



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

**ENVIRONMENTÁLNÍ A ZDRAVOTNÍ ZÁTĚŽ
Z DOPRAVY A MOŽNOSTI JEJICH SNIŽOVÁNÍ
V KONKRÉTNÍCH PODMÍNKÁCH**

THE ENVIRONMENTAL AND HEALTH BURDEN OF TRANSPORT AND THE POSSIBILITY OF ITS
REDUCTION IN PARTICULAR CONDITIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Dita Dvořáková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. Robert Skeřil, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav soudního inženýrství
Studentka:	Bc. Dita Dvořáková
Studijní program:	Soudní inženýrství
Studijní obor:	Expertní inženýrství v dopravě
Vedoucí práce:	Mgr. Robert Skeřil, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Environmentální a zdravotní zátěž z dopravy a možnosti jejich snižování v konkrétních podmínkách

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě analýz dat a experimentálních měření, bude analyzována stávající zátěž na vybraných dopravních lokalitách s cílem navrhnout opatření směřující ke snížení této zátěže. Důraz bude položen především na obsahy pevných částic v ovzduší.

Cíle diplomové práce:

Návrh vhodných opatření ke snížení dopravní zátěže ve vybrané oblasti.

Seznam doporučené literatury:

ADAMEC, V. et al. Doprava, zdraví a životní prostředí. 1. vyd. Grada, 2008. 160 s. ISBN 80-247-216-2.

GOSH, S.; LEE, T.S. Intelligent Transportation Systems: Smart and Green Infrastructure Design. 2. vyd., London: CRC Press, 2010. s. 217. ISBN 978-1-4398-3518-0.

HUA, B. G. Smart Cities as a Solution for Reducing Urban Waste and Pollution. 1. vyd., Hershey: Information Science Reference, 2016. s. 362. ISBN 9781522503026.

IONESCU, G. Transportation and Environment. Assessment and Sustainability. CRC Press, 2016. s. 291. ISBN 978-1-77188-466-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel

Abstrakt

Na kvalitu ovzduší má vliv mnoho faktorů, jedním z nejvýznamnějších je doprava, zejména ta silniční. V této práci je porovnávána intenzita dopravy s počty/koncentracemi částic v ovzduší. Hodnocení je prováděno pro jednotlivé dny, týdny a měsíce, jednotlivé analýzy jsou zaměřeny zejména na město Brno. Kromě intenzity dopravy jsou koncentrace částic v ovzduší analyzovány v závislosti na meteorologických podmínkách (teplotě). V závěru práce jsou navržena možná opatření, kterými lze snížit vliv dopravy na znečištění ovzduší.

Abstract

Air quality is affected by many factors, one of the most important is transport, especially road transport. In this thesis, the transport intensity is compared with number/concentrations of particulate matter in the air. The evaluation is carried out for days, weeks and months, analyses are focused mainly on Brno. In addition, the particulate matter concentrations are analysed depending on meteorological conditions (temperature). The conclusion is focused on the possible measures which can reduce the impact of transport on air pollution.

Klíčová slova

Doprava, znečištění ovzduší, zdraví, aerosolové částice, opatření, PM_{2,5}, PM₁₀

Keywords

Transport, air pollution, health, aerosol particles, measures, PM_{2,5}, PM₁₀

Bibliografická citace

DVOŘÁKOVÁ, D. *Environmentální a zdravotní zátěž z dopravy a možnosti jejich snižování v konkrétních podmínkách*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2018. 63 s. Vedoucí diplomové práce Mgr. Robert Skeřil, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22.05.2018

.....

Dita Dvořáková

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu práce Mgr. Robertu Skeřilovi, Ph.D. za připomínky, rady a čas věnovaný konzultacím při zpracování diplomové práci. Dále Českému hydrometeorologickému ústavu za poskytnutí dat naměřených na stanicích hot-spot a Technické správě komunikací hlavního města Prahy, a.s. za poskytnutí údajů o intenzitě dopravy v pražské ulici Legerova.

OBSAH

OBSAH.....	7
1 ÚVOD.....	8
2 ZÁTĚŽ Z DOPRAVY	10
3 PEVNÉ ČÁSTICE.....	12
4 ZDRAVÍ A IMISNÍ LIMITY	16
4.1 Imise	16
4.2 Imisní limity	16
4.3 Zdraví	17
4.4 Výfukové plyny a doprava	19
5 ZÍSKÁVÁNÍ DAT	21
5.1 Měření	21
5.1.1 <i>Metody měření</i>	21
5.1.2 <i>Měřicí přístroj FIDAS</i>	21
5.2 Aglomerace Brno	23
5.3 Aglomerace Ostrava	26
5.4 Aglomerace Praha	27
6 HODNOCENÍ POČTU A KONCENTRACÍ ČÁSTIC.....	30
6.1 Celkové počty částic v ovzduší v Brně	30
6.2 Roční chod měsíčních koncentrací	32
6.3 Týdenní chod denních koncentrací.....	37
6.4 Denní chod hodinových koncentrací	43
7 NÁVRH OPATŘENÍ	52
7.1 Tvrdá opatření	53
7.2 Měkká opatření.....	55
8 ZÁVĚR	57
9 CITOVANÁ LITERATURA	59
10 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	62
SEZNAM GRAFŮ	63

1 ÚVOD

V posledních letech se znečišťování ovzduší stalo jedním z nejzávažnějších problémů ve společnosti. Nejběžnější škodlivinou v ovzduší je aerosol, který má mnoho podob, což závisí na jeho zdroji. Stejně tak se prašné částice liší svojí velikostí, tvarem a materiálem. Při dýchání se do lidského těla dostává řada nebezpečných látek, které postupují do lidského organismu; to kam až dokáží postoupit závisí na jejich velikosti – čím jsou částice menší, tím hlouběji se do těla dostávají, a jsou pro člověka nebezpečnější.

Mezi zdroje aerosolových částic patří průmysl, energetika, doprava, výbuch sopek či požáry. Částice tedy pochází nejen z lidské činnosti, ale také z přírodních zdrojů. Podíl dopravy na produkci prašných částic se neustále zvyšuje, zejména kvůli rostoucímu objemu automobilů a dalších dopravních prostředků na našich pozemních komunikacích.

Doprava je nedílnou součástí našich životů, ovlivňuje každodenní život všech lidí na světě. Největší vliv na naše životy má zejména silniční doprava. Její přínosy jsou v oblasti domácího a mezinárodního obchodu, silniční doprava umožňuje přepravu surovin a výrobků, pohyb lidí za prací, nakupováním nebo odpočinkem. V současné době se zvyšují nároky na kvalitu, rychlost a dostupnost dopravy. Spolu s tím neustále stoupá objem dopravy (množství spotřebovaného paliva), což způsobuje rostoucí množství výfukových plynů a množství škodlivin, které se dostávají do ovzduší. Mezi negativní vlivy dopravy lze zařadit emise, hluk, vibrace, znečištění vody, půdy či zábor půdy. Naštěstí EU i Česká republika zavádí opatření vedoucí ke snížení negativních vlivů dopravy nebo také povinně zavádí technologické prostředky, které pomáhají omezit znečišťování ovzduší z dopravy.

Cílem této diplomové práce je zhodnotit působení dopravy na životní prostředí v centrech vybraných měst České republiky, a navrhnout možná opatření na snížení vlivu dopravy na kvalitu ovzduší. Úvodní kapitola práce se zaměřuje na vliv dopravy na obyvatele a na životní prostředí. Následující kapitola na ni plynule navazuje, a to shrnutím informací o pevných částicích, které z dopravy pochází, a mají na kvalitu ovzduší vliv. S pojmem pevné částice se neodmyslitelně pojí také pojmy emise, imise a jejich limity. Pevné částice v ovzduší ovlivňují životní prostředí, ale i zdraví. Velikost jednotlivých částic určuje, na jaké orgány lidského těla budou částice působit, a jaké zdravotní komplikace se mohou u občanů objevit.

Druhá polovina práce se věnuje samotnému měření, které bylo prováděno přístrojem Palas Fidas na měřicích stanicích v Praze, v Brně a v Ostravě. Spolu s daty z této automatické měřicí stanice byla využita statistická data o intenzitě dopravy v jednotlivých městech.

Hodnocení naměřených dat je primárně zaměřeno na brněnskou aglomeraci, pro potvrzení a případné porovnání jsou využita data ze zbylých měst. Možná opatření, kterými je možné snížit vliv působení dopravy na kvalitu ovzduší jsou zmíněna v závěrečné kapitole práce.

2 ZÁTĚŽ Z DOPRAVY

Doprava otevírá lidem neskutečné možnosti. Umožňuje nejen pohyb z místa na místo, ale také přepravovat věci, nebo cestovat. Nese s sebou však i negativní vlivy, jako je znečištění ovzduší, hluk, či vibrace. Tyto vlivy neprodukuje pouze samotná doprava, vliv má také výstavba silnic či železnic. Čím dál hustší provoz všech druhů dopravy má za následek i zvyšující se množství dopravních nehod.

Jedním z efektů, které negativně ovlivňují lidský organismus a jeho zdraví, je hluk. Hluk je zvuk, který má na člověka nepříjemný, rušivý, nebo škodlivý účinek. Hluk se měří hlukoměry, a úroveň dosažitelného hluku na jednotlivých místech České republiky znázorňují tzv. hlukové mapy. Hluk z dopravy vzniká jak na povrchu komunikace, tak i v motoru a na pneumatice. Hluk negativně ovlivňuje nervovou soustavu člověka, má škodlivé následky na sluchové orgány, způsobuje poruchy ostatních smyslových orgánů. (1, s. 9)

Dalším problémem je znečištění vod a půdy, které vzniká například mytím vozidel, zimní úpravou pozemních komunikací (solení, posypy). Ke zhoršení kvality vody dochází i při haváriích, kdy dochází k úniku nebezpečných látek, což má vliv na kvalitu nejen vod nadzemních, ale i podzemních, do kterých se látky dostávají prosakováním.

V souvislosti s dopravou se čím dál častěji mluví o znečištění ovzduší. Výroba vozidel a značné množství odpadu vzniklého při výrobě, obsahuje řadu nebezpečných látek, představuje značný dopad na životní prostředí. V souvislosti s dopravou a životním prostředím je nutné zmínit také dopravní nehody, které mohou mít dalekosáhlé důsledky pro životní prostředí, zejména při přepravě nebezpečných látek. (2, s. 1)

Nejvýznamnější negativní vlivy jsou připisovány silniční dopravě. To je dáno jednak absolutním objemem (množstvím spotřebovaného paliva), a rovněž skutečností, že silniční doprava je koncentrována do oblastí s největší hustotou osídlení. Z hlediska ohrožování atmosféry má stále vzrůstající význam doprava letecká, jejíž přepravní kapacity každoročně dynamicky rostou, vliv lodní a železniční dopravy se spalovacími motory je řádově nižší. (3, s. 1)

V důsledku spalovacích motorů a využívání fosilních paliv se doprava stala významným zdrojem znečišťujících látek v ovzduší, zejména oxidu dusnatého, oxidu dusičitého, těkavých organických látek, ozónu, nebo pevných částic (PM). (2, s. 291) Znečištěné ovzduší významně ovlivňuje lidské zdraví, způsobuje zvýšenou nemocnost, vyšší úmrtnost nebo toxická

poškození. I proto jsou legislativou stanoveny imisní limity pro ochranu zdraví obyvatelstva.
(4)

Mezi nejvýznamněji znečišťující látky ovzduší patří například oxid uhelnatý, který v menších koncentracích ovlivňuje soustředění, zručnost, nebo pracovní výkonnost člověka, ve větších koncentracích může způsobit smrt. Dále to jsou oxidy dusíku, mezi které patří oxid dusný, dusnatý nebo dusičný. Oxidy dusíku vznikají při spalovacích procesech za vysokých teplot, na lidské zdraví působí zejména oxid dusičitý. Z látek, jejichž významným zdrojem je doprava, se na znečištění ovzduší podílí také těkavé organické látky jako je benzen či toluen, stejně tak polycyklické aromatické uhlovodíky nebo nitrované polycyklické aromatické uhlovodíky. Doprava je také jedním z významných zdrojů prašných částic (tzv. PM částice, z angl. *particulate matters*), jedná se o drobné částice, které volně proletují ve vzduchu, do lidského organismu se dostávají vdechováním.

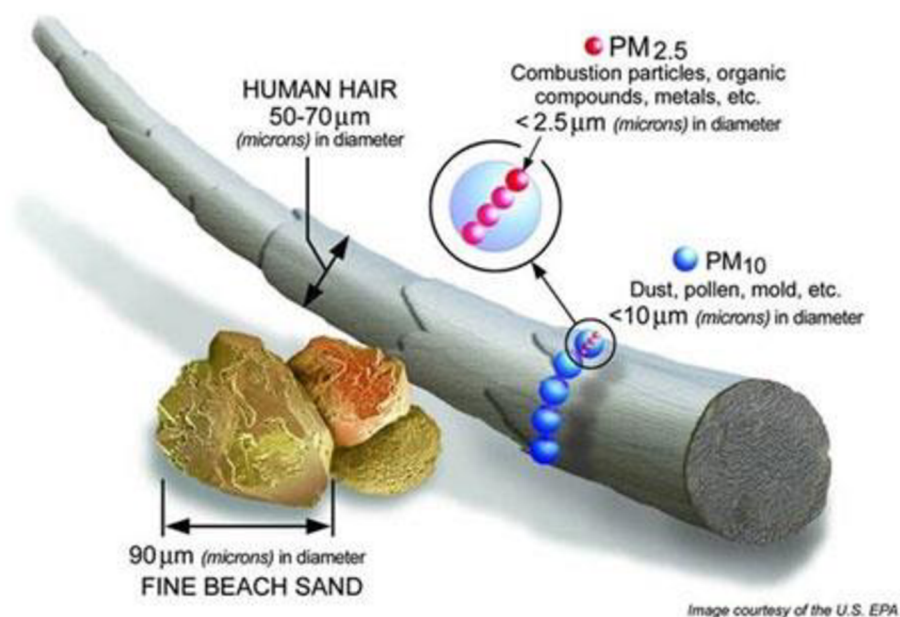
3 PEVNÉ ČÁSTICE

PM částice (neboli také aerosolové částice či suspendované částice) jsou volně se pohybující jemné částice, které jsou schopné samovolného pohybu v atmosféře. Jedná se o směs organických a anorganických částic kapalného a pevného skupenství, mající různé velikosti, složení a původ. Světová zdravotnická organizace (5, s. 5) definuje suspendované částice jako částice znečišťující ovzduší, skládající se z tuhých a kapalných částic suspendovaných ve vzduchu. Nejvýznamnější chemické složky, které částice obsahují, jsou sírany, dusičnany, amonné a další ionty, jako např. kationty sodíku, vápníku, draslíku. Dále mohou obsahovat organický uhlík či těžké kovy.

Částice PM jsou předmětem výzkumu teprve od 80. let minulého století, kdy se začaly objevovat první studie v této oblasti. Aerosoly mají vliv na kvalitu ovzduší, avšak mají také významný vliv i na klima Země. V současné době je znečištění suspendovanými částicemi nejnaléhavějším problémem z hlediska ochrany ovzduší na celém světě, a představuje jeden z největších zdrojů nejistoty v současném poznání mechanismu klimatické změny. (6, s. 2)

Aerosolové částice se liší svou velikostí, složením a původem. Částice se často klasifikují podle jejich aerodynamických vlastností, které ovlivňují přenos částic, jejich schopnost ukládání se do dýchacích cest lidského organismu. (5, s. 5) Pevné částice se do lidského těla dostávají vdechováním. Jak jednotlivé částice na zdraví budou působit, je závislé na velikosti jednotlivých částic, jejich fyzikálních a chemických vlastnostech. Prachové částice mají velký povrch, na který se mohou vázat další látky z ovzduší. Na zdraví člověka mají negativní vliv zejména těžké kovy a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), které jsou karcinogenní. Kromě chemických látek se mohou na částice vázat také pyly, popř. další alergeny.

Suspendované částice se liší svými velikostmi, které se udávají v mikrometrech (μm), a značí se jako dolní index za zkratkou PM. Podle svých rozměrů se dělí do tzv. frakcí – PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a $\text{PM}_{1,0}$. PM_{10} jsou z nich největší a jsou zhruba desetkrát menší, než je šířka lidského vlasu (viz Obrázek 1). U částic PM_{10} číslice 10 tedy znamená, že částice mají aerodynamický průměr maximálně 10 μm , suspendované částice $\text{PM}_{2,5}$ jsou velké maximálně 2,5 μm a analogicky se odvozuje i velikost částic $\text{PM}_{1,0}$ – průměr je max. 1 μm .



Obrázek 1 – Porovnání velikosti vlasu a PM částic (PM_{10} , $PM_{2.5}$). (7)

Dělení částic dle velikosti (8, s. 15)

1. Hrubé částice

Hrubé částice, v anglickém jazyce *coarse particles*, mají průměr větší než $2,5 \mu\text{m}$ a menší než $10 \mu\text{m}$. V ovzduší setrvávají několik hodin, maximálně několik dní. Jsou přenášeny vzduchem na kratší vzdálenosti, oproti částicím s menšími rozměry je jednodušší identifikovat jejich zdroj.

Hrubé částice bývají zásaditého pH a jsou nerozpustné. Vznikají spalováním, mechanickými procesy, např. při demolicích nebo otěrech, vlivem přírodních jevů (např. vítr, vulkanická činnost), jsou produktem prachu z průmyslu, zemědělství a stavebnictví. Vznikají také znovuzvířením (resuspenzí) již usazených částic, které se zpět do ovzduší dostávají v důsledku lidské činnosti (doprava) nebo vlivem meteorologických jevů (vítr). (8, s. 16)

2. Jemné částice

Jemné částice (*fine particles*) rostou koagulací (srážením) a zvětšují se až do velikosti $2 \mu\text{m}$. Jemné částice setrvávají v ovzduší přibližně 7 až 30 dní. Vzhledem k jejich dlouhodobé existenci v ovzduší mohou být unášeny do vzdálenosti několika stovek kilometrů a rozptýleny na velkém území. Je tedy poměrně obtížné identifikovat původní zdroj těchto částic. Oproti hrubým částicím mají kyselé pH a jsou rozpustné. Zdrojem jemných částic je převážně spalování fosilních paliv (včetně dopravy). (8, s. 15)

3. Ultrajemné částice

Ultrajemné částice (*ultrafine particles*) mají poloměr menší než 0,1 μm , ve vzduchu existují několik minut až hodin. Rozptylují se do vzdálenosti jednoho kilometru, přičemž hlavní příčinou rozptylu je doprava.

Způsob vzniku částic

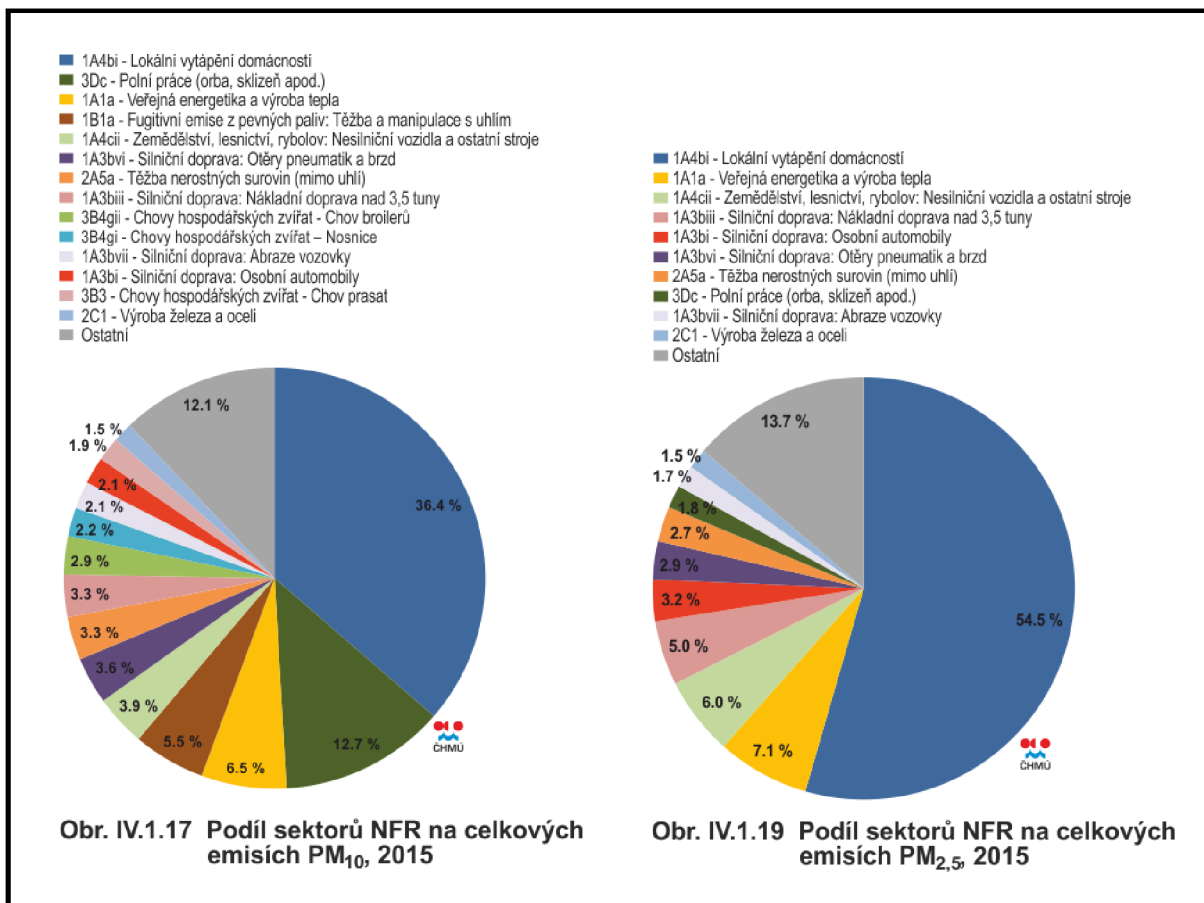
1. Primární

Primární částice jsou do atmosféry emitovány přímo ze zdrojů. Dále je můžeme dělit podle jejich původu (5, s. 25):

a. Z antropogenních zdrojů

Antropogenní zdroje jsou jinak nazývány zdroje lidského původu, jedná se například o spalování uhlí, dřeva či odpadu, dalším zdrojem je doprava, těžba či stavební činnost. Český hydrometeorologický ústav (dále jen ČHMÚ) vydává každoročně ročenku (9), ve kterých je možné „vyčíst“ zdroje suspendovaných částic na území České republiky za kalendářní rok (viz Obrázek 2).

Látky uvolňované ze spalovacích zdrojů jsou rozptýleny a mohou se hromadit v různých složkách životního prostředí (např. v půdě, vegetaci, prachu, ...). Některé znečišťující látky, které jsou uvolňovány ze spalovacích zařízení, pravděpodobně přispějí především do životního prostředí v lokálním měřítku (do 10 km). Nicméně, existují i další látky, které jsou v životním prostředí stále trvalejší, mohou být distribuovány do vzdáleností až stovek kilometrů. Většina látek uvolňovaných ze spalovacích zařízení do ovzduší nezůstane ve vzduchu, nýbrž deponuje do půdy, vegetace nebo povrchové vody. (2, s. 4)



Obrázek 2 – Podíl sektorů na jednotlivých frakcích suspendovaných částic. (10)

Jak je vidět na obrázku, nejvíce suspendovaných částic je produkováno vytápěním domácností, v případě jemných částic se jedná o více než polovinu ze všech emisí. Významně se na produkci podílí i polní práce, v případě jemných částic energetický průmysl.

Podobné výsledky na svých stránkách zmiňuje i Ústav environmentální vědy z Aarhuské univerzity, který zmiňuje, že největším zdrojem emisí PM_{2,5} jsou neprůmyslové spalování (67 %), silniční doprava (9 %) a další mobilní zdroje (7 %). (11)

b. Z přírodních zdrojů

Neantropogenní zdroje primárních částic jsou sopečná činnost, prašné bouře, bakteriální činnost, vítr, pyl či požáry.

2. Sekundární

Vznikají na základě procesů, a to jak chemických (chemické reakce), tak i fyzikálních (nukleace, kondenzace). Neopomenutelným zdrojem je lidská činnost (doprava, zvíření usazených částic) nebo přírodních jevů (vítr).

4 ZDRAVÍ A IMISNÍ LIMITY

4.1 IMISE

Jak už bylo zmíněno, kvalita ovzduší je vyjadřována koncentracemi znečišťujících látek, které jsou ovlivňovány meteorologickými podmínkami i lidskou činností. Podle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší (12) je znečišťující látkou každá látka, která svou přítomností v ovzduší má, nebo může mít, škodlivé účinky na lidské zdraví nebo životní prostředí, anebo obtěžuje zápachem.

Imise jsou škodliviny, které jsou rozptýleny v ovzduší, ovlivňují jeho kvalitu a tím i zdraví člověka. (13, s. 205) Sledování kvality ovzduší v České republice zajišťuje Ministerstvo životního prostředí. Provozováním státní sítě imisního monitoringu je pověřen Český hydrometeorologický ústav, který zajišťuje monitoring a hodnocení kvality ovzduší na celém území republiky. Výsledky měření jsou zveřejňovány v Informačním systému kvality ovzduší (tzv. ISKO). V této databázi jsou údaje nejen z ČHMÚ, ale také z dalších organizací, které se podílejí na monitoringu (Zdravotní ústavy, soukromé společnosti, městské úřady). Naměřená data, která jsou archivována v databázi ISKO, jsou každoročně zpracována v publikaci Znečištění ovzduší na území ČR (9), kterou vydává ČHMÚ.

4.2 IMISNÍ LIMITY

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „Zákon o ochraně ovzduší“) (12) rozlišuje přípustnou úroveň znečištění a přípustnou úroveň znečišťování. Přípustná úroveň znečišťování je určena emisními limity, za to přípustná úroveň znečištění je dána imisními limity a četností překročení daných limitů. (13, s. 208)

Imisní limit je hodnota nejvýše přípustné úrovně znečištění ovzduší vyjádřená v jednotkách hmotnosti na jednotku objemu při normální teplotě a tlaku (tzn. jednotka $\mu\text{g}/\text{m}^3$ popř. ng/m^3). Limity jsou stanoveny zákonem o ochraně ovzduší. Ochranou ovzduší se rozumí:

- Předcházení znečišťování ovzduší a snižování úrovně znečišťování tak, aby byla omezena rizika na lidské zdraví
- Snižování zátěže životního prostředí látkami vnášenými do ovzduší a poškozujícími ekosystémy
- Vytvoření předpokladů pro regeneraci složek životního prostředí postižených v důsledku znečištění ovzduší. (13, s. 205)

V zákoně o ochraně ovzduší jsou limity uvedeny v příloze č. 1 a jsou děleny do kategorií, např. limity pro ochranu zdraví lidí, nebo limity pro ochranu ekosystémů a vegetace. Limity jsou stanoveny vzhledem k hodinovým, denním nebo ročním průměrům koncentrací jednotlivých škodlivin. V případě imisních limitů pro denní a hodinové průměry je rovněž stanoven počet, kolikrát je možné daný limit během kalendářního roku překročit. Dále zákon upravuje nástroje, kterými bude znečištění sníženo, jaká jsou práva a povinnosti orgánů veřejné správy při ochraně ovzduší. V neposlední řadě ukládá povinnosti dodavatelů pohonných hmot a působnost orgánů veřejné správy při sledování a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot v dopravě. (13, s. 206)

Posuzování úrovní znečištění ovzduší probíhá na území vymezeném pro účely posuzování a řízení kvality ovzduší (tzv. zóna), a dále na úrovni aglomerací, které mají předpoklady pro zhoršenou kvalitu ovzduší, a vyžadují tedy větší pozornost.

Překračování vybraných imisních limitů vede odborníky ke zpracování programů zlepšování kvality ovzduší. Na základě četností překračování imisních limitů se také navrhuji kompenzační opatření, která mají za cíl situaci v dané lokalitě zlepšit.

4.3 ZDRAVÍ

Aerosolové částice jsou významným rizikovým faktorem ovlivňující lidské zdraví. V porovnání s plynnými látkami nemají specifické složení, představují směs látek s různými účinky.

To, jak se bude částice po vstupu do organismu chovat, je dáno velikostí částic, vnějšími podmínkami (rychlost a směr větru) a způsobem dýchání. Podle tvaru, chemického složení a rozpustnosti jednotlivých částic se liší i jejich zdravotní účinky. Jak jednotlivé částice, které se liší velikostí, ovlivňují lidský organismus je vidět na Obrázku 3. Větší částice jsou zachyceny v horních cestách dýchacích, částice do průměru 10 μm se dostávají až do dolních cest dýchacích. Jemné částice $\text{PM}_{2,5}$ pronikají do plicních sklípků. To, jak jednotlivé částice budou na organismus působit, ovlivňují také látky adsorbované na jejich povrchu. (14, s. 9)

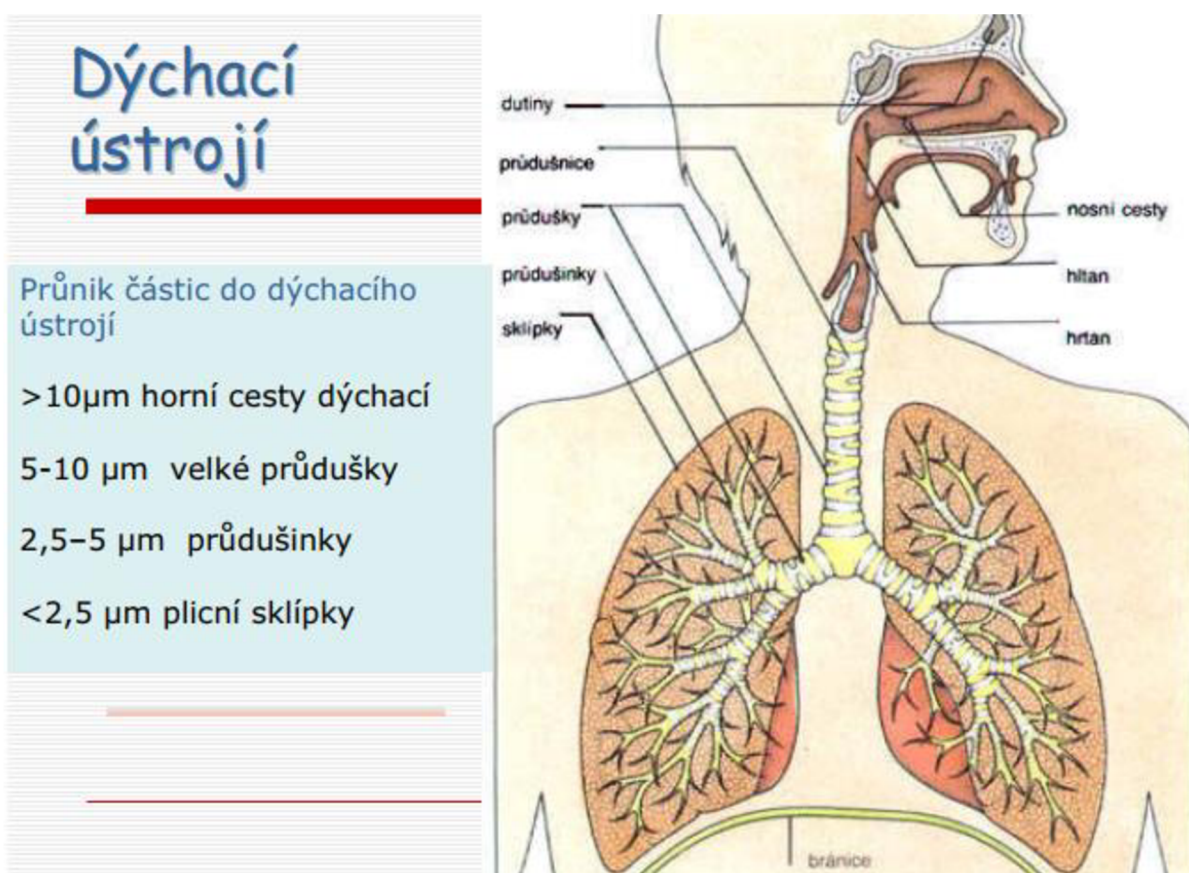
Při krátkodobé zátěži aerosolem PM_{10} hrozí onemocnění srdce, cév, zvýšení počtu osob s onemocněním dýchacích cest, zvýšení výskytu kašle a ztíženého dýchání (zejména u lidí trpících astmatem).

V případě dlouhodobé zátěže jsou děti i dospělí ohroženi sníženou funkcí plic, zvýšením nemocnosti na onemocnění dýchacího ústrojí, zvýšený výskyt zánětu průdušek. Hrozí vyšší

úmrtnost na choroby srdce a cév, pravděpodobně i na rakovinu plic. Pro srovnání: U částic PM_{10} se negativní účinky projevují u ročních koncentrací cca $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, částice $PM_{2,5}$ u ročních průměrných koncentrací $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (15, s. 3)

Podle MUDr. Kazmarové (14, s. 13) jsou působením prachu v ovzduší nejvíce ovlivněni:

- Malé děti, starší lidé a těhotné ženy;
- Astmatici, alergici, lidé s cukrovkou, s onemocněním dýchací a cévní soustavy;
- Lidé s problematickým životním stylem (kuřáci, lidé vystaveni silnému stresu, toxikomani).



Obrázek 3 – Průnik částic do dýchacího ústrojí. (14)

Donedávna se mělo za to, že pro zdraví je klíčová frakce $PM_{2,5}$. Ukazuje se však, že ani hrubý aerosol není z hlediska vlivu na zdraví zanedbatelný. V poslední době se vědci zaměřují na ultrajemné částice, a také na četnostní (namísto hmotnostní) koncentraci suspendovaných částic. Na základě výzkumů se předpokládá, že částice s průměrem menším než 100 nm jsou nositeli nejtoxičtějších látek s největším vlivem na zdraví. Tyto částice pronikají do plicních sklípků, mohou přecházet do cévního řečiště a podílí se na vzniku aterosklerotických plaků. (16, s. 117)

Autoři Frouz a Moldan (16, s. 5) ve své knize ovšem upozorňují, že významný vliv na zdraví mají také částice akumulárního módu (tzn. částice s průměrem cca 500 nm), které vykazují nejvyšší toxicitu.

4.4 VÝFUKOVÉ PLYNY A DOPRAVA

Doprava je spojována nejen s poškozováním přírody, ale i s negativním vlivem na lidské zdraví. Z dopravy vyplývají pro lidské zdraví určitá rizika, a to například zhoršená kvalita ovzduší, vyšší hlučnost v dopravou zatížených lokalitách a také dopravní nehodovost.

Největší nebezpečí pro lidské zdraví je ve městech a městských aglomeracích, jsou to tedy místa, kde je vysoká hustota populace. Ve městech se navíc k vlivu z dopravy přidávají i další rizika, jako například vliv vytápění domácností či průmyslové výroby.

Jedním z nejvýznamnějších zdrojů emisí z dopravy jsou výfukové plyny spalovacích motorů. Složení plynů závisí na typu a seřízení motoru, přídavných zařízeních a použitém palivu. Jako palivo do silničních vozidel jsou používány různé typy benzínů a naft, méně často LPG a zemní plyn. Dalším palivem, které se v současnosti začíná používat, je vodík. Jeho využívání je teprve v počátcích. Výfukové plyny obsahují nejen vodu a CO₂, ale i NO_x, CO, polycyklické aromatické uhlovodíky, aldehydy, ketony, fenoly a jiné organické látky, dále saze, dehet a platinové kovy. Prachové částice jsou součástí výfukových plynů, stejně tak jsou částice produkovány mechanicky při obroušování pneumatik a brzdových destiček, a opotřebováváním dalších součástí vozidel. Nezanedbatelné množství prachových částic, a na ně vázaných škodlivin, se uvolňuje při obroušování vozovky a při korozi zařízení komunikací. (3, s. 2)

Světová zdravotnická organizace odhaduje, že silniční doprava bude v evropských městech způsobovat až 30 % emisí tuhých znečišťujících látek, a až do výše 50 % emisí PM v zemích OECD. Celkový příspěvek dopravy k znečištění ovzduší částic se však může značně lišit. Země s nízkými a středními příjmy jsou často výrazně zatíženy znečištěným ovzduším. Jedná se zejména o státy v Asii, Africe a na Středním východě. Jedním z viníků zvýšeného znečištění ovzduší je i doprava. Částečně je to způsobeno použitím starých naftových vozidel a nedostatkem veřejných a aktivních dopravních sítí. (17)

Ve společnosti se čím dál více objevuje snaha o snižování množství pevných částic v ovzduší z dopravy. Jedním z nástrojů je používání filtrů pevných částic (DPF – diesel particulate filter). Filtr má za úkol škodlivé částice zachytit a účinně spálit (jedná se o tzv. regeneraci filtru). Emise pevných částic vznikají hlavně v dieslových (vznětových) motorech,

které ve srovnání se zážehovými motory produkují až 200krát více pevných částic. Společnost CENIA na svých webových stránkách uvádí, že filtr pevných částic je schopný zachytit přes 95 % částic, které klasický katalyzátor odbourat nedokáže. Při testech bylo změřeno, že automobil s filtrem pevných částic vypustí do ovzduší 100 gramů sazí za ujetých 80 000 kilometrů, oproti tomu u aut bez těchto filtrů vypustí přibližně 3 kilogramy. (18) Nově se zvažuje rovněž uzákonění používání filtru pevných částic i v automobilech s benzínovými motory.

5 ZÍSKÁVÁNÍ DAT

5.1 MĚŘENÍ

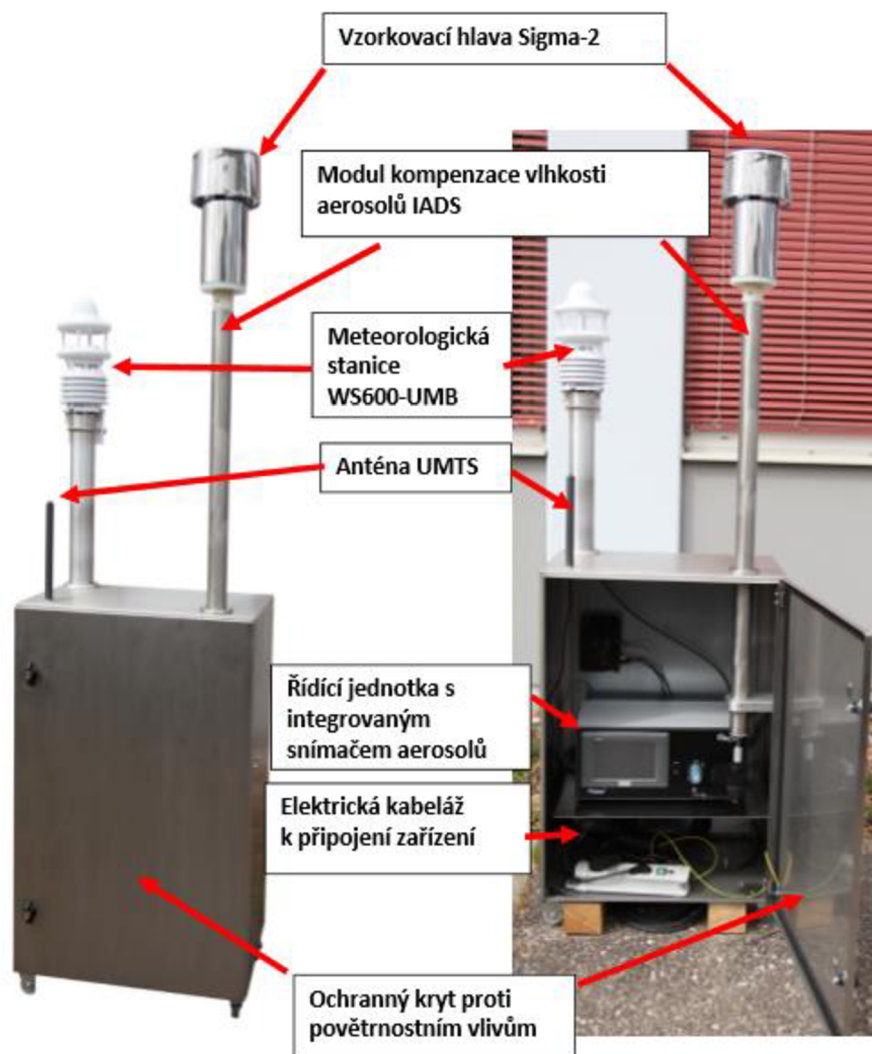
Data, která jsou v této diplomové práci zpracována, jsou měřena na tzv. hot-spot stanicích. Jedná se o stanice umístěné v kaňonu zástavby s rušnou komunikací, stanice je tedy přímo zaměřena na znečištění ovzduší pocházející z dopravy. Data pro detailní analýzu aktuální situace jsou poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem. Stanice typu hot-spot měří v Brně, Ostravě a v Praze. Pro zpracování dat bohužel nemohou být použita kompletní data z Ostravy, v roce 2017 se zde měřilo pouze první polovinu roku.

5.1.1 Metody měření

K určení zatížení prostředí částicemi PM se využívá hmotnostní koncentrace. Jako referenční metoda z pohledu technických norem je stanovena gravimetrie, tedy vážení filtrů se vzorkem částic, který byl odebrán při průtoku částic s využitím separační odběrné hlavy pro určitou frakci. Tato metoda ovšem neměří krátkodobé časové intervaly, nejkratší interval vzorkování ve státní síti imisního monitoringu je 1 den. Kromě této výchozí metody existují kontinuální metody s vysokým časovým rozlišením. Jedná se o metody navázané, je potřeba je kalibrovat na referenční metodu. V ČR se využívá metoda využívající kónické oscilační mikrováhy, metoda využívající separační odběrné hlavy pro danou frakci a absorpci beta záření, a metoda využívající optický aerosolový spektrometr na bázi nefelometrie. Tato metoda je zastoupena například přístrojem FIDAS. (19, s. 20)

5.1.2 Měřicí přístroj FIDAS

Měření je na stanicích hot-spot prováděno pomocí přístroje Palas FIDAS 200 (Obrázek 4). Jedná se o optický prachový analyzátor TSP (PM_{tot} , PM_{10} , PM_4 , $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$). Mimo tyto uvedené frakce prachových částic dokáže také změřit jejich hmotností koncentrace, koncentraci částic a velikostní distribuci částic. Přístroj je schopný měřit hodnoty PM současně a v reálném čase. Obsluha přístroje si může nastavit požadované časové rozlišení, od 1 s až po 24 hodin.



Obr. 53: Ochranný kryt proti povětrnostním vlivům

zavřen

Obr. 54: Ochranný kryt proti povětrnostním vlivům

otevřen

Obrázek 4 – Měřicí přístroj FIDAS. (20)

Přístroj využívá homologovanou měřicí technologii optického rozptylu světla a je vybavený zdrojem bílého světla LED. Součástí přístroje je držák filtru, do kterého je možné vložit filtr pro gravimetrickou nebo jinou laboratorní analýzu. FIDAS je vybavený odběrnou hlavicí, která umožňuje reprezentativní měření i při silném větru, systémem inteligentní kompenzace vlhkosti a čidly na měření teploty, tlaku a relativní vlhkosti vzduchu. (21, s. 1)

Odběrná hlava Sigma umožňuje reprezentativní odběr vzorku i při silném větru, přístroj využívá inteligentní kompenzace vlhkosti (IADS), který pomocí dynamicky regulovaného sušícího systému eliminuje znehodnocení měření kondenzačními efekty. (21, s. 2)

Další součástí je aerosolový senzor, který rozpoznává velikost částic a jejich počet pomocí světelného rozptylu. Částice se pohybují skrze prostor, který je prosvícen bílým

světlem. Jednotlivé částice procházející nasvíceným prostorem vydávají optický impuls, který je určen pod určitým úhlem. Počet částic se zjistí z velikosti intenzity rozptýleného světla. Přístroj je schopný rozpoznat částice o velikosti 180 nm. Koncentrace částic (jejich počet) je měřen na základě počtu optických impulsů za objemový tok. (19, s. 2)

Držák filtru, který je připojený k optickému senzoru, umožňuje gravimetrickou validaci dat, analyzátor lze ovládat pomocí dotykového displeje. Naměřená data se ukládají do dataloggeru, UMTS anténa umožňuje data přenášet. Součástí měřicího přístroje je také meteorologická stanice, která snímá data o rychlosti a směru větru, množství a druhu srážek. (19, s. 20)

5.2 AGLOMERACE BRNO

Aglomerace Brno je totožné území s územím statutárního města Brna. Nachází se na jihovýchodě České Republiky v Jihomoravském kraji. Území města se rozkládá na jihovýchodních svazích Brněnské vrchoviny, na rozloze 230 km², což je 0,3 % území republiky. (22, s. 19)

Na území brněnské aglomerace začal jako první měřit Český hydrometeorologický ústav, jehož první měřicí stanice byly uvedeny do provozu v sedmdesátých letech 20. století. První měřicí systémy, které spravuje magistrát města Brna, byly uvedeny do provozu v roce 1996, kdy bylo na území města Brna umístěno 6 stacionárních měřicích systémů. Během následujících let došlo k obnově vybavení jednotlivých stanic, poslední fáze obnovy byla v roce 2013, kdy byla vyměněna výpočetní technika, byla dodána čidla teplot, vlhkosti a analyzátorů NO-NO₂-NO_x, SO₂, CO, O₃. Kontrola měřicích systémů, servis na stanicích a kalibrování analyzátorů je prováděna podle příručky, kterou schválilo Ministerstvo životního prostředí ČR.

Na měření kvality ovzduší se v brněnské aglomeraci podílí tři organizace: Český hydrometeorologický ústav, Statutární město Brno a Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě. V současnosti měření probíhá celkem na 14 místech (přehled viz Obrázek 4), stanice jsou klasifikovány podle oficiální evropské klasifikace. Klasifikace je navržena pro potřeby výměny informací a předávání zpráv o kvalitě ovzduší, jedná se o tzv. *reporting*. Skládá se ze tří písmen, která jsou oddělena lomítkem. První písmeno označuje typ lokality (T – dopravní, I – průmyslová, B – pozad'ová). Druhé písmeno za lomítkem specifikuje, o jaký typ oblasti se jedná (U – městská, S – předměstská), poslední písmeno (nebo také kombinace písmen) uvádí kombinaci charakteristik oblastí, první písmenko v této kombinaci písmen má největší prioritu (R – obytná, C – obchodní, RN – obytná/přírodní, CR – obytná/obchodní). (22, s. 23)

Lokalita	Klasifikace	Vlastník	Měřené škodliviny
Brno - Arboretum	B/U/RN	SMBрно	PM ₁₀
Brno - Lány	B/S/RN	SMBрно	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO-NO ₂ -NO _x , CO
Brno - Svatoplukova	T/U/R	SMBрно	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO-NO ₂ -NO _x , CO
Brno - Výstaviště	T/U/C	SMBрно	PM ₁₀ , SO ₂ , NO-NO ₂ -NO _x , CO, O ₃
Brno - Zvonařka	T/U/C	SMBрно	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO-NO ₂ -NO _x , CO, O ₃
Brno - Masná	B/U/CR	ZÚ, SMOva	PM ₁₀ , NO ₂ , TK, PAH
Brno - střed	T/U/R	ČHMÚ	PM ₁₀ , SO ₂ , NO-NO ₂ -NO _x , CO, O ₃ , BZN
Brno - Soběšice	B/S/R	ČHMÚ	PM ₁₀ , NO ₂ , SO ₂
Brno - Kroftova	T/U/R	ČHMÚ	PM ₁₀ , NO ₂ , SO ₂ , TK, PAH
Brno - Líšeň	B/U/R	ČHMÚ	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ , TK, PAH
Brno - Úvoz (hot spot)	T/U/R	ČHMÚ	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ , CO, BZN
Brno - Tuřany	B/S/R	ČHMÚ	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO-NO ₂ -NO _x , CO, O ₃
Brno - Dobrovského	B/U/R	ZÚ, SMOva	PM ₁₀ , NO ₂ , TK

Obrázek 5 – Měřicí stanice v Brně. (22).

Mezi měřicími stanicemi v Brně je i tzv. hot-spot. Jde o stanici, která měří v lokalitách s vysokým znečištěním ovzduší. Tato měřicí místa jsou orientovaná zejména na dopravu, a z toho vyplývá jejich imisní zařízení. Hot-spot měří kvalitu ovzduší celkem na 4 místech v České republice, kromě Brna ještě v Praze, Ostravě a v Ústí nad Labem.

Lokalita Brno – Úvoz

Brno – Úvoz je lokalita v centru Brna, jde o takzvaný hot-spot, tedy měřicí stanici orientovanou na dopravu. Podle evropské klasifikace se jedná o dopravní typ lokality, tedy jde o stanici, kterou ovlivňuje doprava. Umístění měřicí stanice je znázorněno na obrázku 7. Stanice by měla být umístěna ve vzdálenosti maximálně 50 m od komunikace, měla by reprezentovat linii v co nejdelší délce, což se určuje pomocí délky komunikace, v případě lokality v centru města o délku více než 100 m. Oblast je dále charakterizována jako městská a obytná.



Obrázek 6 – Detail hot-spotu – Brno-Úvoz. (10)

Tato měřicí stanice v Brně na ulici Úvoz je automatizovaná měřicí stanice, což znamená, že měření koncentrací probíhá kontinuálně, výsledky měření jsou on-line k nahlédnutí na webových stránkách ČHMÚ.



Obrázek 7 – Umístění stanice hot-spot v Brně. (10)

5.3 AGLOMERACE OSTRAVA

Ostrava je jedno z nejvýznamnějších center průmyslu v České republice ležící na území Moravskoslezského kraje. Jedná se o třetí největší město republiky. V oblasti životního prostředí je Ostrava jedno z nejzatíženějších míst, v poslední době ovšem dochází ke zlepšení.

Jedním z nejdiskutovanějších problémů Ostravy je kvalita ovzduší, která je ovlivněna nejen průmyslovou výrobou, dopravou, lokálními topeništi, geografickou polohou ostravské aglomerace, která je v blízkosti hornoslezského úvalu, ale i meteorologickými podmínkami jako je proudění vzduchu nebo teplotní poměry. (23, s. 19)

Magistrát města Ostravy na svých webových stránkách uvádí, že v Ostravě jsou provozovány 4 imisní monitorovací stanice provozované Zdravotním ústavem v Ostravě. Dalších 5 stanic provozuje Český hydrometeorologický ústav.

Lokalita	Kvalifikace	Vlastník
Ostrava - Českobratrská (Hot spot)	T/U/CR	ČHMÚ
Ostrava - Fifejdy	B/U/R	ČHMÚ
Ostrava - Mariánské Hory	I/U/IR	ZÚ Ostrava
Ostrava - Poruba DD		ZÚ Ostrava
Ostrava - Poruba	B/S/R	ČHMÚ
Ostrava - Přívoz	I/U/IR	ČHMÚ
Ostrava - Radvanice	I/S/IR	ZÚ Ostrava
Ostrava - Radvanice (OZO)		ZÚ Ostrava
Ostrava - Zábřeh	B/U/R	ČHMÚ

Obrázek 8 – Měřicí stanice v Ostravě. (23)

Z konstatování Ministerstva životního prostředí vyplývá, že největším problémem v oblasti jsou vysoké koncentrace benzo[*a*]pyrenu, a suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5}.

Hot-spot, ze kterého pochází data pro tuto práci, jsou naměřena v Ostravě na ulici Českobratrská. Jedná se o dopravní typ stanice, stanice je umístěná v městském typu zóny. Zóna je blíže charakterizována jako obytná a obchodní. Jak již bylo uvedeno, data z ostravské měřicí stanice nejsou pro porovnání dat v naší práci použita, hot-spot měřil pouze první polovinu roku 2017.



Obrázek 9 - Hot-spot Ostrava. (10)

5.4 AGLOMERACE PRAHA

Aglomerace Praha leží na řece Vltavě ve středu Středočeského kraje. Hlavní město patří k nejdůležitějším hospodářským a ekonomickým centrům České republiky. Vysoká intenzita a nárůst automobilové dopravy, přetížení komunikací v centru města, imisní a hluková zátěž jsou jedny z největších problémů Prahy. Praha je také důležitým železničním uzlem a na jejím území se nachází i Letiště Václava Havla, které obsluhuje osobní i nákladní dopravu. (24, s. 19)

V aglomeraci Praha se na měření kvality ovzduší podílí tři organizace, a to Český hydrometeorologický ústav, Státní zdravotní ústav a Zdravotní ústav se sídlem v Ústí nad Labem. Přehled stanic spolu s jejich vlastníky je na obrázku 10. (24, s. 24)

Lokalita	Kvalifikace	Vlastník
Praha 1 - náměstí Republiky	B/U/C	ČHMÚ
Praha 10 - Průmyslová	T/U/IC	ČHMÚ
Praha 10 - Vršovice	T/U/RC	ČHMÚ
Praha 13 - Stodůlky	B/U/R	ČHMÚ
Praha 2 - Legerova (hot spot)	T/U/RC	ČHMÚ
Praha 2 - Riegrovy sady	B/U/NR	ČHMÚ
Praha 4 - Libuš	B/S/R	ČHMÚ
Praha 5 - Mlynářka	T/U/RC	ČHMÚ
Praha 5 - Smíchov	T/U/RC	ČHMÚ
Praha 6 - Suchdol	B/S/R	ČHMÚ
Praha 6 - Veleslavín	B/S/R	ČHMÚ
Praha 6 - Veleslavín	I/U/I	ČHMÚ
Praha 8 - Karlín	T/U/C	ČHMÚ
Praha 8 - Kobylisy	B/S/R	ČHMÚ
Praha 9 - Vysočany	T/U/RC	ČHMÚ
Praha 10 - Škrobárova	B/U/RC	SZÚ
Praha 1 - Národní muzeum	T/U/RC	ZÚ Ústí nad Labem
Praha 5 - Řečky	B/S/RA	ZÚ Ústí nad Labem
Praha 5 - Svornosti	T/U/IR	ZÚ Ústí nad Labem
Praha 8 - Sokolovská	T/U/R	ZÚ Ústí nad Labem

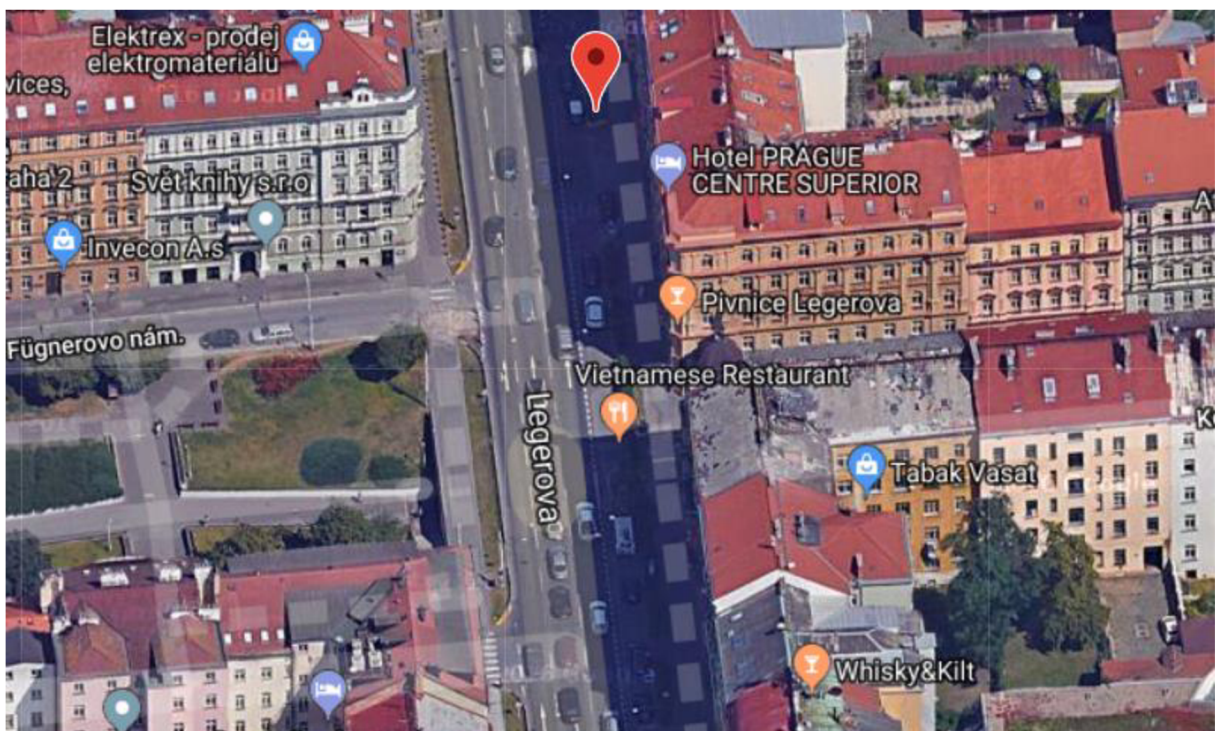
Obrázek 10 - Měřicí stanice v Ostravě. (24)

Data, která jsou použita v této práci, jsou měřena na automatizované měřicí stanici v Praze 2 na ulici Langerova, jedná se o měřicí stanice typu hot-spot. Stanice je klasifikována pod písmeny T/U/RC; jedná se tedy o dopravní stanici v městském typu zóny, která podrobněji je klasifikována jako obytná a obchodní. Hot-spot měří suspendované částice PM_{2,5}, PM₁₀, oxid dusičitý a oxid uhelnatý. (24)

Na posledním obrázku této kapitoly (Obrázek 12) je mapa s umístěním stanice hot-spot v Praze na ulici Legerova. V porovnání s Brnem je stanice na částečně otevřeném prostoru, kdy z levé strany je Fügnerovo náměstí. Zda má tento rozdíl mezi aglomeracemi vliv i znečištění ovzduší bude rozebráno v následující kapitole, která se týká analýzy částic v ovzduší v jednotlivých aglomeracích.



Obrázek 11 – Hot-spot Praha – Langerova. (10)



Obrázek 12 – Umístění stanice hot-spot Praha 2–Legerova. (10)

6 HODNOCENÍ POČTU A KONCENTRACÍ ČÁSTIC

Kapitola týkající se hodnocení počtu částic je rozdělena do několika podkapitol. V úvodní části bude zhodnoceno zastoupení jednotlivých velikostních frakcí částic v ovzduší v Brně. Následující části se zabývají analýzou koncentrací částic v jednotlivých časových intervalech, rozborem závislostí koncentrací na meteorologických podmínkách, a v závěru každé podkapitoly je porovnání dat z aglomerace Brno s ostatními aglomeracemi.

Je nezbytné zmínit skutečnost, že grafy týkající se srovnávání všech tří aglomerací, využívají data pouze z první poloviny roku 2017. Příčinou je absence dat z ostravského hot-spotu, ze kterého nemá Český hydrometeorologický ústav naměřená data pro měsíce červenec až prosinec. Znamená to tedy, že následující grafy týkající se srovnání lokalit Praha, Brno a Ostrava pracují pouze s daty za měsíce leden až červen.

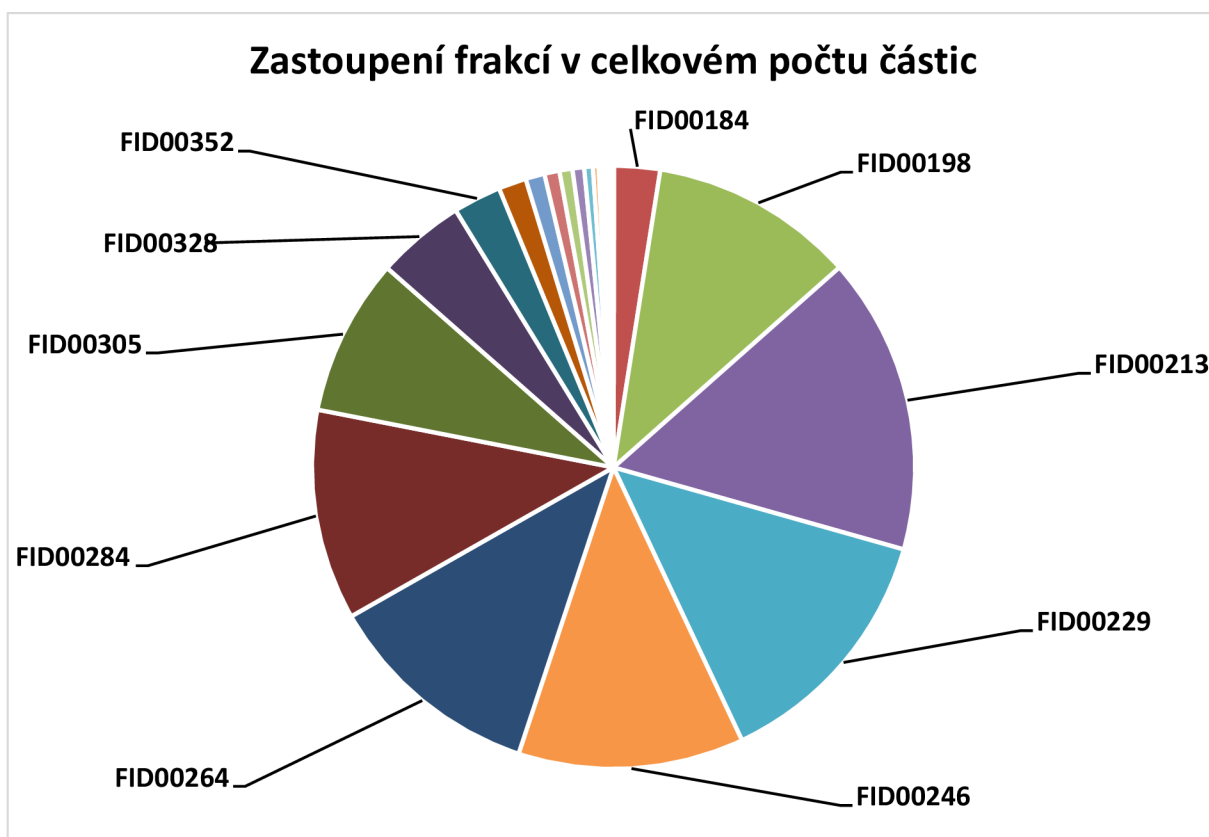
Data týkající se intenzity dopravy v Brně jsou k dispozici na webových stránkách <https://www.doprava-brno.cz/>, kde je možné pro jednotlivé ulice města nasčítat intenzitu dopravy během určitého časového úseku. Technická správa komunikací hlavního města Prahy, a.s. poskytla data o intenzitě dopravy v ulici Legerova, kde se nachází měřicí stanice hot-spot. Údaje o počtu projetých aut v okolí ostravského hot-spotu byla zjištěna z údajů Ředitelství silnic a dálnic České republiky (ŘSD ČR), které jsou dostupné na webových stránkách <https://www.rsd.cz/wps/portal/>. Tyto údaje jsou ze sčítání dopravy, nelze je vyhledat v hodinových intervalech, ale podle delších denních období. Konkrétně se jedná o 3 intervaly, první z nich od 6 do 18 hodin, od 18 do 22 hodin a poslední interval je od 22 do 6 hodin.

U následujících grafů jsou data o počtech/koncentracích porovnávány v různých časových intervalech, konkrétně se jedná o hodiny během dne, jednotlivé dny nebo měsíce. Pro tyto případy jsou data vypočítána jako celkový průměr z dílčích hodnot.

6.1 CELKOVÉ POČTY ČÁSTIC V OVZDUŠÍ V BRNĚ

Nejvýznamnější primární zdroje emisí prachových částic v Brně jsou doprava, procesy spalování tuhých paliv, přenos částic ze zemědělsky obdělávaných polí, průmyslové emise prachu, přeprava materiálů, spalování dřeva, požáry, stavby. Dále do výčtu základních zdrojů částic patří nezpevněné cesty a nezatravněné plochy, kde vlivem půdní eroze vznikají částičky prachu, které se vlivem fyzikálních procesů v atmosféře zmenšují, a čím jsou menší, tím déle se udrží ve vzduchu. Oproti jiným polutantům se pomaleji odbourávají a déle se udrží ve vzduchu. (25, s. 35)

Na následujících grafech je porovnáván celkový počet částic (popř. koncentrace jednotlivých frakcí částic) v ovzduší s celkovou intenzitou dopravy v daných časových intervalech. Celkový počet částic je dán součtem 62 frakcí, a to od 180 do 1700 nm. Data, naměřená v průběhu roku 2017, byla rozdělena podle jednotlivých frakcí. Byly vypočítány průměrné hodnoty za celý rok. Jejich zastoupení na celkovém počtu částic je vidět na prvním grafu (viz Graf 1). Početně nejvýznamnější frakce mají rozměry od 180 nm do 543 nm. V tomto rozmezí velikostí se vyskytuje 99 % všech měřených částic. Avšak již 95 % všech částic se vyskytuje pouze v rozmezí velikosti průměru částice od 180 nm do 352 nm.



Graf 1 – Zastoupení frakcí v celkovém počtu částic. Brno-Úvoz. Rok 2017.

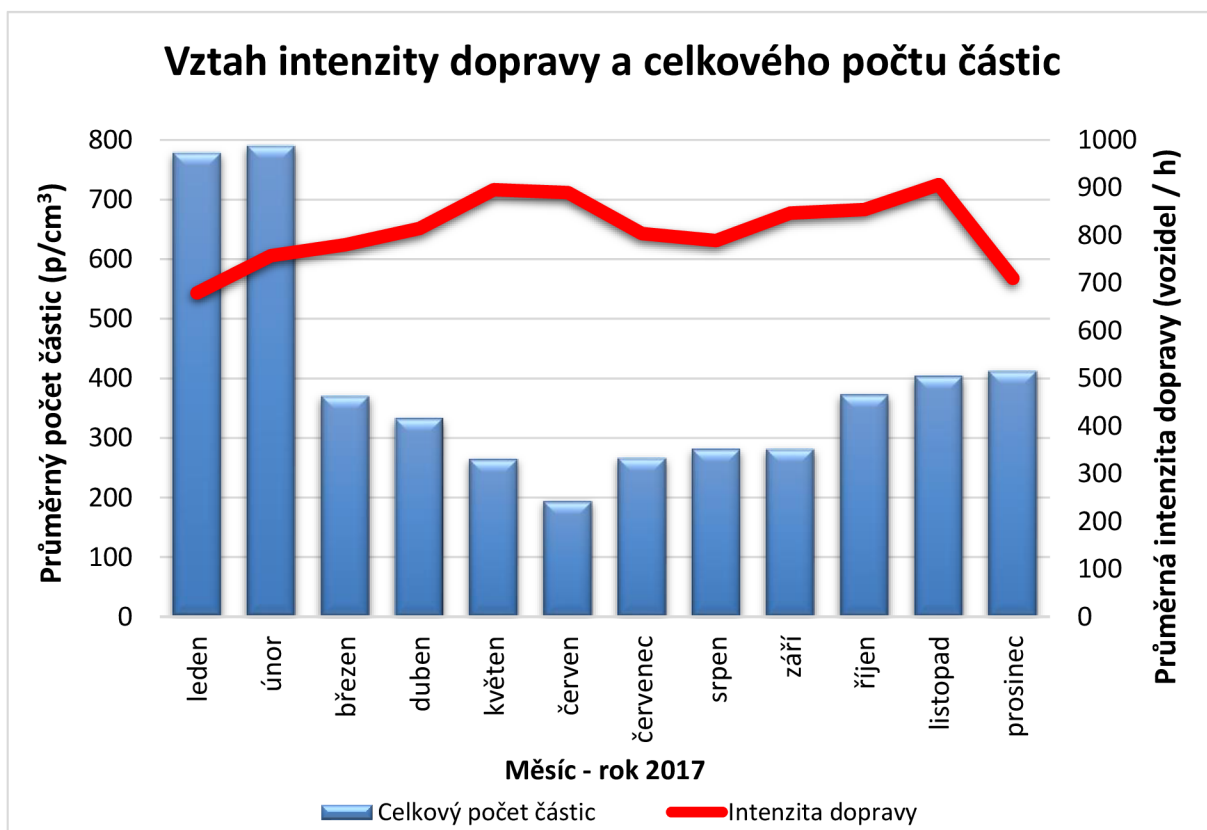
Zdrojem dat je měřicí přístroj Fidas, který je schopný zaznamenávat částice od velikosti 172 nm. Jak je patrné z následujících grafů, doprava ovlivňuje zejména koncentrace částic PM₁₀. Suma částic a koncentrace jemnějších frakcí PM s dopravou příliš nekorelují. Je tedy pravděpodobné, že doprava emituje zejména částice o velikosti menších než zmíněných 172 nm, které přístroj Fidas na dopravních hot-spot lokalitách neumí zachytit.

Tuto domněnku potvrzuje i Vojtíšek (26, s. 35), který se problematice dopravy a znečišťování ovzduší intenzivně věnuje. Ve své práci zmiňuje problematiku vznětových motorů. Podle autora vznětové motory emitují částice o velikosti jednotek až stovek nanometrů,

přičemž nejvyšší početní zastoupení mají částice o ekvivalentním průměru vyšších desítek nm. Větší částice, shluky, otěrové částice a prach, tvoří pouze část z celkového množství emitovaných částic. Tyto částice jsou nazývány nanočástice, které jsou vypouštěny nikoliv z vysokých komínů mimo obydlené oblasti, nýbrž v bezprostřední blízkosti lidí, tj. osádek vozidel, cyklistů, chodců, obyvatel a návštěvníků přilehlých oblastí.

6.2 ROČNÍ CHOD MĚSÍČNÍCH KONCENTRACÍ

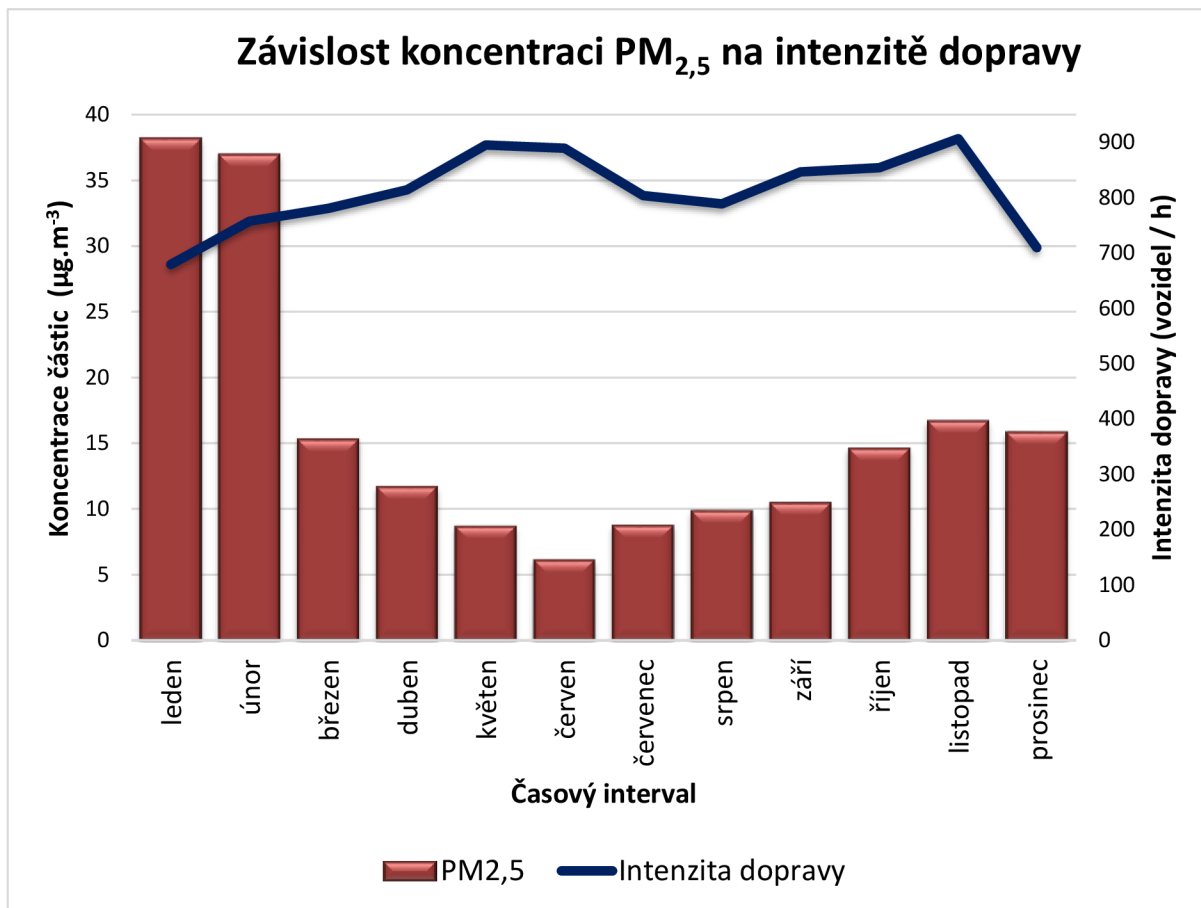
Úvodní graf zobrazuje roční chod průměrných měsíčních počtů částic a intenzity dopravy v lokalitě Brno – Úvoz. Počet projetých vozidel ulicí Úvoz se během roku příliš nemění, přesto je patrná vyšší intenzita dopravy v teplé části roku. Nejvyšší hodnoty jsou měřeny v květnu a v červnu, naopak nízké hodnoty jsou pozorovány v prosinci a lednu. Zřetelný je rovněž pokles počtu vozidel o prázdninách (červenec, srpen), kdy je část obyvatel na dovolené.



Graf 2 – Závislost intenzity dopravy a celkového počtu částic. Brno-Úvoz. Roční chod průměrných měsíčních hodnot, rok 2017.

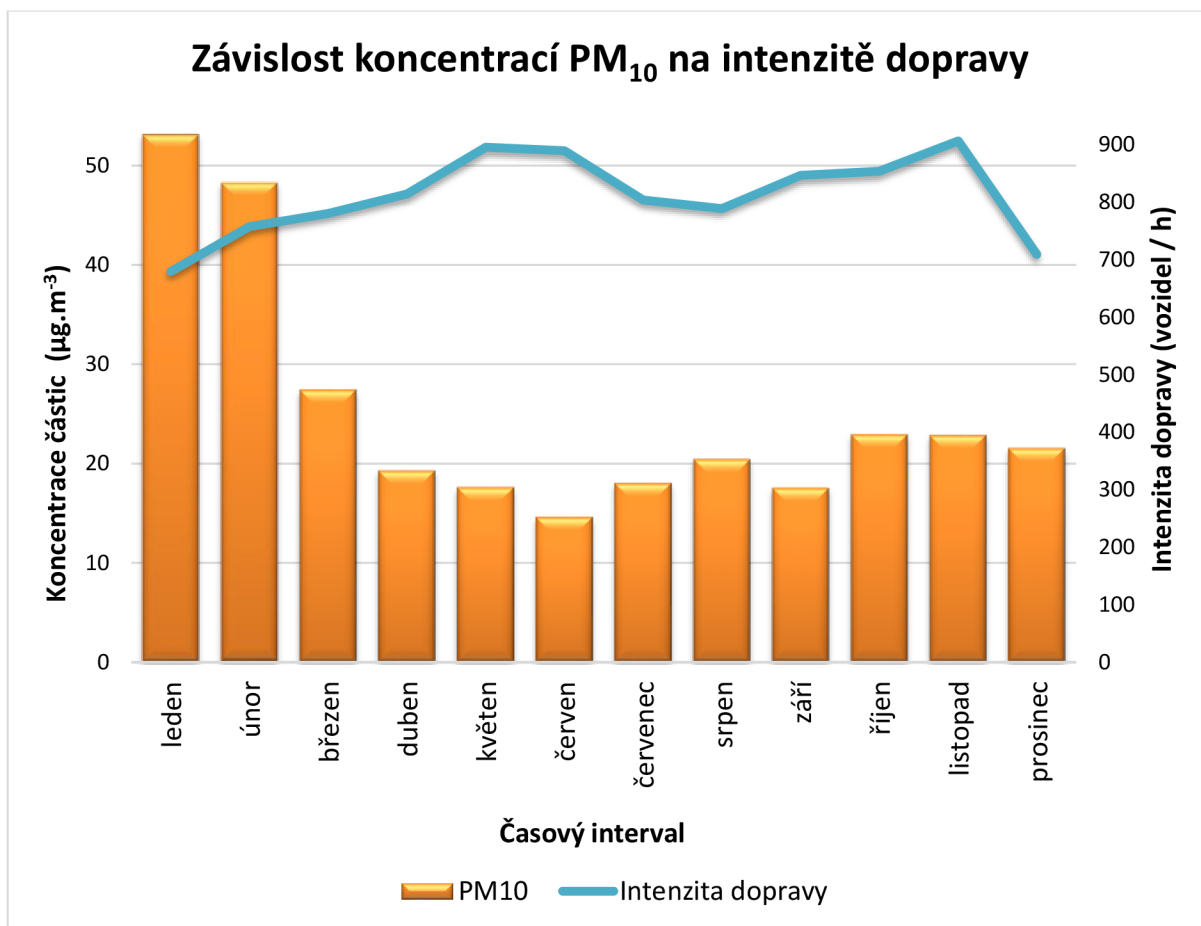
V kontrastu s počtem projetých aut jsou počty částic vyšší v chladné části roku, a naopak nízké hodnoty jsou měřeny v létě. Nejnížší průměrný měsíční počet částic (194 p/cm³)

byl v roce 2017 naměřen v červnu, kdy naopak intenzita dopravy kulminuje. V lednu a v únoru byly naopak počty částic nejvyšší (téměř 800 p/cm³), téměř dvojnásobně vyšší proti zbylým měsícům roku 2017, kdy se průměrné měsíční hodnoty počtu částic pohybují v intervalu od 200 do 500 p/cm³ (tj. počet částic na centimetr krychlový).



Graf 3 – Závislost koncentrací PM_{2,5} na intenzitě dopravy. Brno-Úvoz. Roční chod průměrných měsíčních hodnot, rok 2017.

Jak můžeme vidět na grafickém znázornění (Graf 2 a Graf 3), vyšší koncentrace částic PM₁₀ i PM_{2,5} jsou měřeny v zimních měsících, což může být důsledkem vytápění. Vytápění domácností během topné sezóny má plošný účinek, k navýšení koncentrací dojde prakticky na celém území ČR, a tento vliv je dobře patrný i na dopravních stanicích, kde by majoritním faktorem ovlivňujícím koncentrace škodlivin měla být doprava.



Graf 4 – Závislost koncentrací PM₁₀ na intenzitě dopravy. Brno-Úvoz. Roční chod průměrných měsíčních hodnot, rok 2017.

Pokud se na vztah koncentrací suspendovaných částic a intenzity dopravy podíváme v dlouhodobějším časovém horizontu (v tomto případě data za celý rok), zjistíme, že průměrné hodnoty koncentrací částic hrubé frakce jsou během roku zhruba o $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ vyšší než v případě částic jemné frakce. Jak je možné z grafů odečíst, vývoj koncentrací jednotlivých frakcí mají obdobný průběh.

Z grafů v této kapitole lze vyčíst, že koncentrace PM_{2,5} i PM₁₀ nejsou závislé na intenzitě dopravy. Hodnoty koncentrací částic jsou v prvních měsících roku téměř dvojnásobně vyšší než ve zbylých měsících (podobně jako v případě počtu částic). Příčinou může být více vlivů, zejména pak vliv meteorologických podmínek a vytápění obytných budov, obdobně jako v případě celkového počtu částic. V následujících měsících je koncentrace suspendovaných částic výrazně nižší, oproti tomu intenzita dopravy je na přibližně na stejných hodnotách jako na počátku roku, a kulminuje v květnu a červnu.

Tyto závislosti potvrzuje i výpočet korelací:

Korelace celkového počtu částic s intenzitou dopravy: – 0,65

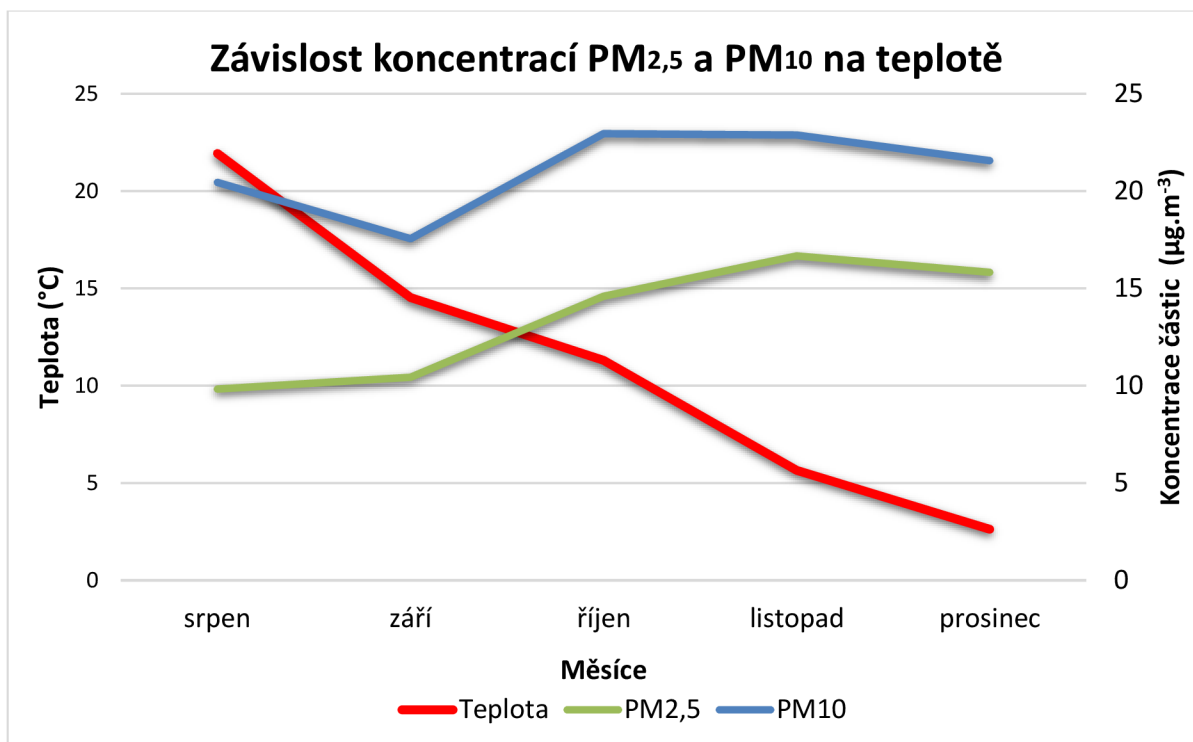
Korelace PM_{2,5} s intenzitou dopravy: – 0,64

Korelace PM₁₀ s intenzitou dopravy: – 0,67

Korelační koeficient slouží k odhalení a měření vzájemného vztahu mezi proměnnými. Hodnoty se pohybují od -1 do 1, přičemž čím více je hodnota bližší 1, tím je mezi proměnnými silnější pozitivní vztah (když roste jedna charakteristika, roste i druhá). Pokud se hodnota blíží -1, je mezi veličinami negativní korelace (když jedna veličina roste, druhá klesá). Pokud se hodnoty pohybují kolem 0, není mezi veličinami žádná korelace. (27, s. 95)

Z vypočtených korelačních koeficientů tak vyplývá, že na úrovni průměrných měsíčních hodnot je mezi počtem, resp. koncentracemi částic, a intenzitou dopravy velmi podobná negativní korelace. Na měsíční úrovni má tedy pravděpodobně na koncentrace částic vliv jiný faktor.

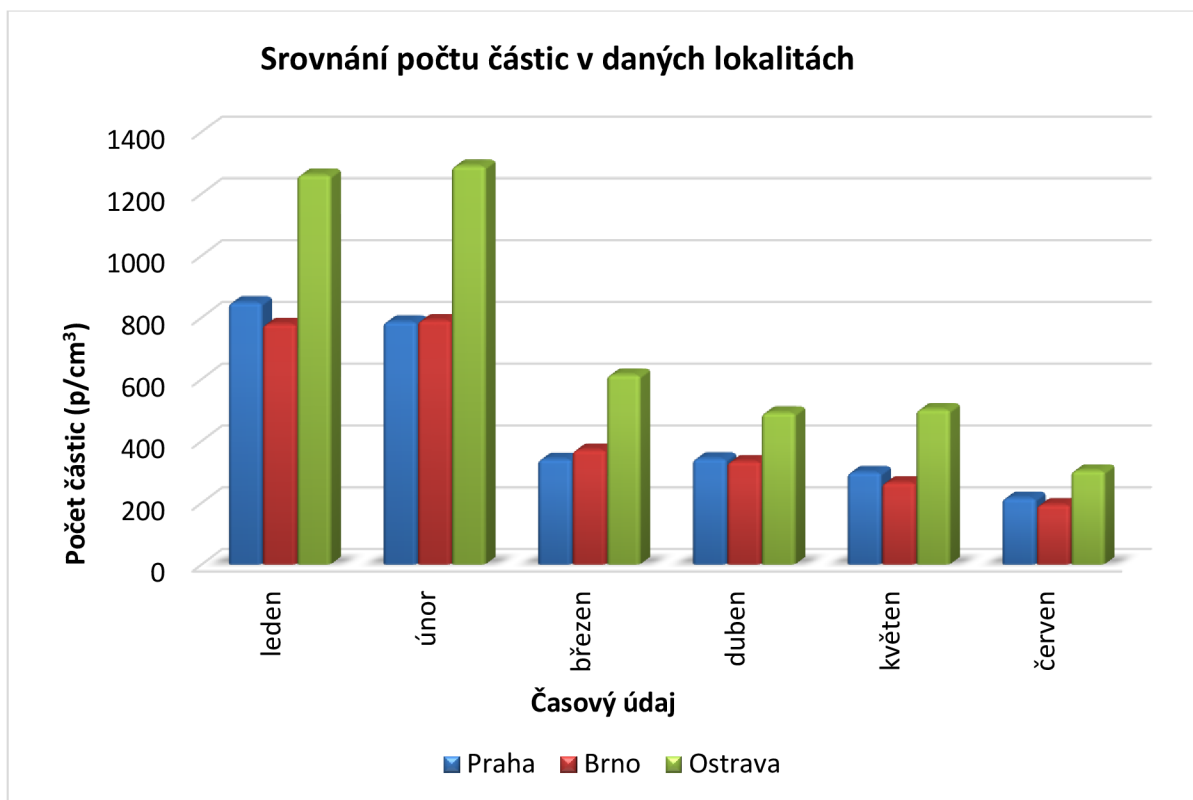
Vliv meteorologických podmínek na průměrný roční chod měsíčního počtu částic na brněnské ulici Úvoz nelze dokumentovat pro celý kalendářní rok 2017, protože data meteorologických prvků, včetně teploty, nejsou pro první polovinu roku k dispozici. Z následujícího grafu (Graf 5) lze vyčíst nepřímou závislost mezi koncentracemi částic v ovzduší a teplotou. Teplota od prázdninových měsíců, resp. od srpna postupně klesá. Koncentrace částic PM_{2,5} naopak konstantně rostou, u částic PM₁₀ mají hodnoty koncentrací s klesající teplotou také rostoucí tendenci. Korelační koeficienty jsou pro částice PM_{2,5} = -0,91 a pro PM₁₀ = -0,48. Mezi koncentracemi částic PM_{2,5} a teplotou je tedy silná negativní korelace, o čemž vypovídá korelační koeficient blízký se hodnotě -1. Tato silná negativní korelace naznačuje, že zvýšené koncentrace těchto jemnějších a nebezpečnějších částic lze očekávat zejména v zimních měsících a při nízkých teplotách. To velmi pravděpodobně souvisí s topnou sezónou a zhoršenými rozptylovými podmínkami. V zimních měsících lze očekávat i vyšší koncentrace PM₁₀, protože i mezi částicemi PM₁₀ a teplotou je negativní korelace. Avšak není tak silná, jako v případě PM_{2,5} – na koncentrace částice PM₁₀ má vliv pravděpodobně i doprava. Mezi součtem částic a teplotou je korelační koeficient shodný jako v případě PM_{2,5}, platí pro ně tedy obdobný závěr. Jemné částice, které je schopen přístroj Fidas detekovat, pravděpodobně pochází pravděpodobně pouze v malé míře z dopravy, mnohem více počty částic ovlivňuje meteorologická situace a topná sezóna. Ultrajemné částice, pocházející z dopravy, pravděpodobně leží svým průměrem pod mezí detekce přístroje Fidas.



Graf 5 - Závislost koncentrací částic na teplotě. Brno-Úvoz. Roční chod průměrných měsíčních hodnot, srpen až prosinec 2017.

Poslední graf této podkapitoly zobrazuje hodnoty počtů částic v jednotlivých aglomeracích za dané měsíce roku 2017. Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, jsou srovnávána data pouze pro první polovinu roku. I z těchto neúplných údajů se dá z grafu vyčíst, že počty částic v Ostravě jsou vyšší než v Praze a v Brně. V úvodu roku přesahují hodnoty v Ostravě hranici 1 200 p/cm³, zato v Praze a Brně dosahují maximálně hranice 800 p/cm³. V následujících měsících hodnoty ve všech třech městech výrazně klesly, ale i pro ně stále platí, že počty částic v Ostravě jsou vyšší, a to zhruba o třetinu, než v Praze a v Brně.

Toto srovnání aglomerací potvrzuje domněnku napsanou výše, která za příčinu vyššího počtu částic ze začátku roku považuje vytápění domácností a meteorologické podmínky.



Graf 6 – Srovnání lokalit Brno, Praha, Ostrava. Měsíční chod leden až prosinec, rok 2017.

Vossler a kol. (28, s. 1) se zabývali situací na Ostravsku, kde byly dlouhodobě měřeny vysoké koncentrace znečišťujících látek. Během šetření byly ve dvanáctihodinových intervalech odebrány vzorky na různých lokalitách, aby reprezentovaly odlišné podmínky. Navíc, vzorky PM_{2,5} byly doplněny sledováním plynů a meteorologických podmínek. Výsledkem šetření bylo zjištění, že významnými zdroji znečišťujících látek jsou průmyslové podniky, elektrárny v okolí, a vytápění levnými palivy (dřevo, uhlí).

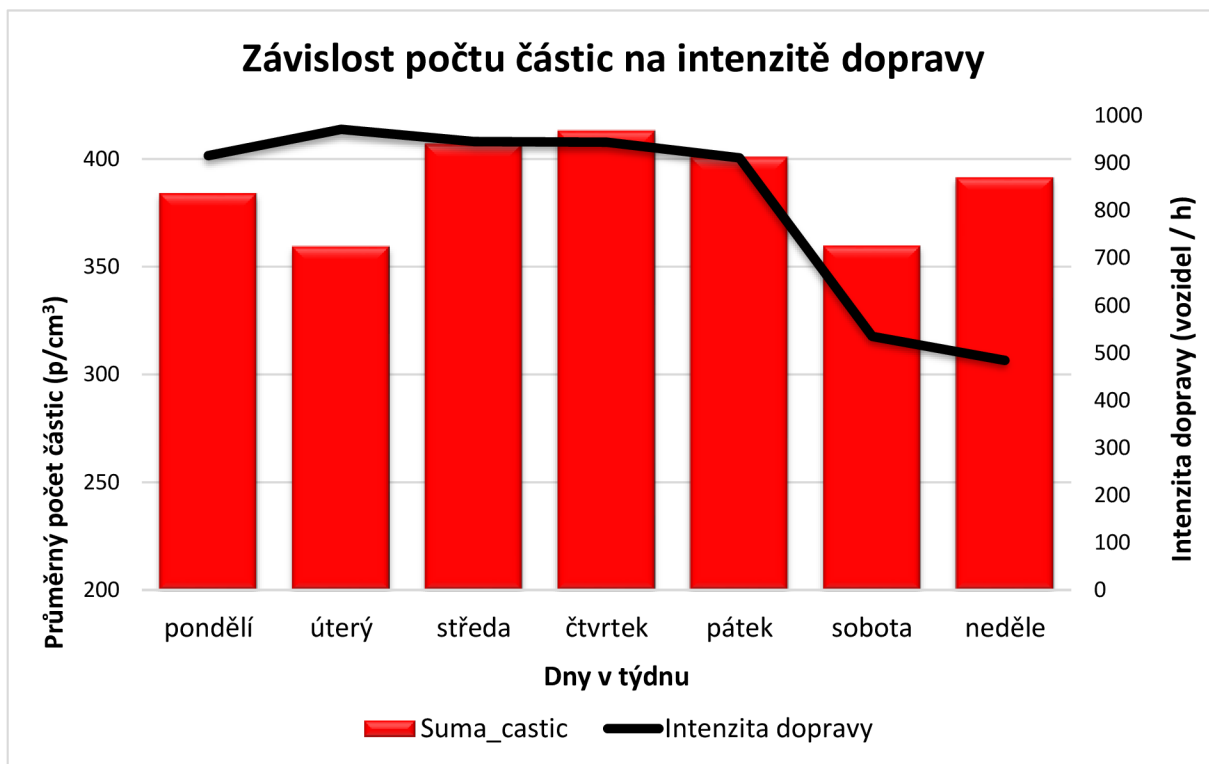
Výše uvedená studie pouze utvrzuje domněnku, že příčinou až dvojnásobně vyšších hodnot v aglomeraci Ostrava je pravděpodobně intenzivní průmyslová výroba v okolí a spalování nekvalitních paliv v lokálních topeništích

6.3 TÝDENNÍ CHOD DENNÍCH KONCENTRACÍ

Tvrzení, že celkový počet částic v ovzduší není přímo závislý na intenzitě dopravy, potvrzuje i následující graf, (viz Graf 7), kde jsou v týdenním chodu srovnávána průměrná denní data počtu částic a intenzity dopravy během jednotlivých dní týdne.

Průměrné denní hodnoty počtu částic, které byly v roce 2017 naměřeny, se pohybují v rozmezí od 360 do 413 p/cm³. Je zajímavé, že nejnižší hodnoty jsou měřeny v úterý a sobotu,

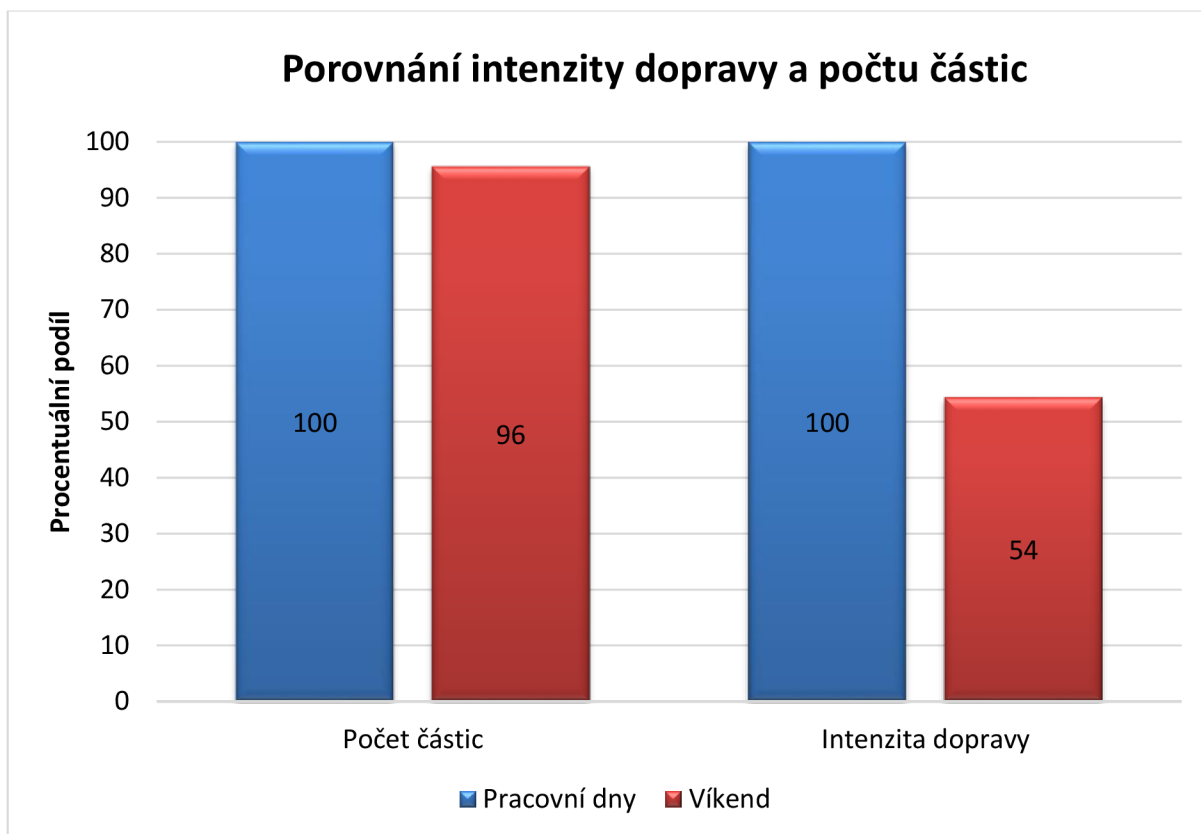
pohybují se shodně na hranici 360 p/cm^3 . Intenzita dopravy se v pracovní dny pohybuje v rozmezí 900 – 1 000 projetých vozidel za den, o víkendu hodnota klesá zhruba na polovinu. Neznamená to však, že klesl i celkový počet částic v ovzduší, pravděpodobně jejich výskyt v ovzduší bude mít i jiný zdroj než doprava.



Graf 7 - Závislost celkového počtu částic na intenzitě dopravy. Brno-Úvoz. Týdenní chod průměrných denních hodnot jednotlivých dnů v týdnu, rok 2017.

Hodnoty počtů částic jsou během pracovních dní téměř konstantní, jak již bylo zmíněno, hodnoty se pohybují průměrně na hodnotě 393 p/cm^3 . Výjimku tvoří úterý, kdy počet částic v ovzduší klesá. Z relativního hlediska se však jedná pouze o pokles zhruba o 10 % proti ostatním pracovním dnům. Obdobný pokles je patrný i v sobotu, neděle je naopak na úrovni pracovních dní s výjimkou úterý. Souhrnně lze konstatovat, že v sobotu a v neděli jsou hodnoty počtu částic o 5 % nižší než v pracovní dny. Není zjevný výrazný rozdíl mezi jednotlivými dny.

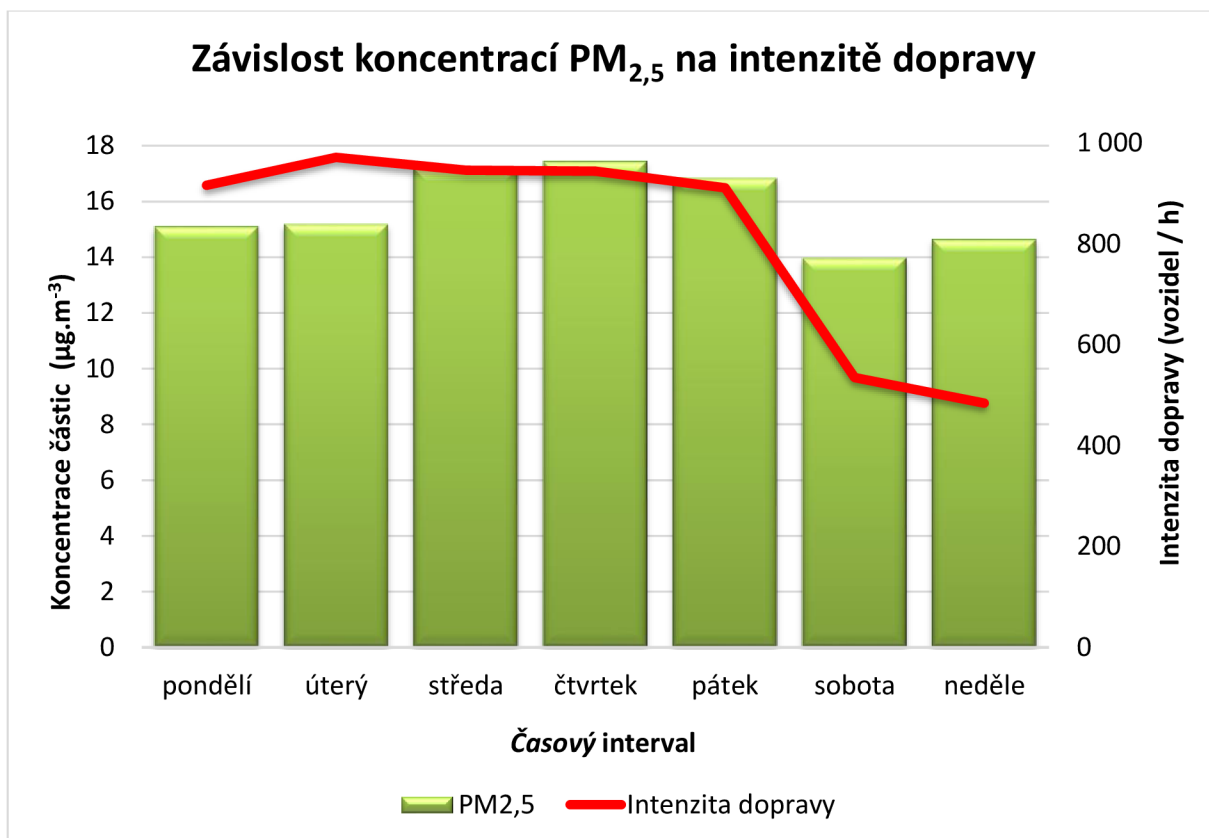
Naproti tomu hodnoty počtů vozidel v jednotlivých dnech týdne jsou striktně rozděleny na pracovní dny a víkendy. O víkendech je intenzita dopravy v této lokalitě zhruba poloviční než v pracovní dny. Takto významný pokles z hlediska počtu částic o víkendu není patrný, korelace mezi intenzitou dopravy a počtem částic tedy není patrná.



Graf 8 – Porovnání intenzity dopravy a počtu částic v pracovních dnech a o víkendu.

Následující grafy (Grafy 9 a 11) se zaměřují na vztah koncentrací částic PM a intenzity dopravy v týdenním časovém intervalu. Intenzita dopravy je během pracovních dní konstantní, o víkendu její hodnota klesá. Obdobně, jako v případě denních chodů, jsou i koncentrace částic PM₁₀ v týdenním chodu vyšší než u částic PM_{2,5}. Koncentrace částic jemné frakce se během pracovních dní pohybují v rozmezí od 15 do 17 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, o víkendu jejich počet klesá přibližně na hodnotu 14 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. U částic hrubší frakce se koncentrace částic pohybuje na vyšších hodnotách, v pracovní dny průměrně okolo hranice 25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, o víkendech o něco níže – přibližně okolo hodnoty 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Oba grafy mají závislost na intenzitě dopravy velmi podobnou, dají se v ní najít určité společné rysy. V obou případech jsou během pracovních dní hodnoty přibližně konstantní, velmi mírně klesají až o víkendu. Lze to přisoudit klesající intenzitě dopravy v centru města mimo pracovní dny, pokles však neodpovídá míře poklesu intenzity dopravy o víkendu proti pracovním dnům.



Graf 9 - Závislost koncentrací PM_{2,5} na intenzitě dopravy. Brno-Úvoz. Týdenní chod průměrných denních hodnot v jednotlivých dnech týdne, rok 2017.

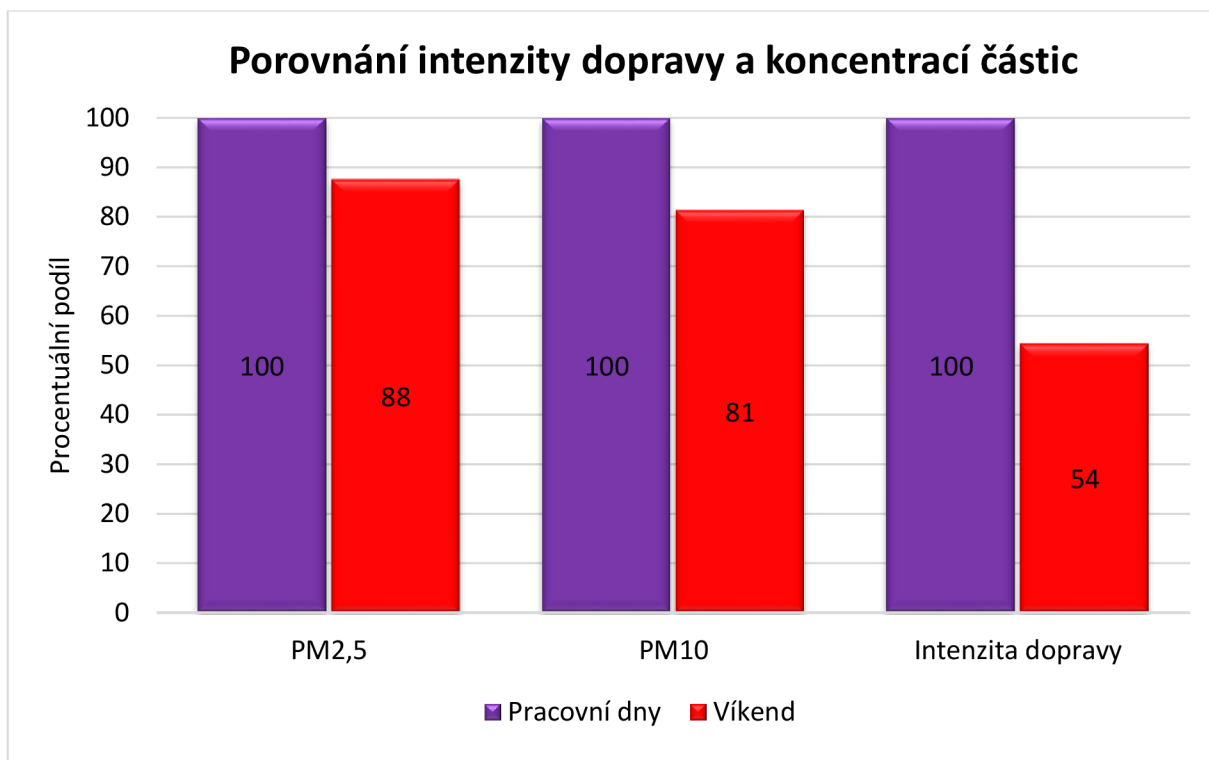
Porovnáním částic PM_{2,5} (Graf 9) a částic PM₁₀ (Graf 10) lze odvodit, že závislost obou typů částic je velmi podobná. Dále je možné z grafů odečíst, že v denním časovém intervalu se počet částic PM_{2,5} i PM₁₀ mění poměrně shodně s intenzitou dopravy. Tento úsudek potvrzuje i výpočet korelačního koeficientu pomocí programu Microsoft Excel:

Korelace celkového počtu částic s intenzitou dopravy: 0,33

Korelace PM_{2,5} s intenzitou dopravy: 0,71

Korelace PM₁₀ s intenzitou dopravy: 0,79

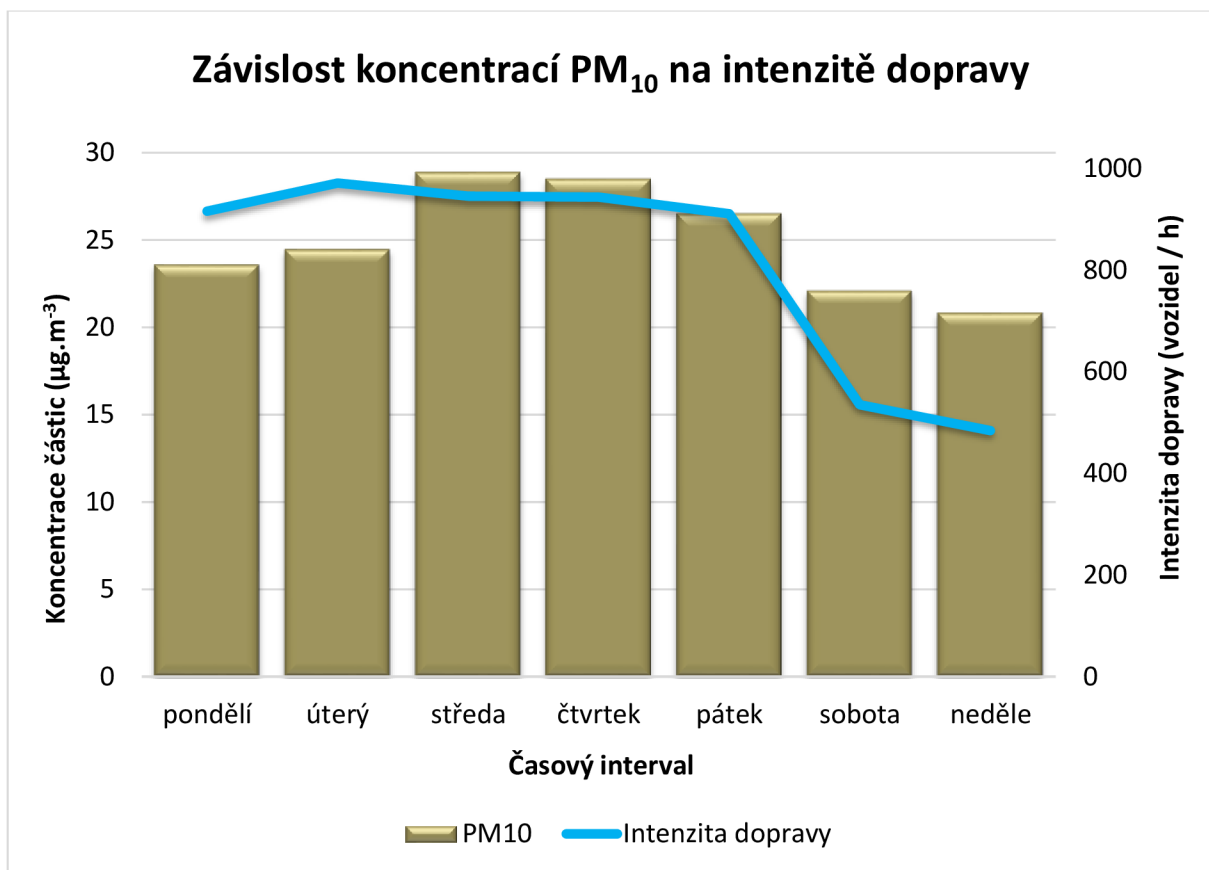
Z uvedených korelačních koeficientů tedy vyplývá, že na úrovni průměrného týdenního chodu neexistuje mezi celkovým počtem částic a intenzitou dopravy korelace. V případě koncentrací částic PM₁₀ i PM_{2,5} však korelace nalezena byla, což je patrné i z grafů zejména na poklesu koncentrací o víkendu.



Graf 10 - Porovnání intenzity dopravy a koncentrací částic v pracovních dnech a o víkendu.

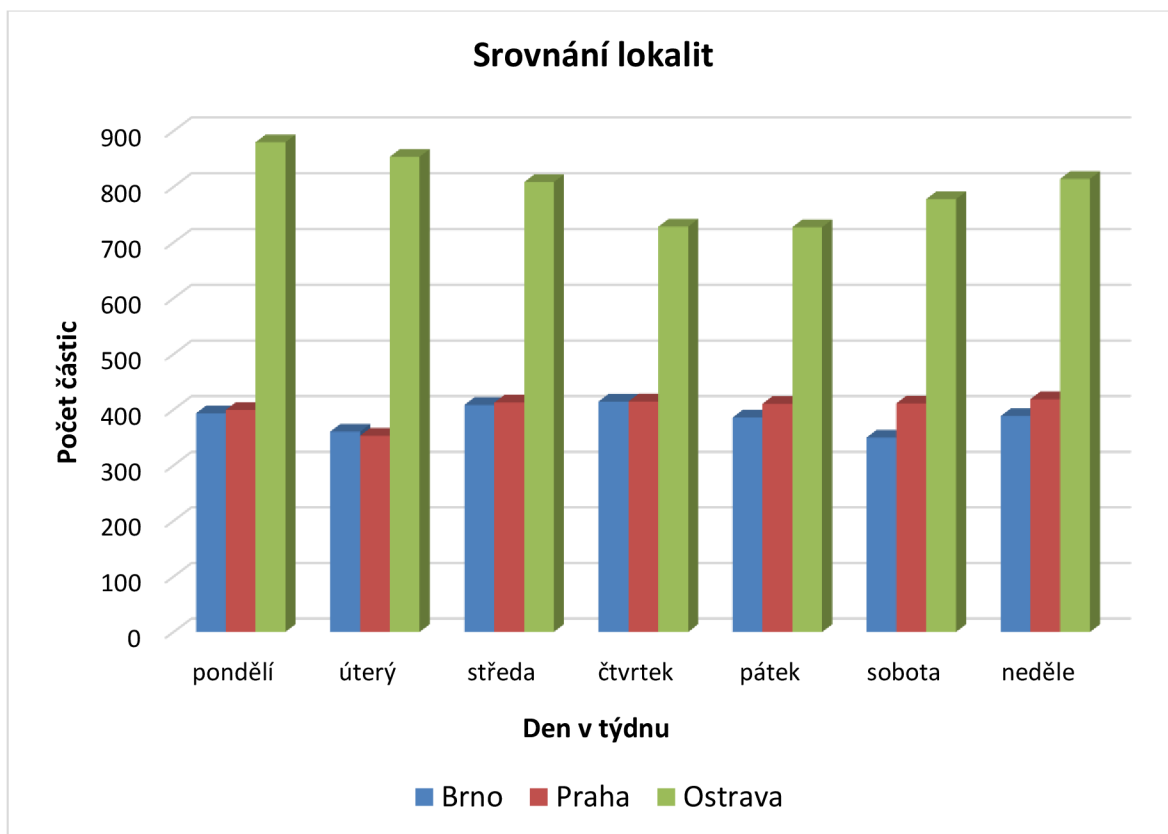
Fialové a červené sloupce znázorňují rozdíl mezi koncentracemi částic PM_{2,5}, PM₁₀ a intenzity dopravy o víkendových dnech oproti dnům pracovním. Intenzita dopravy poklesla v nepracovní dny téměř na poloviční hodnotu (pokles o 46 %), koncentrace částic hrubé frakce klesla o 19 % v porovnání s koncentrací v pracovní dny. Ještě menší je procentuální rozdíl u částic jemné frakce, dá se říci, že deseti procentní pokles není výrazný.

I přesto, že víkendová intenzita dopravy o víkendu výrazně klesá, koncentrace částic neklesá stejnou měrou. Toto porovnání jenom potvrzuje vypočítané korelační koeficienty, které byly u částic velmi podobné. Koeficienty mají hodnoty 0,71 resp. 0,79, tedy, že mezi intenzitou dopravy a koncentracemi částic je relativně přímá závislost.



Graf 11 - Závislost koncentrací PM₁₀ na intenzitě dopravy. Brno-Úvoz. Týdenní chod průměrných denních hodnot v jednotlivých dnech týdne, rok 2017.

Poslední graf této kapitoly zobrazuje rozdílné hodnoty týkající se celkového počtu částic v lokalitě Brno, Praha a Ostrava (Graf 12). Počty částic jsou velmi obdobné v Praze a v Brně, počty se v roce 2017 pohybovaly na hodnotách pod hranicí 400 p/cm³. Během jednotlivých dní se hodnoty počtu částic v ovzduší v Ostravě dostávají i přes hranici 800 p/cm³. Lze tedy konstatovat, že ve městě na severovýchodě České republiky, které je známé oblastní průmyslovou výrobou, jsou počty částic téměř dvojnásobné v porovnání s městy Prahou a Brnem.

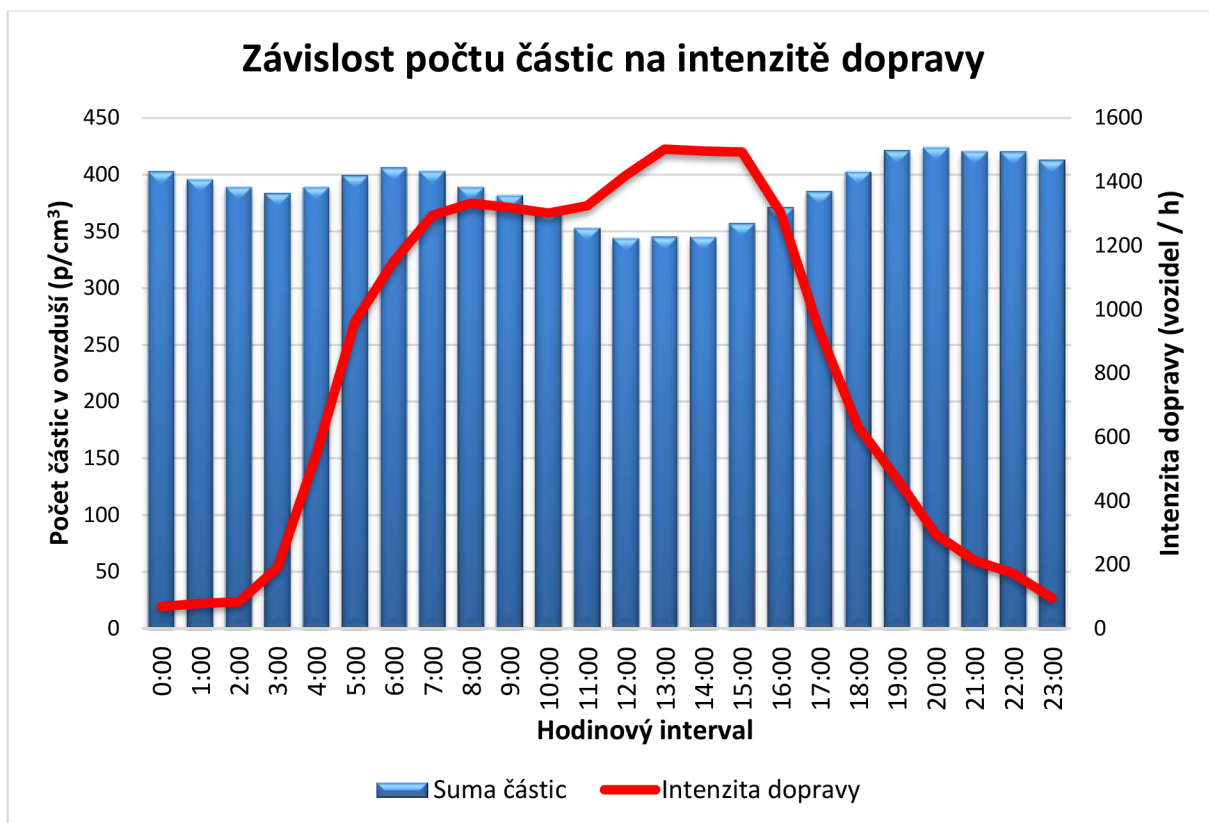


Graf 12 – Srovnání lokalit Brno, Praha, Ostrava v týdenním chodu.

6.4 DENNÍ CHOD HODINOVÝCH KONCENTRACÍ

Vztah počtu částic a intenzity dopravy v hodinovém intervalu v rámci průměrného denního chodu výše uvedené domněnky potvrzuje (viz Graf 13). Od 13 do 16 hodin odpoledne jsou hodnoty intenzity dopravy na ulici Úvoz na svém denním maximu z důvodu dopravní špičky. Hodnoty o počtu částic jsou ovšem v této době na svých nejnižších hodinách.

Důvodů, proč hodnoty o počtu částic stoupají ve večerních a nočních hodnotách, kdy intenzita dopravy klesá, je pravděpodobně více. Jedním z faktorů může být víření částic a rozptyl dopravou, kdy během dne při vysokých intenzitách nemohou částice sedimentovat a jsou neustále vířeny a rozptylovány pohybem vozidel. Druhým významným faktorem mohou být meteorologické podmínky, kdy ve večerních hodinách zpravidla klesá rychlost větru, mohou se tvořit i mírné inverze, klesá teplota a roste relativní vlhkost. Tyto faktory se mohou odrazit v nárůstu počtu částic v nočních hodinách. V neposlední řadě hraje svou roli vytápění. Uvedený denní chod hodinových koncentrací je průměrem za celý kalendářní rok, takže svůj významný vliv budou mít i večerní a noční hodiny chladné části roku, kdy se lidé vrací z práce a zatápějí.



Graf 13 – Závislost celkového počtu částic na intenzitě dopravy Brno-Úvoz. Denní chod průměrných hodinových hodnot, rok 2017

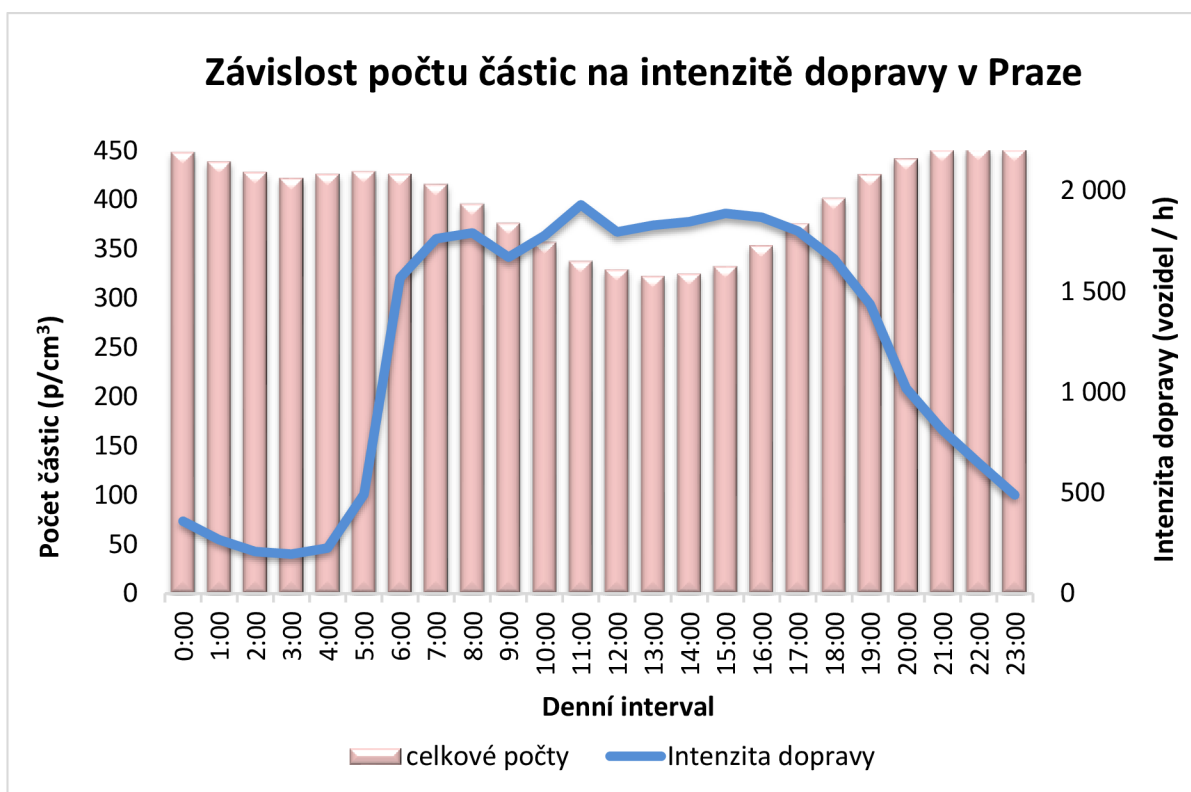
Výše uvedené domněnky, týkající se Grafu 13, potvrzuje i porovnání dat naměřených v Praze. Data lze s hot-spotem v ulici Legerova srovnávat v hodinových intervalech díky dostupným datům o intenzitě dopravy v této ulici.

Měřicí stanice v Brně i v Praze jsou dopravního typu, obě dosahují podobných maximálních hodnot denní intenzity dopravy, přičemž Praha, na rozdíl od Brna, dosahuje průměrného počtu projetých vozidel více než 2000 za hodinu. Ovšem, celkový průběh intenzity dopravy je u obou stanic téměř totožný.

V Praze dosahovaly průměrné počty částic v ovzduší hodnot v rozmezí od 350 do 450 p/cm³, oproti tomu Brno se pohybuje v hodnotách od 350 do 400 p/cm³. V Praze jsou nejvyšší hodnoty vyšší než v Brně, avšak nejnižší hodnoty jsou v porovnání s Brnem nižší (Praha – minimum 320 p/cm³, Brno 340 p/cm³.) Přestože jsou hodnoty v pražské ulici průměrně o něco vyšší, celkový průběh je vcelku podobný jako v Brně. Hodnoty v obou případech během dopoledne (6:00 - 13:00) klesají, poté do nočních hodin (zhruba do 24:00) stoupají a poté už opět začínají postupně klesat až do ranních hodin.

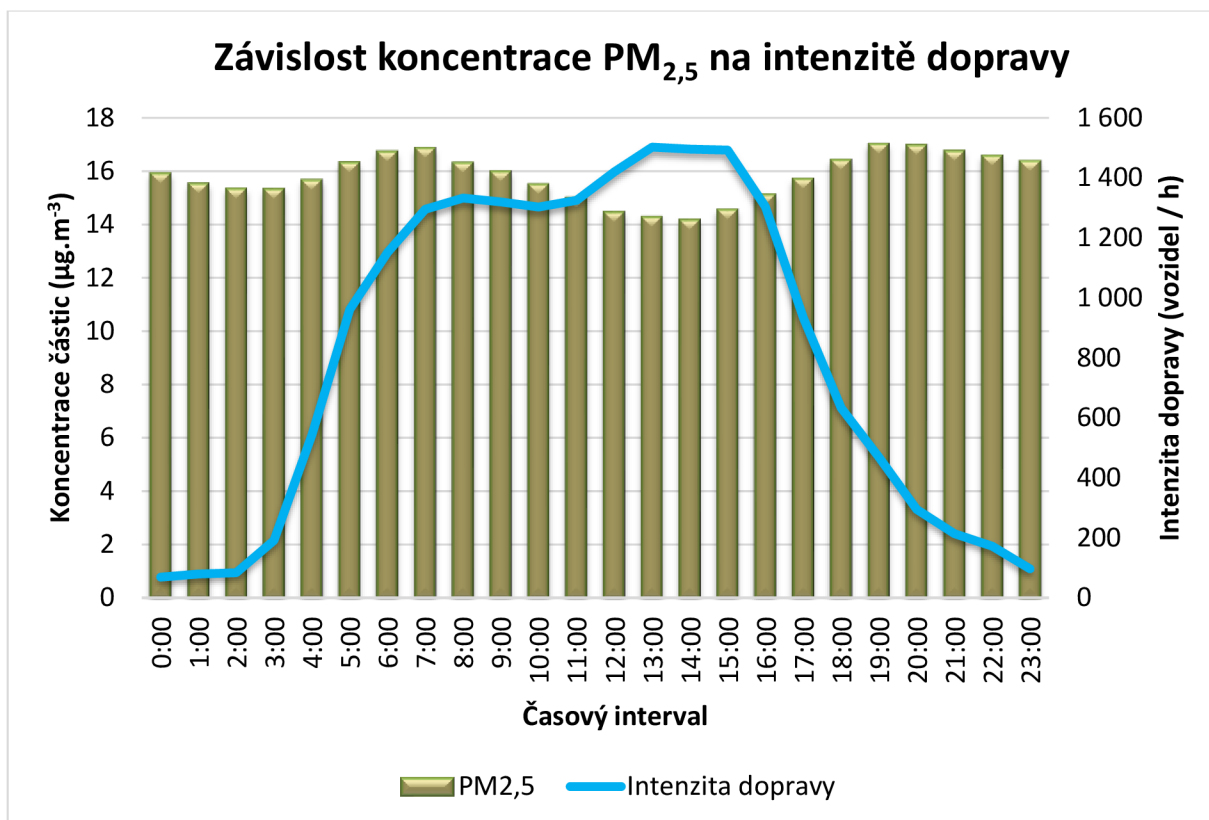
Pokud se detailněji podíváme na umístění jednotlivých stanic, měřicí stanice v Brně je v uzavřeném prostoru (viz Obrázek 7), naproti tomu stanice v ulici Legerova v Praze je z jedné strany „otevřená“ díky Fügnerovu náměstí (viz Obrázek 12). Tato skutečnost by naznačovala důkaz o resuspenzi částic, které se během dne dostanou do vyšších míst nad zemí a v noci, kdy se zpravidla uklidňuje vítr, teprve usednou na zem.

Pokud se ovšem podíváme na průběhy jednotlivých veličin a jejich vzájemné závislosti, můžeme konstatovat, že jsou v případě Brna a Prahy podobné. Toto srovnání dat z Brna s daty naměřenými v Praze pouze dokládá výše uvedené závěry, které byly vyvozeny u Grafu 13.



Graf 14 - Závislost celkového počtu částic na intenzitě dopravy Praha – Legerova. Denní chod průměrných hodinových hodnot, rok 2017.

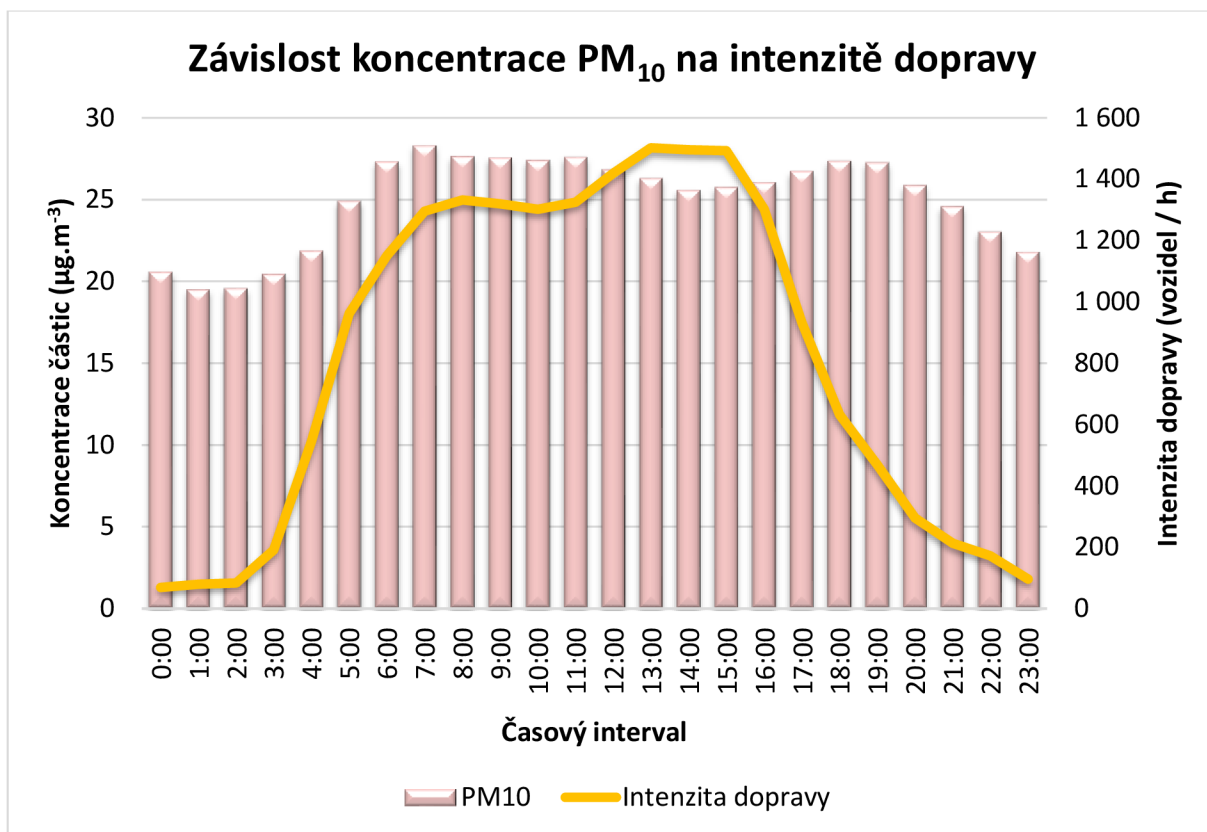
Dále byly srovnány hodnoty suspendovaných částic v hodinovém intervalu během jednoho dne (viz Graf 14). Hodnoty udávající koncentraci částic $PM_{2.5}$ v ovzduší se pohybovaly v hodnotách od 16 do 18 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, koncentrace částic se tedy v průměru v průběhu dne příliš nelišila. Přesto lze podobně jako v případě počtu částic sledovat minimum v poledních a odpoledních hodinách a maximum večer a v brzkých ranních hodinách. Naopak, intenzita dopravy se během dne výrazně mění. Nejvyšších hodnot intenzita dopravy dosahovala mezi 13. a 15. hodinou, kdy byla koncentrace částic $PM_{2.5}$ na svých nejnižších hodnotách.



Graf 15 - Závislost intenzity dopravy a počtu částic PM_{2,5}. Brno-Úvoz. Denní chod průměrných hodinových hodnot, rok 2017.

V porovnání s jemnými částicemi, jsou v případě hrubých částic vidět rozdíly v koncentracích v závislosti na počtu vozidel (Graf 15). S rostoucím počtem vozidel pozvolna stoupá i koncentrace částic PM₁₀ v ovzduší. V průběhu dne, kdy je intenzita dopravy vcelku konstantní, se příliš nemění ani koncentrace částic PM₁₀. V pozdních odpoledních hodinách poměrně strmě klesá intenzita dopravy v centru města, koncentrace PM₁₀ se snižuje také, ale ne tak výrazně, k poklesu navíc dochází až později (zhruba po 20. hodině).

Pro ověření závislostí počtu a koncentrací částic, a počtu vozidel byly i na úrovni průměrného denního chodu spočítány pomocí softwaru Microsoft Excel korelační koeficienty: Suma částic má korelační koeficient - 0,72, PM_{2,5} má koeficient -0,47 a částice PM₁₀ 0,77. Z uvedeného vyplývá, že jemné částice PM_{2,5} mají s intenzitou dopravy negativní korelaci, zatímco hrubší frakce PM₁₀ má s intenzitou dopravy korelaci pozitivní. To zřejmě souvisí s typem emisí – vliv na koncentrace PM₁₀ mají zejména mechanické emise (otěry) a resuspenze. Produkty spalovacích motorů mají zřejmě nižší průměry, než je přístroj Fidas schopen detekovat, a proto jemné částice a počet částic korelují spíše s vytápěním (maxima ve večerních a nočních hodinách), avšak s dopravou mají negativní korelaci.

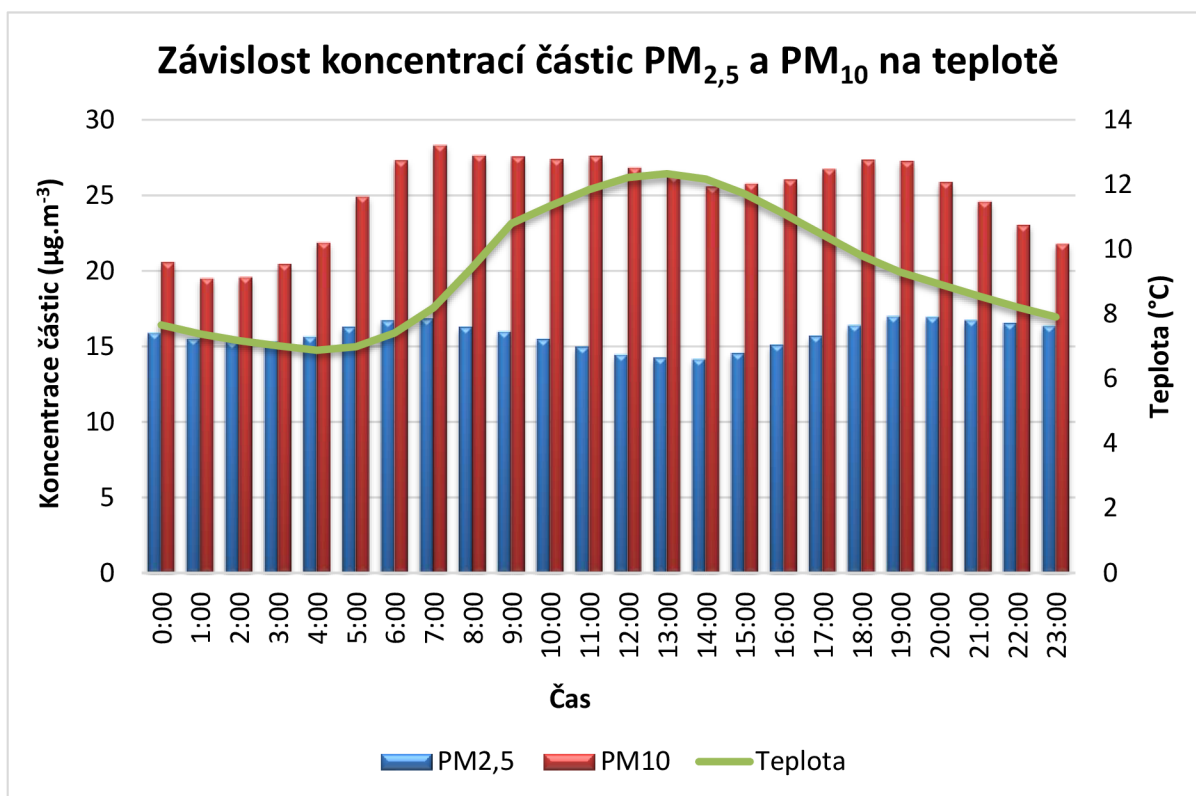


Graf 16 - Závislost intenzity dopravy a počtu částic PM₁₀. Brno-Úvoz. Denní chod průměrných hodinových hodnot, rok 2017.

Z analýz tedy vyplývá, že částice hrubé frakce jsou na počtu projetých vozidel závislé více než jemné částice. Lze tedy předpokládat, že doprava je v lokalitě Brno – Úvoz zdrojem spíše částic PM₁₀ nežli částic PM_{2,5}. Vzhledem k tomu, že zdrojem hrubší frakce jsou v případě dopravy především otěry a abraze (částice vzniklé mechanicky, nikoliv při spalování), souvisí jejich nárůst a korelace s dopravou především s poklesem plynulosti dopravy během špiček, kdy auta musí více brzdít a zase se rozjíždět.

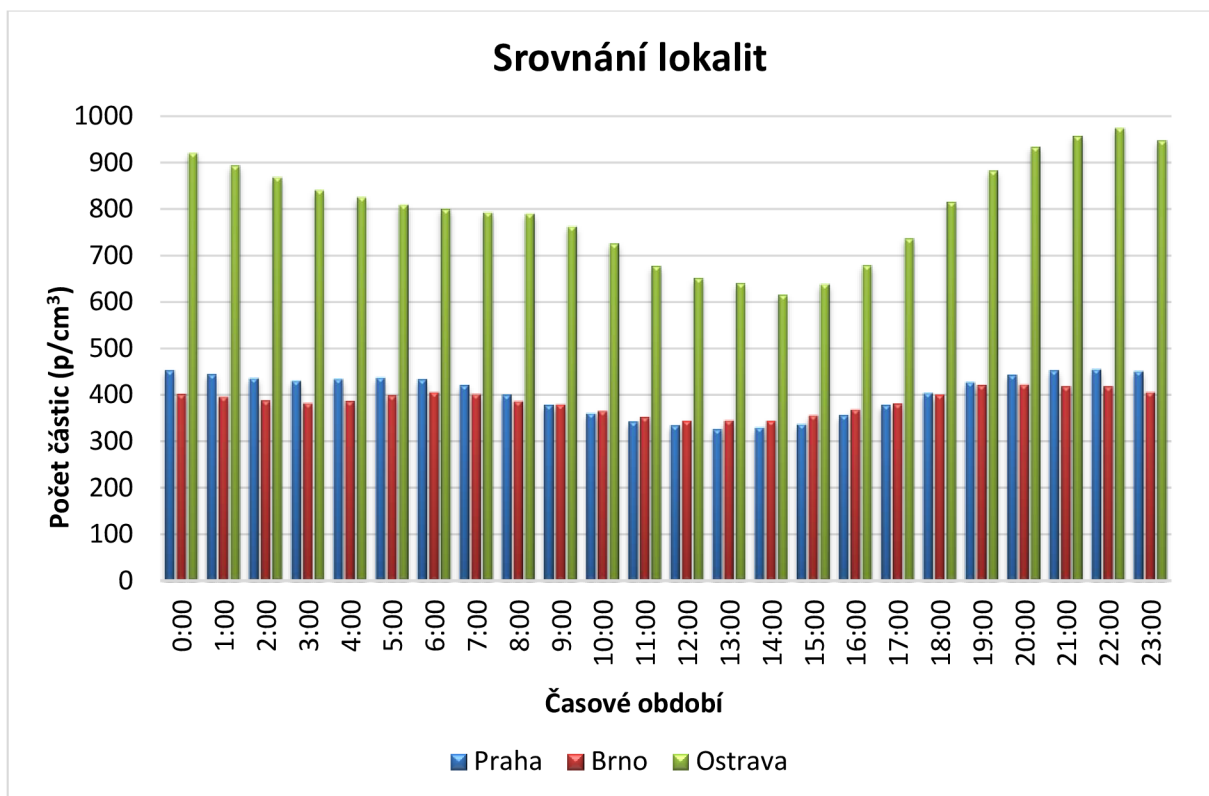
Významným zdrojem může být také resuspenze (čili znovuzvíření) již jednou sedimentovaných částic vlivem pohybu automobilů. To může být jeden z důvodů, proč koncentrace klesají večer se zpožděním proti počtu vozidel – i menší počet vozidel může dostatečně vířit částice, takže jejich koncentrace tolik neklesají. V případě jemnější frakce PM_{2,5} může docházet až k rozptýlu, a proto koncentrace jemnější frakce nereagují na změny v intenzitě dopravy. Naproti tomu těžší částice, které ovlivňují koncentrace PM₁₀ mohou být vířeny pouze v blízkosti silnice (a místa měření), a proto koncentrace PM₁₀ lépe korespondují s počty projetých vozidel v lokalitě.

V ulici Úvoz se během pozdních odpoledních hodin výrazně snižuje počet projetých vozidel, oproti tomu celková suma částic v ovzduší, stejně tak i koncentrace suspendovaných částic PM_{01} a $PM_{2,5}$ se ani při snížení počtu vozidel příliš nemění. V případě částic PM_{10} je zřejmé, že při snižování počtu projetých vozidel se snižuje i koncentrace PM_{10} . Z této závislosti lze odhadovat, že intenzita dopravy ovlivňuje koncentraci částic PM_{10} v ovzduší



Graf 17 – Závislost koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$ na teplotě. Brno-Úvoz. Denní chod průměrných měsíčních hodnot, rok 2017.

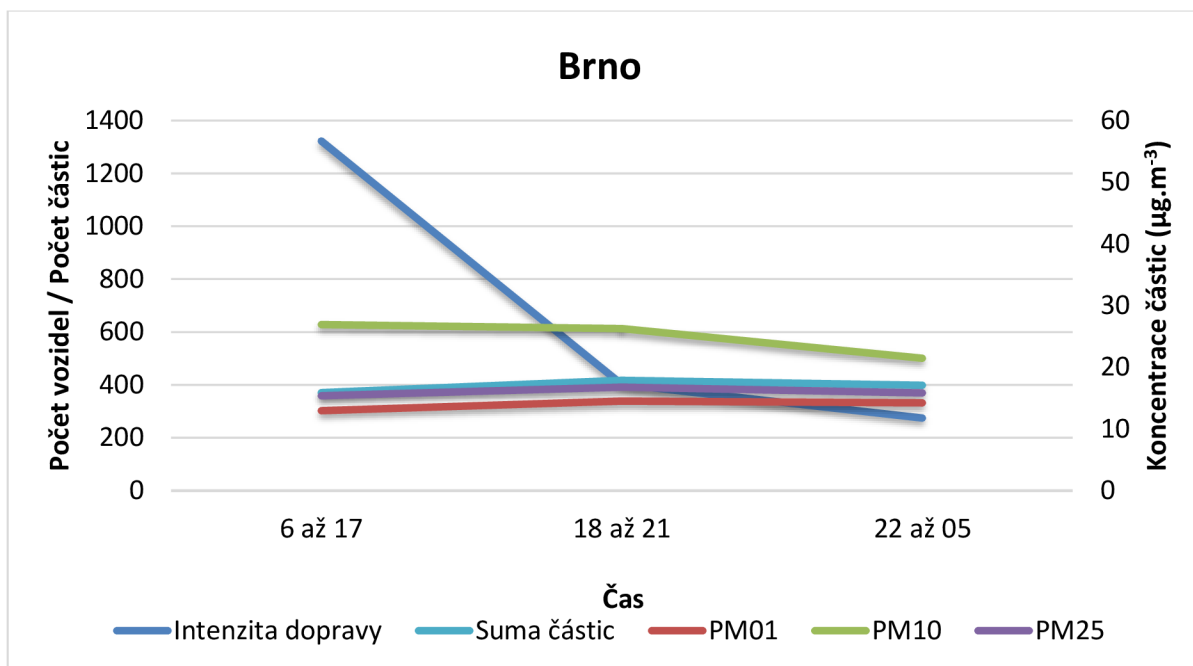
Graf 16 znázorňuje závislost mezi koncentracemi částic $PM_{2,5}$ a PM_{10} v ovzduší a teplotou ovzduší. Jak lze z grafu odečíst, teplota kulminuje v poledních a brzkých odpoledních hodinách, zatímco v případě koncentrací částic dochází v tomto období k poklesu hodnot. Dále je patrné, že koncentrace jemnější frakce $PM_{2,5}$ je vůči teplotě nepřímo úměrná (korelační koeficient = -0,91), u koncentrací PM_{10} tomu až tak není (korelační koeficient - 0,48). Svou roli sehrává nárůst koncentrací PM_{10} proti $PM_{2,5}$ v denních hodinách, kdy je poměr $PM_{2,5} / PM_{10}$ nejnižší. Svou roli mohou sehrát otěry a mechanické emise z dopravy, ale také víření prašnosti, které je podpořeno vyšší teplotou a nižší vlhkostí (sucho podporuje resuspenzi).



Graf 18 – Srovnání počtu částic v lokalitách Praha, Brno, Ostrava v denním chodu měření. Denní chod průměrných měsíčních hodnot, rok 2017.

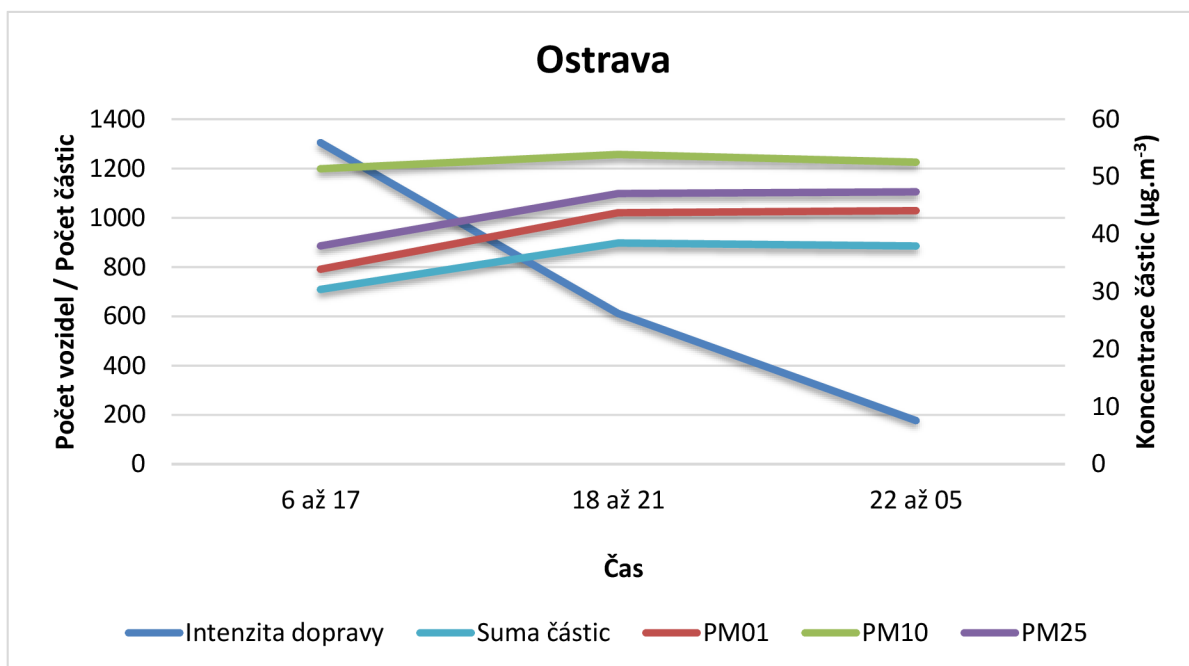
Následující grafy detailněji porovnávají průměrné celkové počty částic, průměr koncentrací částic PM₀₁, PM_{2,5} a PM₁₀ za daný časový interval s intenzitou dopravy. Průměrné počty částic pro pražskou a brněnskou aglomeraci jsou na podobné úrovni – částice PM₀₁ a PM_{2,5} se pohybují okolo hodnoty 20 μg·m⁻³, koncentrace částic PM₁₀ je na obou lokalitách o 5 až 10 jednotek vyšší. Oproti tomu ostravská aglomerace vykazuje hodnoty v určitých okamžicích více než dvojnásobně vyšší – koncentrace částic PM₀₁ a PM_{2,5} dosahují hodnot přibližně 45 μg·m⁻³, průměrné koncentrace částic PM₁₀ dosahují hodnot více než 50 μg·m⁻³.

V Praze je intenzita dopravy vyšší než ve zbylých lokalitách, hodnoty zprůměrované pro jednotlivé časové intervaly jsou v rozmezí 400 až 1 800 vozidel za hodinu. V Brně a Ostravě jsou hodnoty intenzity dopravy velmi podobné, maxima nepřesahují 1 400 vozidel za hodinu. Ačkoli je tedy intenzita vozidel v Brně a Ostravě podobná, koncentrace částic se výrazně liší.



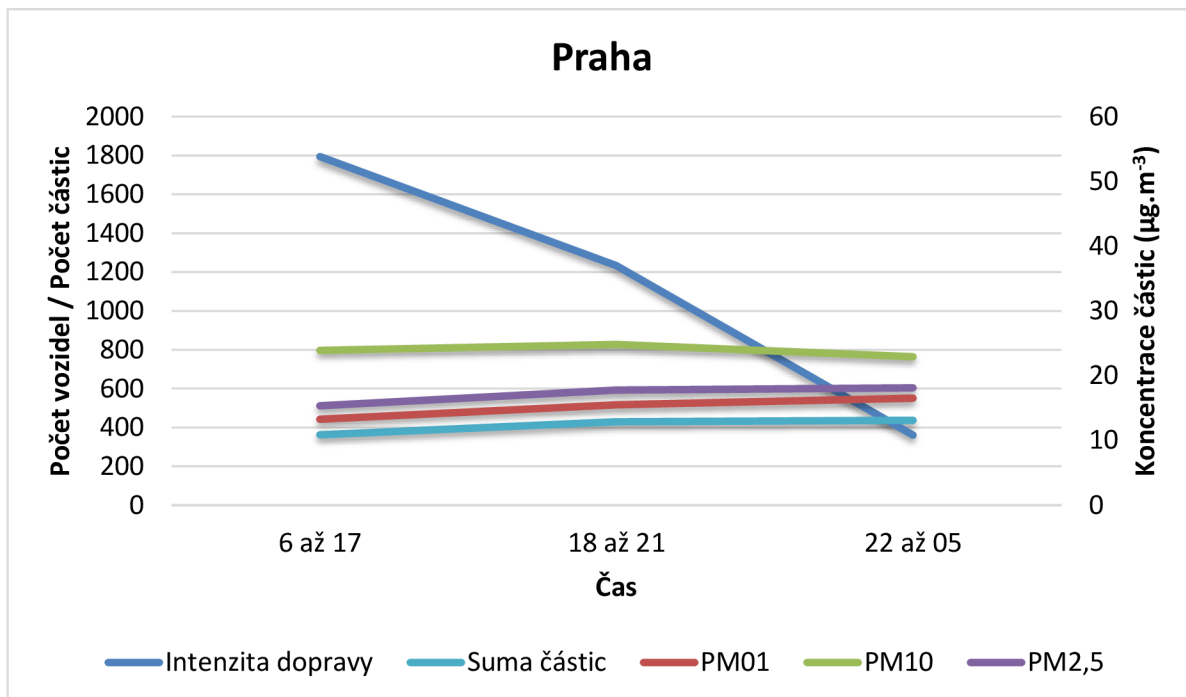
Graf 19 – Závislost celkového počtu částic, koncentrací částic PM_{01} , $PM_{2,5}$, PM_{10} na intenzitě dopravy. Brno Úvoz.

Počet aut projíždějících ulicí Českobratrská v Ostravě je obdobný s počtem aut v brněnské ulici Úvoz, koncentrace částic naměřené na jednotlivých hot-spotech jsou rozdílné. Průměrné hodnoty koncentrací částic v Ostravě jsou více než dvojnásobně vyšší v porovnání s brněnskou aglomerací, což může být způsobeno průmyslovou výrobou v okolí.



Graf 20 - Závislost celkového počtu částic, koncentrací částic PM_{01} , $PM_{2,5}$, PM_{10} na intenzitě dopravy. Ostrava Českobratrská.

Dalším rozdílem je rostoucí trend celkového počtu částic a koncentrací částic PM₀₁ a PM_{2,5} ve večerních hodinách, což může naznačovat resuspenzi částic a vliv topení domácností. Částice PM₁₀ se chovají rozdílně, jejich koncentrace se během dne pohybuje na podobných hodnotách, hodnoty nemají jakoukoli závislost na intenzitě dopravy.



Graf 21 - Závislost celkového počtu částic, koncentrací částic PM₀₁, PM_{2,5}, PM₁₀ na intenzitě dopravy. Praha Legerova.

7 NÁVRH OPATŘENÍ

Negativní dopady dopravy jsou výsledkem chování lidí, záleží na jejich rozhodování, jestli se vydají na příslušnou cestu, jakým druhem dopravy a jakou trasou. (29, s. 95)

Předchozí kapitoly se zabývaly analýzou vlivu dopravy na produkci prachových částic (zejména se jedná o částice PM_{2,5} a PM₁₀). Dá se říci, že doprava není primárním zdrojem, ale na produkci znečišťujících látek se podílí výraznou mírou. Pokud se podaří snížit negativní vliv dopravy na ovzduší, je velmi pravděpodobné, že se zlepší i celková kvalita ovzduší. V Brně se již touto problematikou magistrát města intenzivně zabývá, a množství opatření je již zrealizována: podpora MHD, regulace dopravy, je budována páteřní komunikační síť.

Návrhy opatření jsou již z velké části vytvořeny, jsou zmíněny v Programech zlepšování kvality ovzduší v daných aglomeracích (od MŽP) nebo v Plánech udržitelné mobility.

Město Brno se snaží proti znečišťování ovzduší co nejefektivněji bojovat a je možné vyhledat několik dokumentů, které jednotlivá opatření navrhuje, z kterých byla ta nejvýznamnější opatření vybrána do této práce, a to: Akční plán města Brna 2017, Plán udržitelné městské mobility města Brna, Program zlepšování kvality ovzduší aglomerace Brno (22) nebo Program ke zlepšení kvality ovzduší statutárního města Brna.

Následující návrhy opatření jsou zaměřeny na město Brno, předcházející seznam dokumentů byl inspirací pro návrhy opatření v této práci. Pro lepší orientaci budou následující návrhy opatření rozděleny na tzv. tvrdá a měkká. „Tvrdá“ opatření jsou z hlediska účinnosti nejefektivnější, na druhou stranu jsou poměrně drahá, jedná se například o stavební obchvaty, průtahy, stavba nových tramvajových linek, nebo parkovišť. „Měkká“ opatření jsou snadněji realizovatelná a poměrně levná, mezi příklady se dají uvést nízkoemisní zóny, podpora MHD nebo informační tabule. Hlavním úkolem měkkých opatření je zlepšení účinnosti tvrdých opatření. Podstatou opatření je zachování mobility obyvatel, ale s využitím jiných způsobů dopravy než osobní automobilovou.

Podkapitoly, které se věnují opatřením, budou tedy rozčleněny právě na „tvrdá“ a „měkká“ opatření.

7.1 TVRDÁ OPATŘENÍ

Parkovací politika

Prioritním cílem je výstavba parkovišť mimo centrum města Brna, důvodem je snížení počtu aut, která do centra města vjíždí. Řešením je vznik parkovacích zón, zvýšení poplatků za parkování v centru města.

V souvislosti s parkováním městu Brnu chybí tzv. systém P+R a Kiss&Ride. První uvedený je systém Park and Ride (= zaparkuj a jeď). Účelem tohoto systému je snížit zátěž města automobilovou dopravou a podpořit veřejné druhy dopravy a dopravu cyklistickou. (18) Jedná se o systém záchytných parkovišť, která jsou na významných příjezdových cestách do měst a jsou v blízkosti zastávek městské hromadné dopravy nebo nádraží. Řidiči by si za nízký poplatek měli nechat vozidlo na tomto parkovišti a pohybovat se po městě s využíváním MHD.

Druhý systém je Kiss&Ride, který umožňuje krátké zastavení (na 3–5 minut) v blízkosti zastávek nebo nádraží, za účelem vysazení nebo naložení jiných osob. Cílem tohoto systému je sdílené používání vozidla a tak i snížení počtů vozidel vjíždějících do centra měst.

Výstavba obchvatů a páteřní sítě

Přes města každý den projede několik tisíc aut, která produkují znečišťující částice a zhoršují tím kvalitu ovzduší. Cílem výstavby obchvatů je odvedení dopravy přes centrum města na periferie města. V případě Brna se jedná o výstavbu obchvatu částí Tuřany, Bosonohy nebo Slatina.

Pod pojmem páteřní síť je myšlen tzv. Velký městský okruh. Účelem výstavby je převedení dopravní zátěže na jiné komunikace, které jsou vybudované právě pro účely vyšší zátěže. Brno v současné době nemá městský okruh plně vybudovaný, chybí propojení severní a jižní části města.

Plynulost provozu

Při plynulém provozu dopravy se do ovzduší dostává méně znečišťujících látek, motor a katalyzátor nepracují v optimálních podmínkách, což zvyšuje produkci emisí (zejména při brzdění a akceleraci). K zajištění plynulosti je třeba také odstranění tzv. bodových problémů. Tyto problémy lze odstranit úpravou komunikací, křižovatek nebo vybudování mimoúrovňového křížení. Bodové problémy mohou být také nepřehledné křižovatky nebo

poškozené povrchy komunikací, produkce emisí se zvyšuje také při projetí po nekvalitní vozovce obroušováním pneumatik a znovuzvířením usazených částic.

Veřejná hromadná doprava

Městská hromadná doprava, příměstské autobusové linky či vlaky pomáhají snižovat objem individuální automobilové dopravy. Četnost využívání veřejné dopravy závisí na návaznosti spojů, dostupnosti MHD i v odlehlejších oblastech města, vhodné naplánování jízdních řádů či bezbariérovost nástupišť. Kvalitu městské a příměstské dopravy ovlivňují také informační systémy, prostředí vozidel či nastavená cena jízdného. Opatření, která mají zvýšit využívání veřejné dopravy, se zaměřují na zajištění jízdy vozidel dle jízdních řádů. K realizaci tohoto opatření slouží systém, který na vybraných křižovatkách umožňuje plynulé projetí vozidel hromadné dopravy a tím se snaží omezit jejich zablokování v dopravních kolonách. Mimo to je důležité oddělení tratí od komunikací pro motoristy pomocí vyvýšení tratí nebo pomocí vyhrazených pruhů. Pokud je snahou snížit počet vozidel v centru města a motivovat obyvatele k využívání městské hromadné dopravy, je základem také kvalitní a dostatečné pokrytí tratí přes celé město.

Ke zlepšení kvality ovzduší je podstatné využívání vozidel s alternativními pohony, jejich upřednostňování před vozy, které spalují naftu. Tímto jsou myšlena vozidla s pohony CNG, popřípadě vozidla s elektrickým pohonem.

Všechna uvedená opatření týkající se veřejné hromadné dopravy jsou finančně velmi náročná a jejich realizace je dlouhodobějšího charakteru. Výsledkem by mělo být snížení počtu osobních automobilů ve městech, naopak zvýšení počtu obyvatel, kteří aktivně budou hromadnou dopravu využívat.

Cyklostezky a pěší doprava

Vybudování cyklostezek by mělo zvýšit zájem o cyklistickou přepravu obyvatel po městě a zároveň tím efektivně snížit využívání osobní automobilové přepravy. Důležitá je propojenost cyklostezek, popřípadě zajištění bezpečného projetí cyklistů po vozovkách, například využitím jízdních pruhů pro cyklisty, speciálních semaforů pro cyklisty či úsekové omezení rychlosti pro vozidla, aby došlo ke snížení rizika střetu cyklisty a vozidla.

Opatření vedoucí ke zvýšenému zájmu o využívání cyklistické dopravy je systém B&R, tedy Bike&Ride, kdy cyklisté dojedou na určené místo, kde si mohou uschovat své kolo a přestoupit na městskou hromadnou dopravu. Existuje možnost systému „bikesharing“, což je

system městských kol, ve své podstatě se jedná o veřejné půjčovny kol, kdy si občané na jednom místě kola půjčí a na druhém opět vrátí. Toto opatření by mělo vést ke zvýšení dostupnosti kol pro občany a snadnějšímu přístupu k využívání cyklistické dopravy.

7.2 MĚKKÁ OPATŘENÍ

Nízkoemisní zóny, zákazy vjezdu

Pojem nízkoemisní zóny znamenají území, do kterých je omezen vjezd vozidel, které neplní požadovanou emisní úroveň. Dalším způsobem, pomocí něhož je možné omezit počet vozidel v určitých oblastech je uplatnění zákazů vjezdu, ať už pro všechna vozidla nebo pro nákladní vozidla, která přesahují povolenou hmotnost.

Telematické systémy

Zavedení telematických aplikací, které na základě sledování komunikace vyhodnocují charakter provozu, umožňují řidičům přehled o aktuální dopravní situaci. Na základě informací ze systémů může řidič zvolit alternativní možnost cesty a vyhnout se čekání v kolonách, čímž se zajišťuje plynulost provozu.

Nízkoemisní pohony

Jedná se o využívání alternativních pohonů (plynový pohon CNG či LPG, elektromobilů a dalších). Právě tyto alternativní pohony neprodukují takové množství emisí jako vozidla mající pohon na naftu či diesel. Důležitá je zejména informovanost obyvatel o těchto možnostech, výhody jednotlivých pohonů či jejich finanční úspory. Tyto pohony jsou úzce vázány na vybudování nabíjecích míst nebo plnicí stanice CNG či LPG. Je tedy nutná jejich výstavba a zajištění provozu.

Informovanost, reklama

K zvýšení zájmu občanů o využívání veřejné hromadné dopravy může pomoci také kvalitní a včasná informovanost. Ta by měla být pro cestující zajištěna prostřednictvím různých technologií (informační tabule na nástupištích, obrazovky přímo v dopravních prostředcích).

Změnu v typu dopravy může u občanů vyvolat také správně cílená reklamní kampaň, jako je Týden mobility, Týden cyklojízdy či podpora Evropského dne bez aut.

Technologické možnosti

Ačkoli je problematika znečištění ovzduší v České republice poměrně dobře pokryta (Například Zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb., Národní program na snižování emisí ČR, Programy ke zlepšení kvality ovzduší pro jednotlivé zóny a aglomerace, program Zelená úsporám), problémem na našem území zůstává zastaralý vozový park. Je tedy nutné v jednotlivých městech podporovat veřejnou hromadnou dopravu a zlepšovat dopravní infrastrukturu. Akční plán č. 5 od Ministerstva zdravotnictví zdůrazňuje nutnost aktualizace metodiky měření částic a metodiky pro zjištění nezákonných úprav motorových vozidel zvyšujících emise (demontáž filtrů částic, katalytických zařízení a úprava maximálního výkonu motoru).

Snahou výkonných orgánů je snížení emisí, k čemuž může pomoci nastavování legislativních požadavků například pro výrobce vozidel (požadavky na kvalitu a energetickou efektivnost motoru) nebo požadavky na kvalitu pohonných hmot. V nedávné době byla stanovena povinnost instalace filtru pevných částic do vznětových motorů, který by měl pomoci odstraňovat prašné částice ve výfukových spalinách. Další zařízení, které se v současnosti povinně instaluje do vozidel, je katalyzátor, což je zařízení, které je umístěné na konci výfukového potrubí a pomáhá snižovat obsah nebezpečných látek ve spalinách.

Údržba komunikací a výsadba zeleně

Pravidelným čistěním a úklidem komunikací se snižuje koncentrace aerosolových částic PM₁₀ v ovzduší. Cílem je naplánování údržby, a to pokud možno co nejčastěji, zároveň je ale problémem finanční stránka věci. Snižování prašnosti a znovuzvíření částic je možné i výsadbou zeleně či zatravněním u dopravou zatížených pozemních komunikací. (30, s. 3)

8 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá analýzou kvality ovzduší se zaměřením na částice $PM_{2,5}$ a PM_{10} . Celkové počty částic a koncentrace částic PM byly srovnávány s intenzitou dopravy, přičemž je cílem zjistit jejich závislost na intenzitě dopravy. Pro potvrzení, či vyvrácení, jednotlivých závěrů byla data z Brna srovnávána s daty z Prahy a Ostravy.

Celkové počty částic na úrovni měsíčních průměrů během roku s rostoucí intenzitou dopravy nestoupají, počet částic je vyšší v zimních měsících, což se dá přičíst zvýšené potřebě lidí topit. Při porovnání počtu částic během pracovních dní a o víkendu je zřejmé, že o víkendu počet projetých aut v Brně klesá téměř na polovinu, avšak celkové počty částic nikoli. Celkový počet částic není ani v hodinovém porovnání závislý na počtu projetých vozidel, při nejvyšších denních hodnotách nejsou hodnoty počtu částic na svých maximech.

Koncentrace částic $PM_{2,5}$ v ovzduší není přímo úměrná intenzitě dopravy. Během roku se počty projetých vozidel příliš nemění, zato koncentrace jemných částic po zimních měsících výrazně klesá. Během víkendu, kdy klesá počet vozidel, se koncentrace jemných částic výrazně nemění. V hodinových intervalech se jejich koncentrace nemění úměrně s intenzitou dopravy.

Částice PM_{10} jsou na intenzitě dopravy závislé více než je tomu u částic jemnější frakce, což dokazují i vypočtené korelační koeficienty. Grafická znázornění ukazují, že koncentrace částic hrubší frakce lépe reagují na změny v intenzitách dopravy, zejména na hodinové úrovni v rámci průměrného denního chodu koncentrací.

Přístroj Fidas Palas měří také aktuální meteorologické podmínky, pro jasné znázornění byla vypočítána porovnání koncentrací částic s teplotou. Mimo jiné i z vypočtených korelačních koeficientů je patrné, že mezi teplotou a koncentracemi částic $PM_{2,5}$ je závislost nepřímo úměrná, u částic hrubší frakce je nepřímá úměra méně výrazná.

V Praze a v Brně jsou počty částic zhruba na stejné úrovni, v případě Ostravy jsou pak výrazně vyšší. A to přesto, že intenzita dopravy je na podobných hodnotách jako v Brně a nižší než v Praze. Počet částic v ovzduší není tedy přímo závislý na počtu projetých vozidel, jejich zdrojem mohou být i průmysl nebo vytápění.

Doprava je zdrojem pevných částic v ovzduší. Avšak je pravděpodobné, že produkuje částice o menších velikostech (průměrech), než které je schopen přístroj Fidas Palas zaznamenat. Kromě těchto ultrajemných částic, které jsou produktem spalovacího procesu

v motorech, produkuje doprava i hrubší částice. Tyto emise vznikají zejména mechanicky (otěry brzd, pneumatik, vozovky), a ovlivňují zejména hrubší frakci částic PM_{10} .

Proto s dopravou lépe koreluje hrubší frakce PM_{10} , zatímco jemnější frakce $PM_{2,5}$ a počty částic jsou ovlivněny zejména dalšími zdroji. Pro podchycení vlivu dopravy na ultrajemné částice by bylo zapotřebí přístroje, který je schopný detekovat částice s menším průměrem (až na úrovni jednotek nm).

Tyto ultrajemné částice jsou větším nebezpečím pro lidský organismus, protože čím menší jsou částice, tím hlouběji se do organismu dostanou, a více ohrožují lidské zdraví. Je tedy nutné se neustále věnovat opatřením, která mohou snížit produkci těchto částic – jako omezení vjezdu aut do center měst, podpora cyklistické a pěší dopravy, snaha o zvýšení zájmu obyvatel o hromadnou dopravu, zavedení nových technologií do vozidel, zlepšování kvality benzinu či nafty. Zároveň je nutné používat co nejmodernější techniku, která je schopná detekovat i ultrajemné částice.

9 CITOVANÁ LITERATURA

- (1) HAVRÁNEK, Jiří. *Hluk a zdraví*. 1. vyd. Praha: Avicenum, 1990. 278 s. ISBN 80-201-0020-2.
- (2) LIČBINSKÝ, R., ADAMEC, V. The Unfavorable Influence of Transport on the Environment. *Transactions on Transport Sciences* [online]. 2011 [cit. 2018-03-13]. DOI: 10.2478/v10158-011-0010-z. Dostupné z: <http://tots.upol.cz/doi/10.2478/v10158-011-0010-z.html>
- (3) BLOKOVYGRANT.CZ, Stručný souhrn vlivů emisí z dopravy na životní prostředí a lidské zdraví. *Ekologický právní servis 2008* [online]. 2018, 5 s. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m
- (4) Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů: Příloha č.1.
- (5) WHO. *Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution* [online]. Copenhagen: World Health Organization: Regional Office for Europe, 2006 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/78657/E88189.pdf
- (6) FUZZI, S., BALTENSBERGER, U., CARSLAW, K. et al. Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs. *Atmospheric Chemistry and Physics* [online]. 2015, roč. 15, č. 14, s. 8217-8299 [cit. 2018-04-25]. DOI: 10.5194/acp-15-8217-2015. ISSN 1680-7324. Dostupné z: <http://www.atmos-chem-phys.net/15/8217/2015/>
- (7) US EPA. *Particulate Matter (PM) Basics* [online]. 2017 [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/>
- (8) ANDREOVSKÝ, J., HENELOVÁ, V. *Příručka ochrany kvality ovzduší*. 1. vyd. Praha: Sdružení společností IREAS centrum, 2013. ISBN 978-80-86832-77-7.
- (9) ČHMÚ. *Portál ČHMÚ: Grafická ročenka* [online]. 2018 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/16groc/gr16cz/Obsah_CZ.html

- (10) ČHMÚ. *Portál ČHMÚ: Home* [online]. 2018 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/>
- (11) Particulate Matter. *Envs.au.dk* [online]. 2018 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://envs.au.dk/en/knowledge/air/emissions/air-pollutants/pm/>
- (12) Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů
- (13) TUHÁČEK, M., JELÍNKOVÁ, J.. *Právo životního prostředí: praktický průvodce*. Praha: Grada, 2015. 288 s. ISBN 978-80-247-5464-2.
- (14) KAZMAROVÁ, H. *Vliv prachu v ovzduší na lidské zdraví* [online]. 2018 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.ecmost.cz/clanky/prezentace/Prach%20a%20zdravi%20SZU.pdf>
- (15) *Odhad zdravotních rizik ze znečištění ovzduší: Česká republika - rok 2011* [online]. 2018 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/rizika_CRI_2011.pdf
- (16) FROUZ, J., MOLDAN, B. *Příležitosti a výzvy environmentálního výzkumu*. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2015. ISBN 978-80-246-2667-3.
- (17) WHO. *Air pollution* [online]. 2018 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.who.int/sustainable-development/transport/health-risks/air-pollution/en/>
- (18) CENIA. *Vítejte na Zemi* [online]. 2013 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=filtr_pevnych_castic&site=doprava
- (19) SPIELVOGEL, J., CHALOUPECKÝ, P., WEISS, M. a kol. Kontinuální časově rozlišená měření jemných částic v atmosféře. *CHEMAGAZIN* [online]. 2011, roč. 3, č. XXI, s. 20-23 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/CHEMAGAZIN_XXI_3_cl6.pdf
- (20) PALAS. *Operating manual: Fine Dust Monitor System Fidas* [online]. 2018 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://www.ecotech.com/wp-content/uploads/2015/03/Manual-Fidas-Fine-Dust-Monitor-System-V0020312.pdf>

- (21) ENVITECH BOHEMIA. *Palas Fidas 200/200 S* [online]. 2018. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <http://www.envitech-bohemia.cz/files/01-imise-obrazky/fidas-200-a-200s---cz.pdf>
- (22) MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Program zlepšování kvality ovzduší: Aglomerace Brno* [online]. 2016 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/programy_zlepsovani_kvality_ovzdusi
- (23) MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Program zlepšování kvality ovzduší: Aglomerace Ostrava/Kavíná/Frydek-Místek* [online]. 2016 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/programy_zlepsovani_kvality_ovzdusi
- (24) MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Program zlepšování kvality ovzduší: Aglomerace Praha* [online]. 2016 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/programy_zlepsovani_kvality_ovzdusi
- (25) STATUTÁRNÍ MĚSTO BRNO. *Integrovaný program ke zlepšení kvality ovzduší statutárního města Brna: aktualizace 2009* [online]. 2009 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: https://www.brno.cz/dokumenty/generel_ovzdusi/vystupy/zaverecna-zprava-snizovani-emisi-brno-2009.pdf
- (26) *Sborník konference 18.-19. listopadu 2010, Praha..* Praha: Česká aerosolová společnost, 2010. 266 s. ISBN 978-80-86186-25-2.
- (27) TAHAL, Radek. *Marketingový výzkum: postupy, metody, trendy*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2017. 264 s. ISBN 978-80-271-0206-8.
- (28) VOSSLER, T., ČERNIKOVSKÝ, L. a NOVÁK, J. An investigation of local and regional sources of fine particulate matter in Ostrava, the Czech Republic. *Atmospheric Pollution Research* [online]. 2015, roč. 6, č. 3, s. 454-463 [cit. 2018-03-25]. DOI: 10.5094/APR.2015.050. ISSN 13091042. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1309104215302142>
- (29) ADAMEC, V. a kol. *Doprava, zdraví a životní prostředí*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. 176 s. ISBN 80-247-2156-2.
- (30) GHOSH, S., LEE, T. *Intelligent transportation systems: smart and green infrastructure design*. 2. vyd. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010. 217 s. ISBN 978-1-4398-3518-0.

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Porovnání velikosti vlasu a PM částic (PM ₁₀ , PM _{2,5}). (7)	13
Obrázek 2 – Podíl sektorů na jednotlivých frakcích suspendovaných částic. (9)	15
Obrázek 3 – Průnik částic do dýchacího ústrojí. (13).....	18
Obrázek 4 – Měřicí přístroj FIDAS. (19)	22
Obrázek 5 – Měřicí stanice v Brně. (21).	24
Obrázek 6 – Detail hot-spotu – Brno-Úvoz. (9)	25
Obrázek 7 – Umístění stanice hot-spot v Brně. (9)	25
Obrázek 8 – Měřicí stanice v Ostravě. (22).....	26
Obrázek 9 - Hot-spot Ostrava. (9)	27
Obrázek 10 - Měřicí stanice v Ostravě. (23)	28
Obrázek 11 – Hot-spot Praha – Langerova. (9).....	29
Obrázek 12 – Umístění stanice hot-spot Praha 2–Legerova. (9).....	29

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Zastoupení frakcí v celkovém počtu částic. Brno-Úvoz. Rok 2017.....	31
Graf 2 – Závislost intenzity dopravy a celkového počtu částic. Brno-Úvoz. Roční chod průměrných měsíčních hodno), rok 2017.	32
Graf 3 – Závislost koncentrací PM _{2,5} na intenzitě dopravy. Brno-Úvoz. Roční chod průměrných měsíčních hodnot, rok 2017.	33
Graf 4 – Závislost koncentrací PM ₁₀ na intenzitě dopravy. Brno-Úvoz. Roční chod průměrných měsíčních hodnot, rok 2017.	34
Graf 5 - Závislost koncentrací částic na teplotě. Brno-Úvoz. Roční chod průměrných měsíčních hodnot, srpen až prosinec 2017.	36
Graf 6 – Srovnání lokalit Brno, Praha, Ostrava. Měsíční chod leden až prosinec, rok 2017...37	
Graf 7 - Závislost celkového počtu částic na intenzitě dopravy. Brno-Úvoz. Týdenní chod průměrných denních hodnot jednotlivých dnů v týdnu, rok 2017.....	38
Graf 8 – Porovnání intenzity dopravy a počtu částic v pracovních dnech a o víkendu.....	39
Graf 9 - Závislost koncentrací PM _{2,5} na intenzitě dopravy. Brno-Úvoz. Týdenní chod průměrných denních hodnot v jednotlivých dnech týdne, rok 2017.	40
Graf 10 - Porovnání intenzity dopravy a koncentrací částic v pracovních dnech a o víkendu.	41
Graf 11 - Závislost koncentrací PM ₁₀ na intenzitě dopravy. Brno-Úvoz. Týdenní chod průměrných denních hodnot v jednotlivých dnech týdne, rok 2017.	42
Graf 12 – Srovnání lokalit Brno, Praha, Ostrava v týdenním chodu.	43
Graf 13 – Závislost celkového počtu částic na intenzitě dopravy Brno-Úvoz. Denní chod průměrných hodinových hodnot, rok 2017.....	44
Graf 14 - Závislost celkového počtu částic na intenzitě dopravy Praha – Legerova. Denní chod průměrných hodinových hodnot, rok 2017.....	45
Graf 15 - Závislost intenzity dopravy a počtu částic PM _{2,5} . Brno-Úvoz. Denní chod průměrných hodinových hodnot, rok 2017.....	46
Graf 16 - Závislost intenzity dopravy a počtu částic PM ₁₀ . Brno-Úvoz. Denní chod průměrných hodinových hodnot, rok 2017.....	47
Graf 17 – Závislost koncentrací PM ₁₀ a PM _{2,5} na teplotě. Brno-Úvoz. Denní chod průměrných měsíčních hodnot, rok 2017.	48
Graf 18 – Srovnání počtu částic v lokalitách Praha, Brno, Ostrava v denním chodu měření. Denní chod průměrných měsíčních hodnot, rok 2017.....	49
Graf 19 – Závislost celkového počtu částic, koncentrací částic PM ₀₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ na intenzitě dopravy. Brno Úvoz.	50
Graf 20 - Závislost celkového počtu částic, koncentrací částic PM ₀₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ na intenzitě dopravy. Ostrava Českobratrská.....	50
Graf 21 - Závislost celkového počtu částic, koncentrací částic PM ₀₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ na intenzitě dopravy. Praha Legerova.....	51