet korelačních dvojic n [24]. Jestliže je $|r_{Sp}(\tilde{c}_{i,hm})| > r_{Sp}(\alpha, n)$, koeficient pořadové korelace je významný na hladině významnosti α . Pakliže $|r_{Sp}(\tilde{c}_{i,hm})| < r_{Sp}(\alpha, n)$ je závislost mezi oběma soubory dat na hladině významnosti α nevýznamná [24].

Výsledky a diskuze

Odběr vzorků v lokalitě městské komunikace proběhl v areálu Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v letech 2006–2007 v osmi a v roce 2015 v jedné týdenní kampani. Zařízení k odběru prachových částic bylo situováno cca 8 m od osy vozovky, jak je zřejmé z obrázku 1. Lokalita představuje hustě osídlenou oblast, kde jsou situovány obytné čtyřpatrové domy, jazyková škola, základní a mateřská škola. Zástavba na určitých místech vytváří kaňon zabraňující významnému rozptýlení prachových částic s adsorbovanými polutanty. Frekvence dopravy se 4% podílem těžkých vozidel činí cca $3,4 \times 10^4$ vozidel denně a prakticky se v období let 2006–2015 neměnila [25], takže lze oprávněně očekávat, že nebude významným způsobem ovlivňovat koncentraci zachycených těžkých kovů na pevných částicích.



Obrázek 1 Odběrové místo, lokalita Kounicova/Kotlářská v Brně

V prvním časovém období bylo odebráno celkem 56 vzorků v měsících dubnu, květnu, červnu, srpnu, říjnu/listopadu roku 2006 a lednu, únoru/březnu roku 2007. Odběry reflektovaly měnící se klimatické podmínky v průběhu roku. Zmíněná měření byla doplněna 8 vzorky v měsíci březnu roku 2015. Zpracováním dat byly získány mediánové koncentrace zkoumaných těžkých kovů v jednotlivých kampaních. Přehled mediánových koncentrací je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1 **Mediánové koncentrace těžkých kovů v jednotlivých kampaních v lokalitě Kotlářská/Kounicova**

Kampaň	Termín odběru	Mediánové koncentrace kovů [mg m ⁻³]			
		Arsen	Kadmium	Nikl	Olovo
1.	04. 04. – 10. 04.	1,2E-06	5,0E-07	3,7E-06	1,6E-05
2.	23. 05. – 29. 05.	1,3E-06	6,0E-07	4,4E-06	1,2E-05
3.	27. 06. – 03. 07.	7,0E-07	3,0E-07	4,7E-06	9,4E-06
4.	22. 08. – 28. 08.	6,0E-07	3,0E-07	3,0E-06	1,3E-05
5.	10. 10. – 16. 10.	6,0E-07	1,0E-06	2,9E-06	2,7E-05
6.	28. 11. – 04. 12.	1,9E-06	8,0E-07	8,0E-06	3,6E-05
7.	16. 01. – 22. 01.	2,5E-06	9,0E-07	6,6E-06	4,2E-05
8.	27. 02. – 04. 03.	1,8E-06	3,0E-07	5,1E-06	1,6E-05
9.	02. 03. – 08. 03.	6,0E-07	2,0E-07	2,7E-06	5,2E-06

Jako modelové místo odběru vzorků v tunelech byl zvolen tunel Mrázovka nacházející se na území města Prahy, jak je demonstrováno na obrázku 2. Tunel je součástí městského okruhu a jeho délka činí 1 260 m s rozdělením jízdních směrů do jednotlivých tubusů. Intenzita dopravy v místě měření byla v roce 2015 23 000 vozidel za den s 96% výskytem osobních automobilů.



Obrázek 2 **Odběrové místo, lokalita tunel Mrázovka v Praze**

Odběrové zařízení prachových částic aerodynamického průměru 10 μm bylo nutné situovat minimálně 1,5 m mezi krajem vozovky a stěnou tunelu, takže jeho vzdálenost od osy vozovky činila cca 3 m. Pro zabezpečení odpovídajících aerodynamických podmínek, bylo současně zapotřebí, aby délka prostoru paralelně s vozovkou činila minimálně 2,5 m. Z těchto důvodů byl jako nejvhodnější místo vzorkování vybrán jeden z odstavných zálivů vybudovaných v tunelu. Současně s touto podmínkou bylo nutné zajistit odběr elektrické energie v místě vzorkování pro samotný provoz přístroje.

Odběr vzorků v tunelu proběhl v roce 2015 ve třech týdenních kampaních, aby postihly jak týdenní variabilitu složení emisí, tak i dopravního provozu. Ve zkoumaném časovém období bylo odebráno celkem 21 vzorků v měsících únoru, červnu a září. Odběry reflektovaly měnící se klimatické podmínky v průběhu roku. Zpracováním dat byly získány mediánové koncentrace zkoumaných těžkých kovů v jednotlivých kampaních. Přehled mediánových koncentrací je uveden v tabulce 2.

Tabulka 2 **Mediánové koncentrace těžkých kovů v jednotlivých kampaních v lokalitě Mrázovka**

Kampaň	Termín odběru	Mediánové koncentrace kovů [mg m ⁻³]			
		Arsen	Kadmium	Nikl	Olovo
1.	20. 02. – 26. 02.	7,9E-07	1,0E-07	2,5E-06	4,8E-06
2.	19. 06. – 25. 06.	8,6E-07	4,3E-08	3,9E-06	2,3E-06
3.	18. 09. – 24. 09.	1,7E-06	1,2E-07	6,4E-06	4,2E-06

Logicky je možné usuzovat, že zejména v městském environmentu komunikací budou přítomny těžké kovy, ale i jiné polutanty i z jiných zdrojů znečištění. Za tímto účelem byl proveden Spearmanův test pořadové korelace ke zjištění korelace mezi studovanými těžkými kovy. Neparametrický Spearmanův test byl zvolen zejména z důvodu neznalosti symetrie rozdělení dat a zvláště jejich nízkého počtu n .

Testování může být obecně provedeno na různých hladinách významnosti testu α . Jestliže se prokáže závislost na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ má se za to, že závislost je statisticky významná s^* , prokáže-li se závislost na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ hovoří se, že závislost je statisticky vysoce významná s^{**} a v případě $\alpha = 0,001$ jedná se o korelaci statisticky velmi vysoce významnou s^{***} . Nevýznamná závislost testovaných párů se označuje symbolem ns.

K posouzení korelace dvojic naměřených hodnot sloužily mediánové koncentrace $\tilde{c}_{i,hmx}$ a $\tilde{c}_{i,hmy}$ kovů hmx a hmy uvedené v jednotlivých kampaních na městské komunikaci a v tunelu uvedených v tabulce 1, resp. v tabulce 2. Vzhledem k tomu, že byla sledována koncentrace čtyř rozdílných těžkých kovů, je počet párů roven kombinaci bez opakování ze čtyř prvků druhé třídy, tedy celkový počet srovnání činil $\binom{4}{2}$, tj. šest párů. Výstupy testu z každé zvolené silniční komunikace získané využitím vzorce (1) jsou zaznamenány v tabulce 3 a 4.

Tabulka 3 **Spearmanův test párového porovnání korelace koncentrací těžkých kovů na městské silniční komunikaci**

Páry těžkých kovů	Počet dvojic n	Spearmanův korelační koeficient r_{Sp}			Stupeň korelace
		Hodnota $r_{Sp}(\tilde{c}_{i,hm})$	Kritická hodnota $r_{Sp}(\alpha = 0,05, n)$	Kritická hodnota $r_{Sp}(\alpha = 0,01, n)$	
As/Cd	9	0,425	0,618	0,755	ns
As/Ni	9	0,925	0,618	0,755	s^{**}
As/Pb	9	0,629	0,618	0,755	s^*
Cd/Ni	9	0,333	0,618	0,755	ns
Cd/Pb	9	0,804	0,618	0,755	s^{**}
Ni/Pb	9	0,562	0,618	0,755	ns

Jak je evidentní z tabulky 3 nebyla prokázána korelace pro páry arsen/kadmium, kadmium/nikl a nikl/olovo. Odtud lze dedukovat, že kadmium a patrně i nikl v místě měření na křižovatce Kotlářská/Kounicova pochází i z jiných zdrojů než z dopravy.

Hodnoty v tabulce 4 prokazují, že závislost mezi všemi sledovanými páry těžkých kovů je statisticky vysoce významná, z čehož vyplývá, že všechny kovy v tunelu Mrázovka pocházejí z dopravy. Toto zjištění je docela logické, k relaci k uzavřenosti environmentu uvnitř tunelu.

Tabulka 4 **Spearmanův test párového porovnání korelace koncentrací těžkých kovů v tunelu**

Páry těžkých kovů	Počet dvojic n	Spearmanův korelační koeficient r_{Sp}			Stupeň korelace
		Hodnota $r_{Sp}(c_{i,jm})$	Kritická hodnota $r_{Sp}(\alpha = 0,05, n)$	Kritická hodnota $r_{Sp}(\alpha = 0,01, n)$	
As/Cd	21	0,916	0,415	0,532	s**
As/Ni	21	0,706	0,415	0,532	s**
As/Pb	21	0,772	0,415	0,532	s**
Cd/Ni	21	0,547	0,415	0,532	s**
Cd/Pb	21	0,755	0,415	0,532	s**
Ni/Pb	21	0,783	0,415	0,532	s**

Závěr

Jedním z významných polutantů podílejících se aktuálně na zhoršování zdravotního stavu obyvatelstva a zatížení ekosystému je skupina těžkých kovů, a to především arsen, kadmium, nikl a olovo. Jejich nebezpečnost spočívá zejména ve skutečnosti, že jsou vázány na pevné prachové částice, jejichž aerodynamický průměr se v důsledku aplikace katalyzátorů významně snížil do oblasti nanočástic na rozdíl od částic s aerodynamickým průměrem pohybujícím se v jednotkách mikrometru, nejsou tyto částice zachyceny horními cestami dýchacími, ale dostávají se až do alveol, kde spolu s navázanými těžkými kovy a dalšími škodlivinami setrvávají a výrazně přispívají ke zdravotním problémům ať již ve formě genotoxických či nekarcinogenních rizik. A odtud vyplývá vysoká aktuálnost a nevyhnutelná potřeba analýzy a řešení tohoto problému.

S využitím neparametrické metody Spearmanova testu pořadové korelace bylo zjištěno, že v tunelu Mrázovka, Praha, byla shledána korelace mezi všemi sledovanými kovy, tudíž lze tvrdit, že všechny kovy pochází z dopravy. V lokalitě křižovatky Kotlářská/Kounicova, Brno, nebyla korelace prokázána mezi třemi páry, a proto lze odvodit, že kovy kadmium a patrně i nikl zde pochází i z jiných zdrojů nežli jen z dopravy.

Literatura

- [1] Malachová, K., 1993. *Mutagenita a karcinogenita kontaminantů životního prostředí*. Spisy prací přírodovědecké fakulty Ostravské university, Ostrava. ISBN: 80-7042-707-8.
- [2] Roberts, R. A., Smith, R. A., Safe, S., Szabo, C., Tjalkens, R. B., Robertson, F. M., 2010. Toxicological and pathophysiological roles of reactive oxygen and nitrogen species. *Toxicology*. 276, s. 85 - 94
- [3] Valavanidis, A., Vlachogianni, T., Fiotakis, K., Loidas, S., 2013. Pulmonary oxidative stress, inflammation and cancer: Respirable particulate matter, fibrous dusts and ozone as major causes of lung carcinogenesis through reactive oxygen species mechanisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 10, s. 3886 – 3907.
- [4] Quillardet, P et al. *Use of the terms mutagenicity and genotoxicity*. Mutation Research, 132, s. 141 –142, 1984. ISSN: 0027-5107.
- [5] Douglas W. et al., 1989. Effects of Inhalable Particles on Respiratory Health of Children. *American Review of Respiratory Disease*. Vol. 139, No. 3, s. 587-594.
- [6] Mareš, J., Komár, A., 2014. Environmental Protection and Possible Reduction of Emissions in Burden Using Nanotechnology ENVIROXTM Additive to the Combustion Engines. *In Proceeding book, The International Conference Challenges for Science and Research in the Crisis Era*. s. 258-266.

- [7] Adamec, V., 2006. *Bezpečnostní rizika dopravy, možnosti snižování následků a prevence*. [Habilitation work]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava. s. 15-57.
- [8] Vojtíšek, M., Pechout, M., Dittrich, L., Štolcpartová, J. 2014. *Měření nanočástic ve venkovním ovzduší mobilním klasifikátorem – úvod*. Projekt MEDETOX: EU LIFE+ program, project LIFE10 ENV/CZ/651 2011-2016. [2015-03-16]. URL: <http://www.praha.eu/public/3a/a2/9e/1887687_510594_Mereni_nanocastic_ve_venkovni_m_ovzdusi.pdf>.
- [9] Verma, M. K. et al., 2014. The Traffic Linked Urban Ambient Air Superfine and Ultrafine PM1 Mass Concentration, Contents of Pro-Oxidant Chemicals, and Their Seasonal Drifts in Lucknow, India, *Atmospheric Pollution Research*. Vol. 5, s. 677-685.
- [10] Kreyling, W. G., Semmler-Behnke, M., Moller, W., 2006. Ultrafine Particle-Lung Interactions: Does Size Matter? *Journal of Aerosol Medicine-Deposition Clearance and Effects in the Lung*. Vol. 19, pp. 74-83.
- [11] Snilsberg, B., Myran, T., Saba, R. G., 2006. Analysis of dust emission from pavement abrasion in Trondheim, Norway. *Proceedings. 1st Transport Research Arena Europe*. TRA, Göteborg, Sweden.
- [12] Jandačka, D., Ďurčanská, D., Huzlík, J., 2012. Identify sources of particulate matter from road transport by statistical methods. In *Proceedings of the 12th International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication"*: RelStat'12, Riga (Lotyšsko). [CD-ROM]. Riga: Transport and Telecommunication Institute, p. 27-35. ISBN 978-9984-818-49-8.
- [13] Ministerstvo životního prostředí České republiky (MŽP ČR), 2012. Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů České republiky*.
- [14] Ministerstvo životního prostředí České Republiky (MŽP ČR), 2008. *Legislativa a metodické pokyny* [online]. [2016-01-12]. URL: <http://www.mzp.cz/cz/legislativa_metodicke_pokyny_ovzdusi>
- [15] Evropský parlament a Rada Evropské Unie (EP a RADA), 2004. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/107/ES ze dne 15. prosince 2004 o obsahu arsenu, kadmia, rtuti, niklu a polycyklických aromatických uhlovodíků ve vnějším ovzduší. In: *EUR-Lex*. [online]. [2016-04-04]. URL: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1409226273120&uri=CELEX:02004L0107-20090420>>
- [16] Evropský parlament a Rada Evropské Unie (EP a RADA), 2008. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES ze dne 21. května 2008 o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu. In: *EUR-Lex*. [online]. [2016-04-04]. URL: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX:32008L0050>>
- [17] World Health Organization (WHO), 2010a. *Exposure to cadmium: a major public health concern*. Geneva: WHO Document Production Services, pp. 1-5.
- [18] World Health Organization (WHO), 2010b. *Exposure to lead: a major public health concern*. Geneva: WHO Document Production Services, pp. 1-6.
- [19] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). 2014. *ČSN EN 12341 (835612). Kvalita ovzduší - Referenční gravimetrická metoda stanovení hmotnostní koncentrace frakcí aerosolových částic PM10 a PM2,5*. Praha: ÚNMZ, 56 s. Třídící znak: 835612.
- [20] Český normalizační institut (ČNI). 2006. *Česká technická norma ČSN EN 14907. Kvalita ovzduší - Normovaná gravimetrická metoda stanovení frakce PM2,5 aerosolových částic*. Praha: ČNI, 28 s. Třídící znak: 83 5613.
- [21] Leckel, 2008. *Small Filter Device LVS3 / MVS6*. [online]. [2016-03-11]. URL: http://www.leckel.de/index.php?option=com_content&task=view&id=23&Itemid=98

- [22] RMI, 2008. *Microwave Digestion System*. [online]. [2016-03-12]. URL: <http://www.rmi.cz/download.php?group=stranky3_soubory&id=1530>
- [23] Agilent Technologies, 2014. *Agilent 8800 Triple Quadrupole ICP-MS*. [online]. [2016-03-11]. URL: <http://www.chem.agilent.com/Library/brochures/5991-0079EN_8800_ICPQQQ_Brochure.pdf>.
- [24] Weathington, B. L., Cunningham, C. J. L., Pittenger, D. J., 2012. *Understanding Business Research*. 1st Ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., pp. 265-266; 454.
- [25] Brněnské komunikace, a.s., 2006 – 2015. *Intenzita dopravy v roce 2006 – 2015*. [Mapové soubory]. Brno: Útvar dopravního inženýrství.