

Stavební práce a znečištění ovzduší

Mgr. Jáchym Brzezina, Český hydrometeorologický ústav, jachym.brzezina@chmi.cz

Mgr. Šárka Antošová, Český hydrometeorologický ústav, sarka.antosova@chmi.cz

Abstrakt

Stavební práce probíhají v podstatě stále a téměř všude. Kromě žádoucího cíle však s sebou nesou i jisté nežádoucí dopady. Jedním z nich je i negativní vliv na kvalitu ovzduší. V některých případech mohou být tyto následky v některých lokalitách zcela dominantní, jak jsme se mohli přesvědčit na dvou příkladech z nedávné doby v Brně.

Klíčová slova: *stavební práce, kvalita ovzduší, suspendované částice PM₁₀, resuspenze*

Keywords: *construction works, air quality, suspended particles PM₁₀, resuspension*

Úvod

Stavební činnost, včetně například demoličních prací, může velmi výrazně lokálně ovlivnit kvalitu ovzduší. To lze dobře ukázat na případové studii z brněnské automatické stanice imisního monitoringu Brno-Zvonařka.

Stanice imisního monitoringu Brno-Zvonařka je průmyslovou stanicí s více než 10letou časovou řadou měření. Stanice se nachází nedaleko hlavního nádraží v Brně, v těsné blízkosti rušné čtyřproudové komunikace, nákupního centra a autobusového nádraží Zvonařka.

V druhé polovině roku 2018 byly poblíž stanice zahájeny rozsáhlé stavební práce, a to hned na několika místech. V roce 2018 byl na stanici překročen imisní limit pro 24h koncentraci suspendovaných částic PM₁₀. První dva měsíce roku 2019 se situace ještě výrazněji zhoršila a maximální naměřené hodnoty koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ dosahovaly v únoru i více než 10násobku denního imisního limitu, samotný denní průměr pak byl překročen v některé dny i více než třikrát.

Za celý rok 2019 došlo na stanici k 64 překročením 24h imisního limitu pro PM₁₀, k překročení tohoto limitu přitom dochází už při více než 35 překročeních. Vyšší počet překročení měla v České republice už pouze stanice Věřňovice ležící na polských hranicích, a která je dlouhodobě stanicí s nejvyššími koncentracemi PM₁₀ v České republice.

Na základě výrazného zhoršení byla provedena komplexní studie zahrnující účelová měření koncentrací ale i částicovou analýzu skenovacím elektronovým mikroskopem.

Metoda

Stanice Brno-Zvonařka, ve správě Statutárního města Brna, se nachází na ulici Opuštěná v Brně, kousek od křižovatky Opuštěná-Trnitá, v nadmořské výšce 200 m. Jedná se o průmyslovou (po překlasifikaci na základě těchto měření, původně se jednalo o stanici dopravní a takto bude klasifikována i po skončení stavební činnosti) městskou stanici nacházející se přibližně 10 m od velmi frekventované čtyřproudové komunikace.

Na stanici probíhá automatický měřicí program, který zahrnuje kontinuální monitoring několika znečišťujících látek a meteorologických podmínek. Měřicí program popisuje Tabulka 1.

Tabulka 1 – měřicí program na stanici Brno-Zvonařka

Veličina	Metoda analýzy	Datum zahájení	Datum ukončení
oxid dusnatý (NO)	chemiluminiscence	1. 1. 2000	-
oxid dusičitý (NO ₂)			
oxidy dusíku (NO _x)			
částice PM ₁₀	optoelektronická metoda	1. 12. 2007	-
částice PM _{2,5}			
částice PM ₁			
oxid uhelnatý (CO)	IR-korel. absorpční spektrometrie	1. 1. 2007	-
oxid siřičitý (SO ₂)	UV-fluorescence	1. 1. 2000	17. 6. 2013
ozon (O ₃)	UV-absorpce	23. 3. 2005	15. 5. 2018
SPM (suspendované částice)	radiometrie	1. 1. 2000	17. 11. 2007
teplota vzduchu	odporová metoda	1. 1. 2000	
vlhkost vzduchu	kapacitní čidlo	1. 1. 2000	
rychlost větru	optoelektronická metoda (dříve elektromagnetická metoda)	1. 1. 2000	
směr větru	optoelektronická metoda	1. 1. 2000	
atmosférický tlak		1. 1. 2000	

V rámci této studie byla primárně analyzována data ze stanice, byla ale provedena i kontrolní gravimetrická stanovení (referenční metoda) koncentrací prachu za účelem ověření správné funkčnosti prachoměřů na stanici a bylo provedeno vzorkování na polykarbonátový filtr nízkobjemovým vzorkovačem pro následnou částicovou analýzu skenovacím elektronovým mikroskopem.

Stavební práce

V analyzované periodě září 2018 až únor 2019 včetně, probíhaly v blízkém okolí rozsáhlé stavební práce. Výstavba či demolice budov, dopravních komunikací či jiných prvků infrastruktury může velmi zásadně ovlivnit lokální kvalitu ovzduší.

Stavební práce mohou koncentrace znečišťujících látek v ovzduší ovlivňovat několika různými způsoby. Zde je seznam těch hlavních z nich:

- vyšší prašnost ze samotné stavby
- resuspenze již usazeného prachu ze stavby automobily, chodci apod.
- narušená plynulost dopravy (při různých uzavírkách z důvodu stavebních prací)
- vyšší znečištění z nákladních automobilů vozících stavební materiál na místo stavby v okolí, případně obecně stavebních strojů používaných na stavbě (dieselové agregáty, bagry apod.).

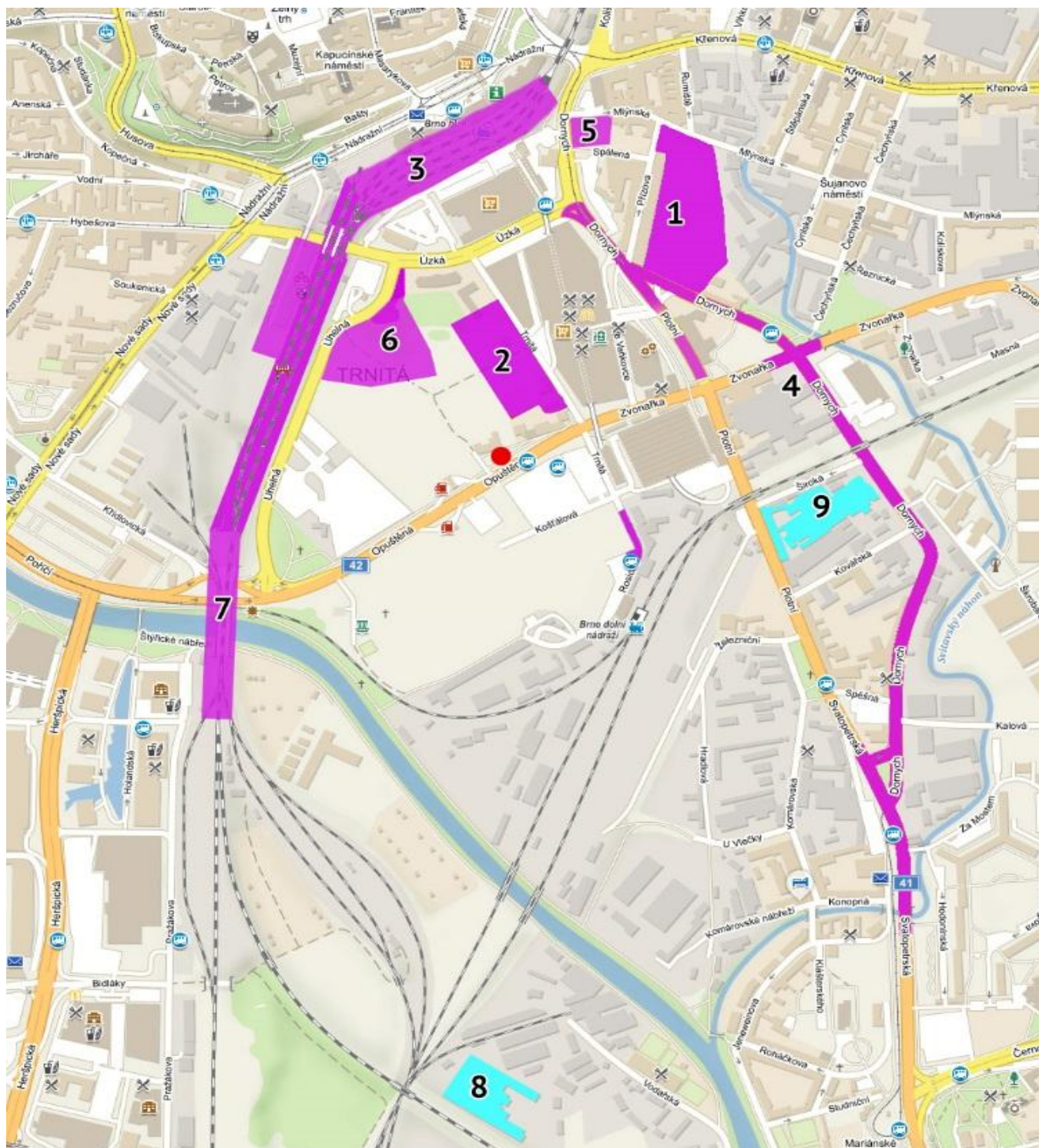
Velmi výrazný vliv zde také hrají meteorologické podmínky, například rychlost a směr větru či srážky. U srážek, ať už dešťových či sněhových, je vliv na kvalitu ovzduší pozitivní. U rychlosti větru není vliv zcela jednoznačný a vždy záleží na konkrétní situaci. Na jednu stranu vede vyšší rychlost větru k lepšímu promíchávání vzduchu a tedy snižování koncentrací znečišťujících látek v dané lokalitě, na stranu druhou může vyšší rychlost větru vést k rozfoukávání prachu ze stavby do okolí a u stavebních činností lze říci, že spíše převažuje negativní vliv vyšších rychlostí větru, pokud jsou prováděny prašné aktivity, jako například demolice apod. Směr větru je pak klíčový pro směr šíření znečišťujících látek od zdroje.

Metody omezení znečišťování ovzduší stavebními činnostmi

Do jisté míry jsou emise ze stavební činnosti nevyhnutelné. Existují však metody, jak tyto emise alespoň snížit, mezi ty patří například:

- zakrývání - přikrývání materiálu, který by se prouděním mohl dostat do ovzduší (například hromada písku). Platí například také pro zakrývání nákladního prostoru nákladních automobilů přepravujících stavební materiál.
- kropení – zvlhčování materiálu před jeho přepravou, prací s ním, ale také například kropení vozovek, což omezuje resuspenzi.
- čištění – aktivní odstraňování například prachu z vozovek, špíny z kol nákladních automobilů před jejich odjezdem z rozestavěné lokality apod.
- vysávání - využívání vysavače při vrtání apod., tak aby se prach nedostával přímo do ovzduší.
- zdroje energie – využívání alternativních zdrojů energií, kde to je možné (například využívání místních elektrických přípojek na úkor dieselového agregátů).
- předpříprava – pokud je to možné, vozit na místo stavby materiál už připravený (například nařezaný).
- načasování prací – odložení prašných aktivit v době nepříznivých meteorologických podmínek (vysoké rychlosti větru, intenzivní sucho).
- plánování – plánování časového harmonogramu stavebních prací tak, aby se v jedné chvíli nestavělo na příliš mnoha místech v jedné lokalitě a vliv těchto činností se nesčítal. Důležité je také plánování případných objízdnych tras, pokud stavební činnost ovlivňuje průjezdnost dopravních komunikací.
- kontrola – pravidelné kontroly dodržování opatření vedoucích ke snížení znečišťování ovzduší a monitorování situace

Následující mapa (obr. 1) ukazuje staveniště v okolí stanice Brno-Zvonařka v době analýzy.



Obrázek 1 - orientační mapa rozestavěných ploch v okolí stanice imisního monitoringu Brno-Zvoňarka s vyznačením rovněž dvou slévárenských objektů. Vyznačené stavby jsou pouze orientační a aktuální rozsah staveniště se může mírně odlišovat. Červený bod značí lokalitu umístění stanice imisního monitoringu. 1 – Vlněna Office Park, 2 – Palác Trnítá, 3 – rekonstrukce Hlavního nádraží Brno, 4 – Projekt Tramvaj Plotní, 5 – stavební práce na rohu ulic Mlýnská a Dornych, 6 – deponie zemin při ulici Uhelná, 7 – rekonstrukce železničního mostu přes ulici Opuštěná, 8 – slévárna Feramo Metallum International s.r.o., 9 – slévárna UXA spol. s.r.o.

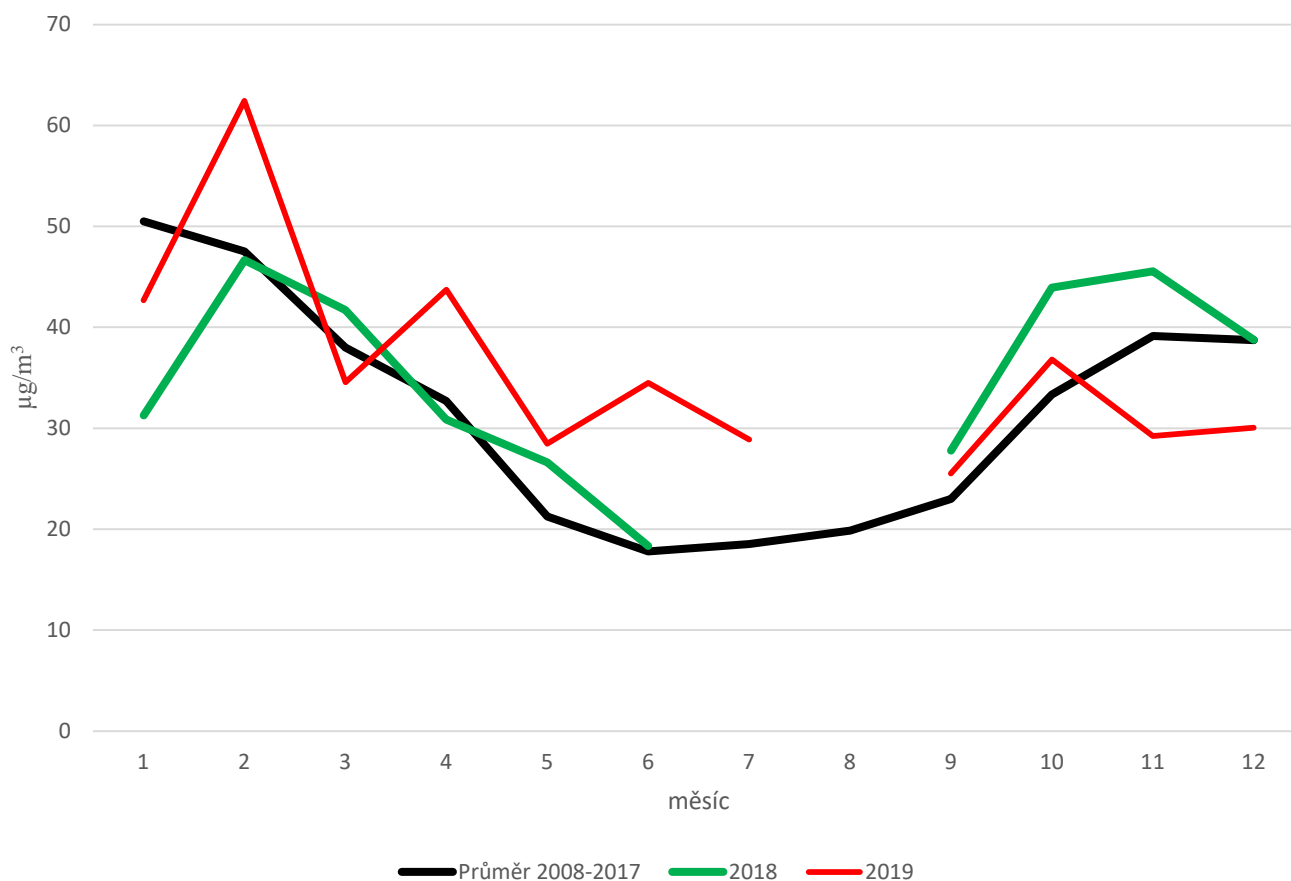
Výsledky

Kontrolní gravimetrické stanovení koncentrací PM_{10} ukázalo, že prachoměry měří správně, naměřené odchylky jsou v rámci příslušné chyby měření.

Suspendované částice

Suspendované částice (particulate matter, PM) představují komplexní, různorodou směs extrémně malých pevných částic a kapiček v ovzduší, organické i anorganické povahy. Základní dělení PM je založeno na jejich aerodynamickém průměru. Právě jejich velikost je totiž klíčová pro dopady na zdraví (Kim, 2015). Čím menší je velikost částic, tím hlouběji pronikají do dýchacího systému a ultrajemné částice ($< 0,1 \mu m$) se můžou dostávat až do krevního oběhu. Hlavním zdrojem suspendovaných částic PM_{10} i $PM_{2,5}$ je v České republice lokální vytápění domácností, tedy primárně topení tuhými palivy ve starých kotlech.

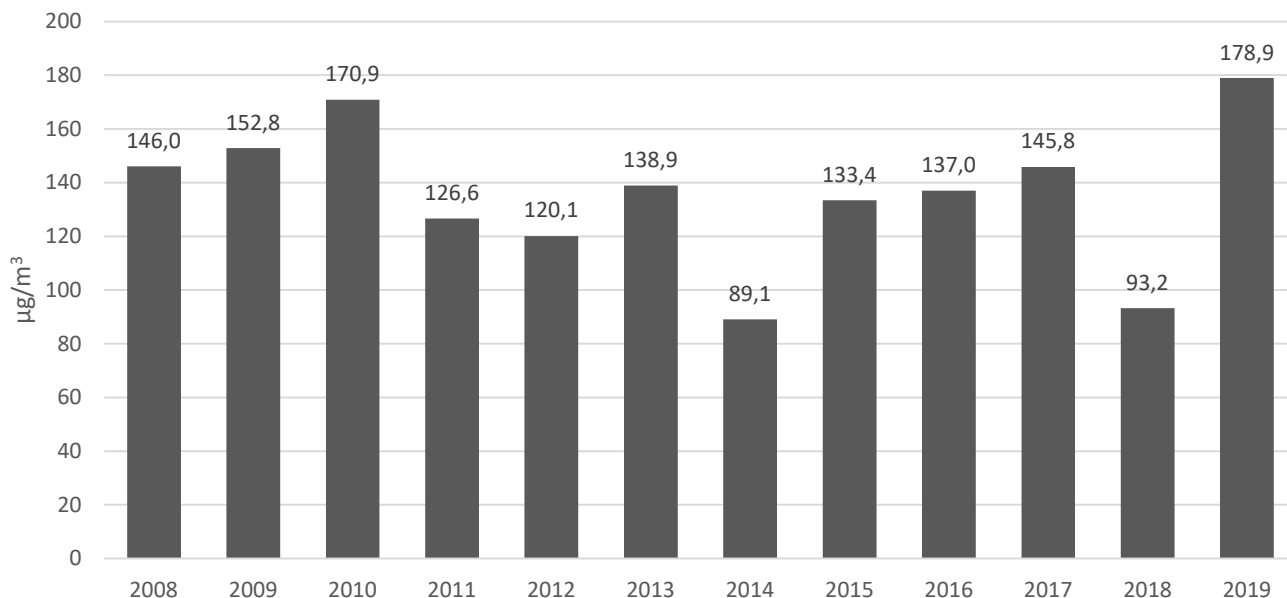
Následující graf (obr. 2) ukazuje průměrné měsíční koncentrace PM_{10} na stanici Brno-Zvonařka pro roky 2018, 2019 a desetiletý průměr 2008-2017.



Obrázek 2 - průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM_{10} . Černě desetiletý průměr 2008-2017, zeleně rok 2018 a červeně rok 2019.

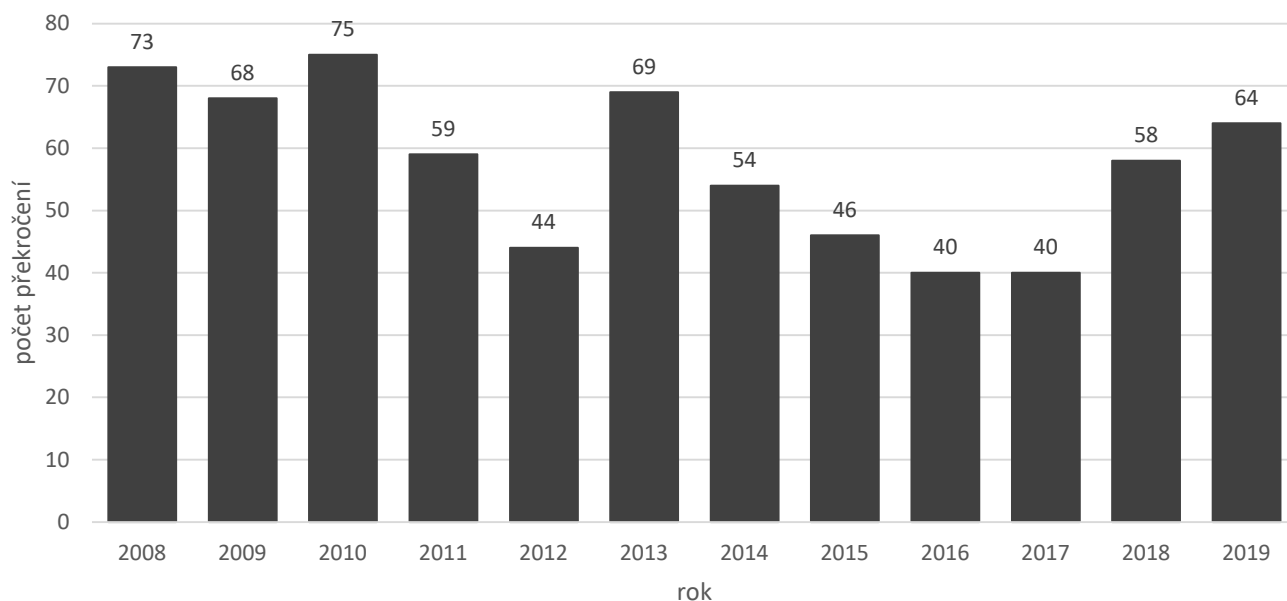
Na grafu je dobře patrná změna od standardního průběhu v říjnu 2018, kdy došlo k prudkému nárůstu měsíčního průměru, vysoké koncentrace pokračovaly v listopadu. V prosinci 2018 byly koncentrace takřka shodné s dlouhodobým průměrem. V lednu 2019 byly dokonce mírně pod průměrem 2008-2017, naopak v únoru opět výrazně narostly. Po zbytek roku pak byly po většinu měsíců do října nadprůměrné, pouze v listopadu a prosinci podprůměrné.

Následující graf (obr. 3) ukazuje maximální průměrnou denní koncentraci v jednotlivých letech.



Obrázek 3 - maximální denní koncentrace PM₁₀ na stanici Brno-Zvonařka v jednotlivé roky.

Další graf (obr. 4) ukazuje počet překročení hodnoty 24h imisního limitu PM₁₀, imisní limit se považuje za překročený při více než 35 překročeních za rok.

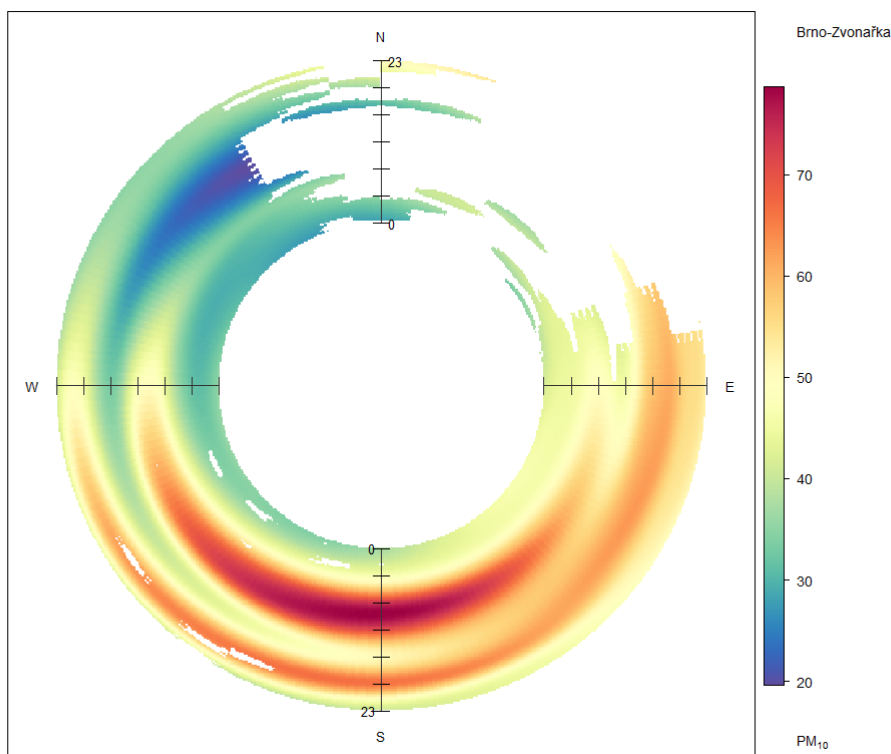


Obrázek 4 - počet překročení hodnoty 24h imisního limitu pro suspendované částice PM₁₀ (50 µg/m³) v jednotlivé roky v období 2008 až 2019.

Z grafu jsou patrné dvě věci. První je výrazné zhoršení v posledních dvou letech, které narušilo jinak dlouhodobě klesající trend a také to, že v minulosti bývaly koncentrace a počty překročení ještě vyšší.

Vliv stavebních prací je zde tedy velmi patrný a potvrdily to i koncentrační růžice, které jasně ukázaly na nejvyšší koncentrace v denní dobu v pracovní dny a také bylo z dat jasně patrné, že k nárůstu došlo takřka výhradně u větší frakce PM₁₀, což jsou právě částice, které většinou vznikají mechanicky a které vznikají během stavebních prací, jak potvrdila již řada předchozích studií (Azarmi, 2016; Font, 2014).

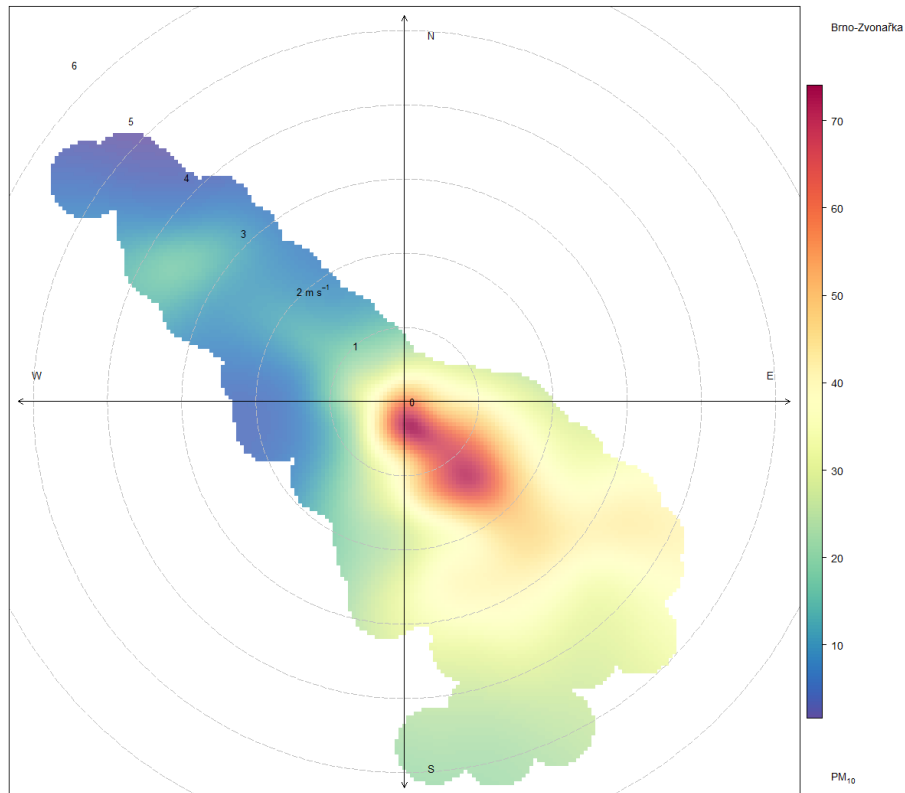
Na anulární koncentrační růžici (obr. 5) je vidět největší znečištění z jihu (od dopravní komunikace) a to během denních hodin.



Obrázek 5 - anulární koncentrační růžice, zobrazující vztah mezi koncentrací suspendovaných částic PM_{10} , směrem větru a denní hodinou. Na vnějším okraji růžice jsou večerní hodiny, u středu růžice ranní. Stanice Brno-Zvonařka, září 2018 až únor 2019. Hodiny odpovídají UTC času a jsou započítány časové posuny kvůli letnímu a zimnímu času.

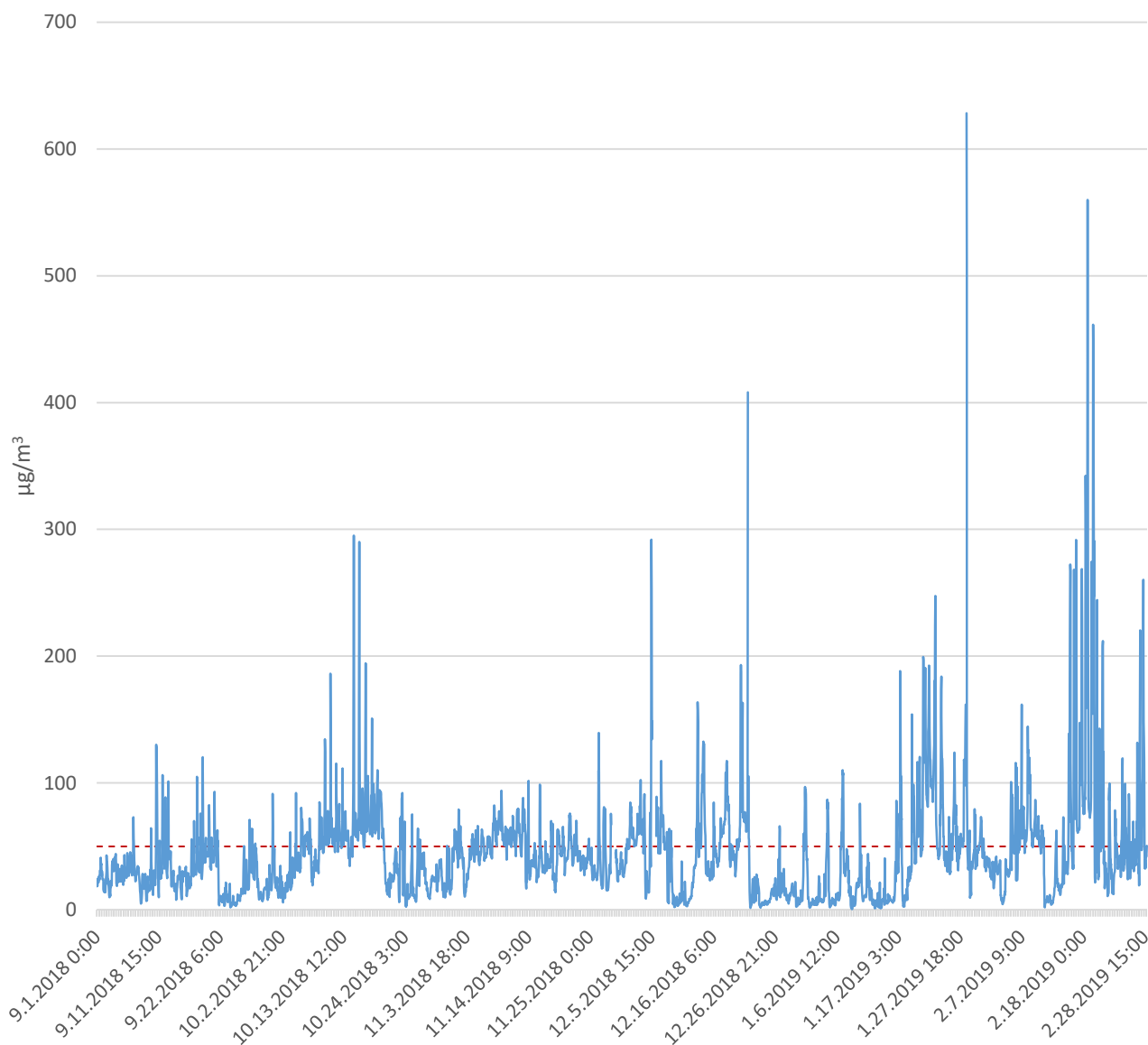
Také koncentrační růžice (obr. 6) ukazuje, že nejvyšší koncentrace byly měřeny při bezvětří takřka ze všech směrů, při vyšších rychlostech větru z jihovýchodu (od dopravní komunikace).

Koncentrační růžice ukazují, že nejvyšší koncentrace PM_{10} byly v období září 2018 až únor 2019 zaznamenány při jihovýchodním proudění, což odpovídá poloze přiléhající dopravní komunikace. Významnou složkou emisí z dopravy je resuspenze. Je vysoce pravděpodobné (jak následně potvrdila i mikroskopická analýza), že za vysoké koncentrace mohla právě vysoká intenzita dopravy spolu s velkým množstvím prachových částic usazených na vozovce ze stavebních prací, které byly vozy znovu vířeny do ovzduší.



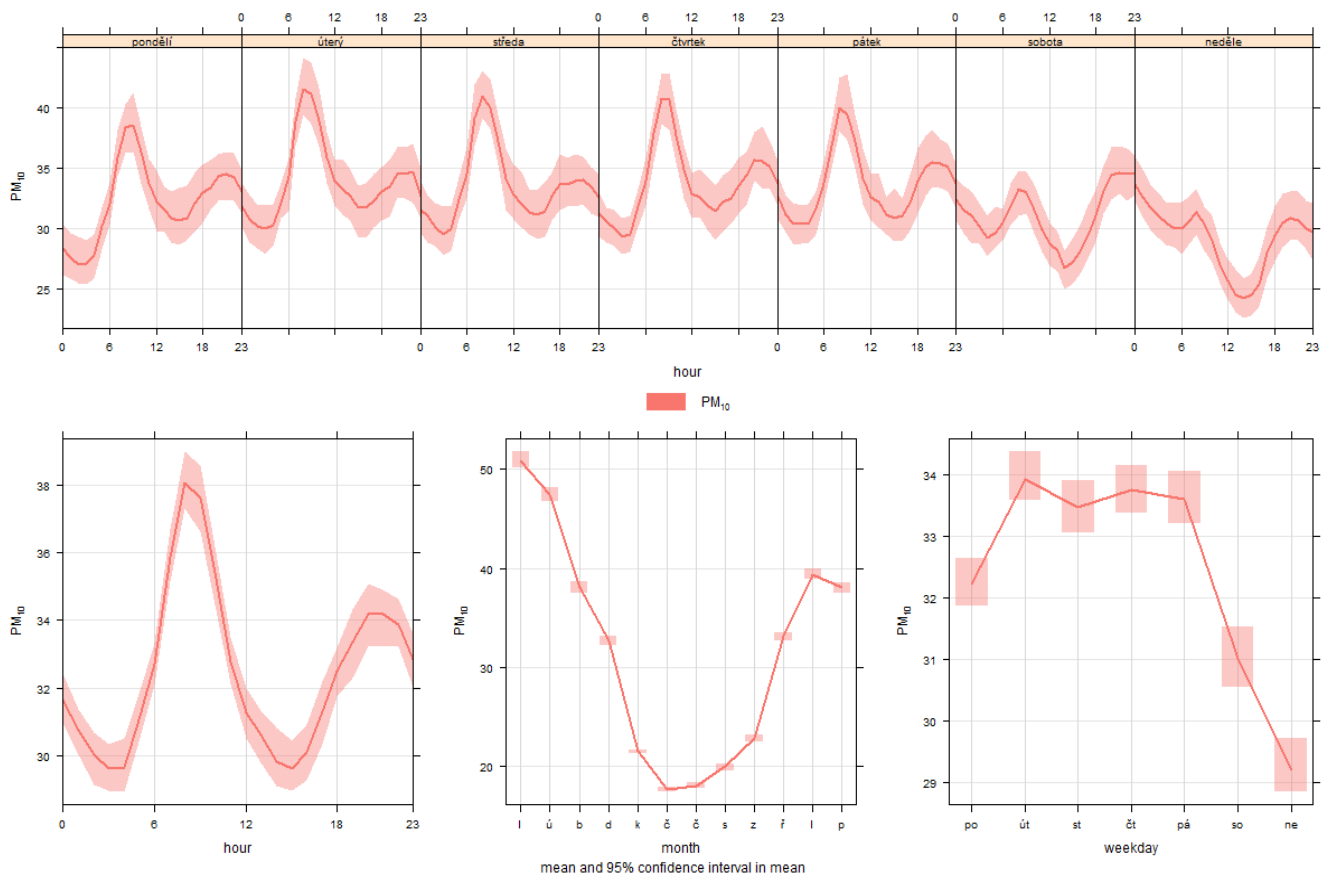
Obrázek 6 - koncentrační růžice pro suspendované částice PM₁₀ na stanici Brno-Zvonařka za období září 2018 až únor 2019

Jak ukazuje graf průběhu hodinových koncentrací (obr. 7) září 2018 až únor 2019, ve špičkách dosahují koncentrace PM₁₀ na stanici Brno-Zvonařka i více než 600 μg/m³.



Obrázek 7 - průběh hodinových koncentrací PM₁₀ na stanici Brno-Zvonařka v období od 1. září 2018 do 28. února 2019. Červenou přerušovanou čarou je zobrazen 24h imisní limit.

Zajímavý je také graf průběhu koncentrací PM₁₀ v týdenním, denním a měsíčním chodu (obr. 8).



Obrázek 8 - průměrný týdenní hodinový chod koncentrací PM₁₀ (nahore), průměrný denní chod koncentrací PM₁₀ (vlevo dole), průměrný roční chod koncentrací PM₁₀ (dole uprostřed) a průměrné koncentrace PM₁₀ v jednotlivé dny v týdnu (vpravo dole). Vypočteno za desetileté období 2008-2017. Stanice Brno-Zvonařka. Čas v UTC.

Na týdenním chodu je vidět velmi výrazný rozdíl mezi víkendem a všedním dnem. O víkendu jsou maximální koncentrace PM₁₀ výrazně nižší. Jednoznačně nejlepší je situace v neděli. Z grafu lze usuzovat, že dlouhodobě jsou nejnižší koncentrace PM₁₀ na stanici Brno-Zvonařka v nedělních odpoledních hodinách. U všedních dní není příliš velký rozdíl s výjimkou pondělí. Pokud se však podíváme na týdenní průběh, je patrné, že se pondělí chová podobně jako ostatní všední dny, avšak vzhledem k výrazně nižším koncentracím PM₁₀ v neděli jsou koncentrace během noci z neděle na pondělí nižší a zvyšují se ranní špičkou z nižších průměrných hodnot. Roční chod pak zcela jasně ukazuje na velmi dobrou situaci v teplou část roku a výrazně vyšší koncentrace v chladnější půlrok.

Období září 2018 až únor 2019 bylo v 54,1 % dnech nadprůměrné, ale zároveň ve 23,2 % dní byly koncentrace PM₁₀ rekordně vysoké pro daný den. Jinými slovy, 42,9 % dní s nadprůměrnou koncentrací bylo zároveň historickým maximem pro daný den v roce. Z toho vyplývá, že se v tomto půlročním období koncentrace PM₁₀ zvyšovaly zejména nárazově (jeden a více dní), avšak v těchto nárazových zvýšeních se jednalo o zvýšení extrémní.

Při srovnání průměrných měsíčních koncentrací PM_{2,5} v roce 2018 a lednu a únoru 2019 je patrné, že na rozdíl od PM₁₀ nedošlo k žádnému výraznému nárůstu oproti předchozím letům. Měsíční průměrné koncentrace v dané období byly podprůměrné. Nejvyšší denní průměrná koncentrace PM_{2,5} ve sledovaném období byla naměřena 22. ledna 2019, což bylo období s plošně špatnou kvalitou ovzduší, která byla pozorována v celé východní části republiky a zvýšení nesouviselo s lokálními zdroji, ale spíše s dálkovým transportem a velmi nízkými teplotami.

Důležité jsou také poměry mezi jednotlivými frakcemi. Ty přispívají k identifikaci zdrojů a jsou dobrým ukazatelem potenciálních změn těchto zdrojů. Z výsledků je jednoznačně patrné, že nejvíce se

měnily koncentrace frakce PM_{10} . U této frakce došlo k výraznému nárůstu průměrných koncentrací ve sledovaném období, ale u frakcí $PM_{2,5}$ a PM_1 takovýto nárůst zaznamenán nebyl. Při plošném znečištění koncem ledna 2019 došlo k poměrovému zvýšení koncentrací všech frakcí. V jiné dny s velmi vysokými koncentracemi PM_{10} lokálně pouze na této stanici však u ostatních frakcí ke zvýšení nedocházelo. Poměry mezi částicemi se od dlouhodobého průměru odlišovaly zejména v pracovní dny (přibližně dvojnásobně více než o víkend). Navíc byl poměr částic $PM_{2,5}/PM_{10}$ nejnižší (tedy nejvyšší podíl větších částic) v denní dobu a naopak nejvyšší v noci. Výše uvedené informace podporují závěr, že za vysoké koncentrace PM_{10} mohou stavební práce v okolí, které jsou zdrojem především větších částic frakce PM_{10} (nárůst u jiných frakcí nebyl pozorován), což se projevuje především ve všední dny a denní dobu, kdy tyto práce primárně probíhají a kdy je v okolí stanice intenzivní doprava, která kromě vlastní produkce PM výrazně přispívá k vysokým koncentracím resuspenzí (vířením) částic ze stavby na vozovce.

Oxidy dusíku

V kontextu kvality ovzduší se jako oxidy dusíku (NO_x) označuje součet koncentrací oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO_2). Vzhledem k faktu, že NO je přechodný meziprodukt a rychle oxiduje mj. na NO_2 , jsou koncentrace NO_x závislé především na koncentracích NO_2 .

Dle nejnovější emisní bilance z roku 2016 je v České republice hlavním zdrojem NO_x v ovzduší kategorie Doprava (osobní automobily 15,4 %, nákladní vozy nad 3,5 t 11,0 %, lehká užitková vozidla 6,0 %, nesilniční vozidla a ostatní stroje 8,0 %), dále Veřejná energetika a výroba tepla (26,5 %) a Lokální vytápění domácností (7,7 %).

Ve 43,6 % případů byly průměrné denní koncentrace NO_2 ve sledované období září 2018 až únor 2019 vyšší než činí dlouhodobý průměr pro daný kalendářní den. V ostatních případech byly koncentrace pod tímto průměrem. Maximum pro daný kalendářní den od roku 2008 bylo zaznamenáno v 16 případech (8,84%).

Nejvyšší koncentrace jsou zaznamenávány při jihovýchodním proudění a nízkých rychlostech větru a to jak dlouhodobě, tak během analyzovaného období, což souvisí s dominantním zdrojem, kterým je doprava a polohou komunikace vzhledem ke stanici.

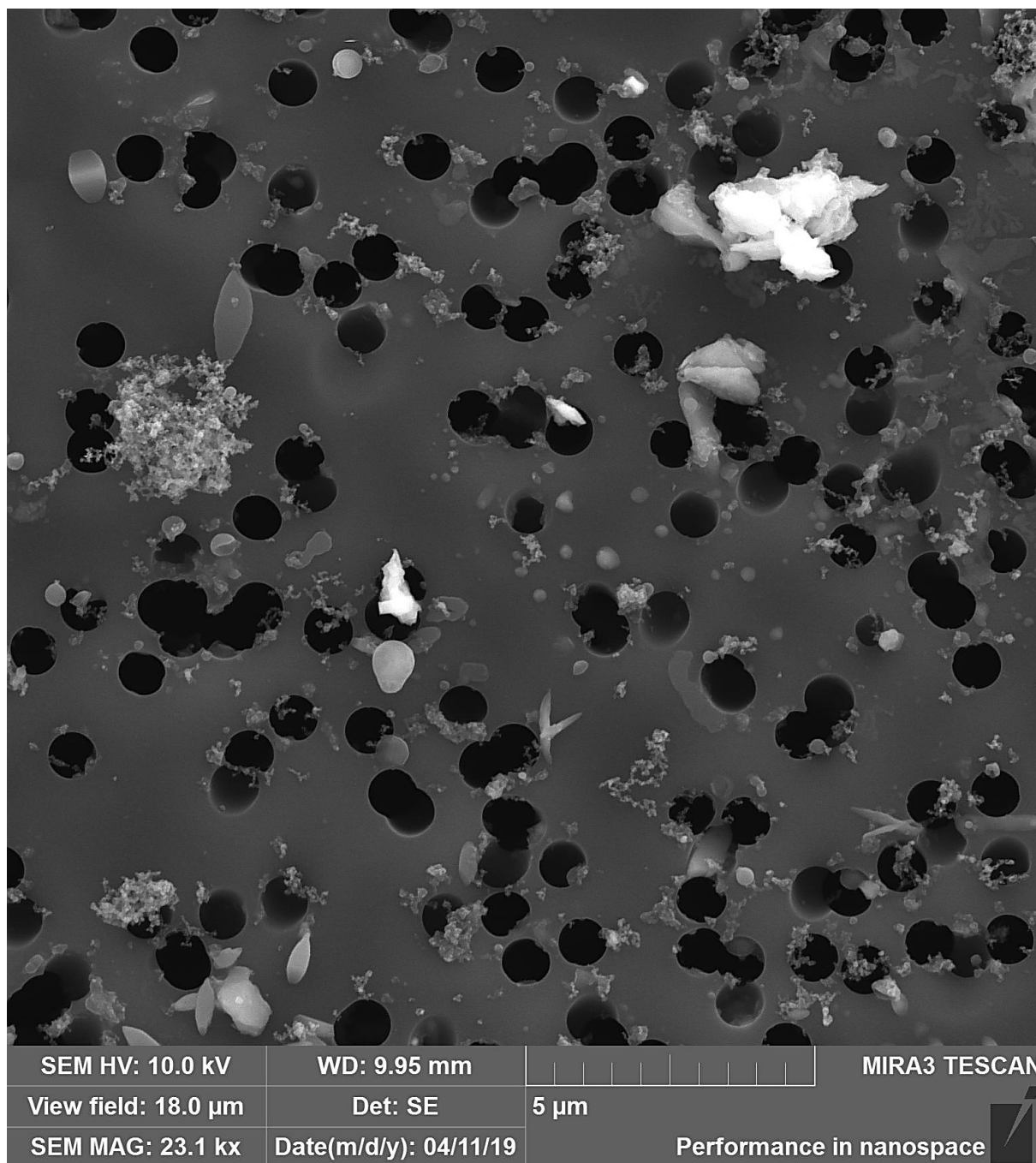
V denním chodu jsou jasně patrné dvě špičky časově se shodující s ranní a odpolední dopravní špičkou. V nepracovní dny jsou koncentrace výrazně nižší. Sledované období se od dlouhodobého chodu nijak neodlišuje.

Ač patří koncentrace NO_2 na stanici Brno-Zvonařka k nejvyšším v Aglomeraci Brno, tento stav je dlouhodobý a souvisí s intenzitou dopravy v okolí stanice. V analyzovaném období září 2018 až únor 2019 nebyl pozorován nárůst NO_2 .

Analýza částic PM_{10} skenovacím elektronovým mikroskopem

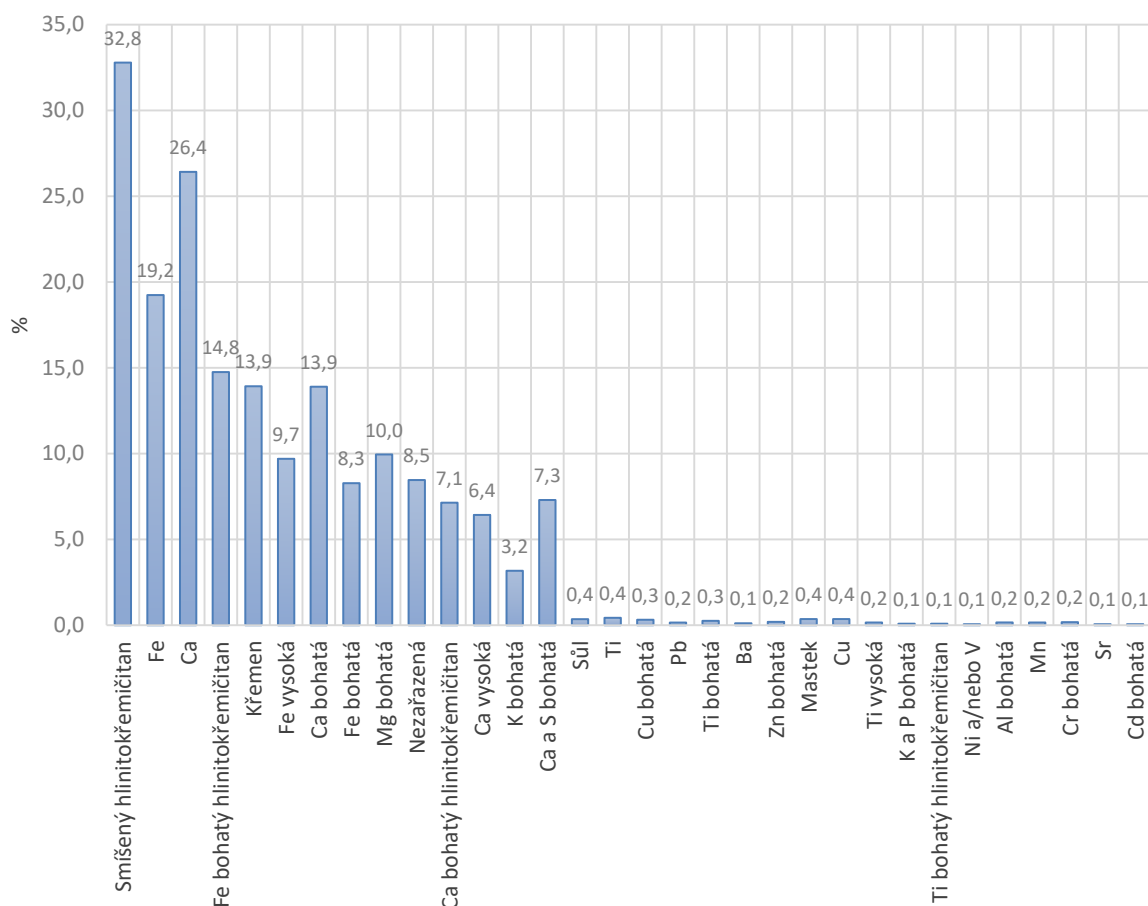
Skenovací elektronová mikroskopie v kombinaci s energiově-disperzní rentgenovou spektroskopií (SEM/EDX) představuje velmi efektivní nástroj pro charakterizaci suspendovaných částic v ovzduší (Willis et al., 2002). Umožňuje odhalit nejen jejich chemické respektive prvkové složení částic, ale i jejich morfologii, a to často i u částic velkých jen několik desetin mikrometru. Speciální software pak umožňuje provádět automatickou analýzu jednotlivých částic, což vzhledem k velkému počtu částic, které je potřeba analyzovat z důvodu reprezentativnosti vzorku, nebylo kvůli extrémní časové náročnosti možné.

K odběru třech vzorků byly použity polykarbonátové filtry (IsoporeTM, 47 mm, 0,8 μ m. Morfologie (velikost, tvar) částic je vidět na Obr. 9. Na snímku jsou viditelné agregáty jemných uhlíkatých částic, pravděpodobně sazí, různě velké sférické uhlíkaté částice a větší částice nepravidelného tvaru tvořené převážně Si-Al (doprovázené Fe, Mg, Ca, K, případně Ti), Si nebo Ca. Malé oblé ploché částice představují pravděpodobně částice sekundární, které vznikly fyzikálně-chemickými procesy v atmosféře. Vzorky tedy představují pestrou směs částic jak přírodního původu (půdní částice unášené větrem), tak částic, jejichž zdrojem je lidská činnost (spalování fosilních paliv a biomasy, stavební činnost včetně resuspenze způsobené pojezdem stavební techniky po staveništi či automobilů po přilehlých komunikacích).



Obrázek 9 - snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu, vzorek částic PM_{10} odebraný 2. 4. 2019 na stanici Brno-Zvonařka na polykarbonátovém filtru. Černé díry jsou póry filtru.

Automatickou CCSEM/EDX analýzou bylo analyzováno několik tisíc částic o ECD (Equivalent Circle Diameter) $\geq 0,5 \mu\text{m}$ z každého ze třech vzorků. Za účelem rozřídění částic byla vytvořena klasifikační kritéria, díky kterým bylo možné částice na základě obsahu konkrétních prvků, popřípadě ve spojení s jejich tvarem, zařadit do jednotlivých tříd. V případě, že částice splnila klasifikační kritéria více než jedné třídy, byla přiřazena do více tříd (Obr. 10).



Obrázek 10 - Procentuální zastoupení jednotlivých tříd. Průměr ze 3 vzorků.

Automatická částicová analýza skenovacím elektronovým mikroskopem potvrdila vysoký podíl částic obsahujících prvky (křemík, vápník, hořčík, draslík, hliník) typické pro půdy či stavební materiál (písek, cement apod.). Většina částic měla nepravidelný tvar, což svědčí spíše o mechanickém původu než vzniku během spalovacího procesu.

Některé z částic odebraných vzorkováním ovzduší obsahovaly také vyšší obsah železa. Tyto částice však byly spíše nepravidelného tvaru a převážně v kombinaci s křemíkem, typickým pro půdní částice, proto je pravděpodobnější, že nepocházely z průmyslové činnosti či dopravy, ale z přírodních zdrojů a do ovzduší vstoupily prostřednictvím resuspenze.

Závěr

Kvalita ovzduší na stanici Brno-Zvonařka se od září 2018 výrazně zhoršila. Toto datum velmi dobře koreluje se zahájením významných stavebních prací v širším okolí a to včetně demoličních prací, které způsobují nárazový, krátkodobý extrémní nárůst koncentrací především frakce PM₁₀ suspendovaných částic.

Hodnocení průběhu koncentrací, koncentračních rážic i přímá analýza částic skenovacím elektronovým mikroskopem jasně potvrdila, že za výrazným navýšením koncentrací PM₁₀ stojí právě stavební činnost a s ní spojené další faktory, jako například narušení plynulosti dopravy.

V roce 2019 byla tato stanice co do počtu překročení denního imisního limitu pro PM₁₀ druhá nejhorší v celé České republice. Pozitivním faktem je, že na ostatních stanicích imisního monitoringu v Brně byl naopak rok 2019 velmi dobrý, tudíž lze říci, že se jedná o velmi lokální problém.

Do budoucna je důležité během plánování staveb myslet i na kvalitu ovzduší, doporučení jak snížit míru znečišťování (úplná eliminace vlivu není nikdy možná) jsou uvedena v této studii.

Zdroje

Azarmi, F., Kumar, P., Marsh, D. and Fuller, G., 2016. Assessment of the long-term impacts of PM 10 and PM 2.5 particles from construction works on surrounding areas. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18(2), pp.208-221.

Font, A., Baker, T., Mudway, I.S., Purdie, E., Dunster, C. and Fuller, G.W., 2014. Degradation in urban air quality from construction activity and increased traffic arising from a road widening scheme. *Science of the total environment*, 497, pp.123-132.

Kim, K.H., Kabir, E. and Kabir, S., 2015. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment international*, 74, pp.136-143.

Willis, R., Blanchard, F., Conner, T., 2002. Guidelines for the application of SEM/EDX analytical techniques to particulate matter samples. EPA Report No. 600/R-02/070.