

# Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

## Zemědělská fakulta

---

Studijní program: B4131 Zemědělství  
Studijní obor: Zemědělská technika, obchod, servis a služby  
Katedra: Zemědělské, dopravní a manipulační techniky  
Vedoucí katedry: doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Mapa prachových zátěží silniční dopravy v závislosti na prostředí.

Vedoucí bakalářské práce:  
Ing. Ivo Celjak, CSc.

Autor bakalářské práce:  
Jaromír Hanžl

---

České Budějovice  
2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaromír HANŽL**  
Osobní číslo: **Z10274**  
Studijní program: **B4131 Zemědělství**  
Studijní obor: **Zemědělská technika: obchod, servis a služby**  
Název tématu: **Mapa prachových zátěží silniční dopravy v závislosti na prostředí.**  
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

#### *Cíl práce:*

Cílem práce je provedení měření hmotnostní koncentrace polévatého prachu v silniční dopravě v závislosti na dopravním prostředí a získání objektivních informací o skutečném vlivu vozidel v silniční dopravě na znečištění ovzduší emisemi z nespalovacích procesů.

#### *Metodický postup:*

1. Rešerše z oblasti sledování úrovně znečištění ovzduší polévatým prachem;
2. Vypracování zásad pro provádění měření koncentrace polévatého prachu v silniční dopravě;
3. Výběr dopravních tras a měřících bodů;
4. Měření hmotnostní koncentrace polévatého prachu v silniční dopravě v jednotlivých bodech měření;
5. Vypracování souhrnu poznatků na základě naměřených hodnot hmotnostní koncentrace polévatého prachu v závislosti na úrovni znečištění dopravní trasy a sestavení mapy prachových zátěží k určitému datu.

Rozsah grafických prací: **obrázky, fotografie dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **60 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

**Adamec, V. a kol.: Doprava, zdraví a životní prostředí, GRADA, Praha 2008, 160 s.;**

**Celjak, I.: Dopravní a manipulační zařízení, interní učební text pro e-čtečky, ZF, JU v Č.Budějovicích, 2010, 112 s.;**

**Celjak, I.: Metodika měření hmotnostní koncentrace polévatvého prachu v silniční dopravě, ZF, Jihočeská univerzita v Č.Budějovicích, 2011, 16 s.;**

**Dufek, J., Huzlík, J.: Metodika pro stanovení emisní zátěže látek znečišťujících ovzduší v České republice, Brno, Centrum dopravního výzkumu, 2001, 21 s.;**

**Fiala, J., Horálek, J.: Znečištění ovzduší částicemi aerosolu na dopravou ovlivněných stanicích, Ochrana ovzduší, 2003, roč. XV., č. 2, s. 3-4, ISSN 1211-0337;**

**Zákon 56/2001 o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích;**


**Zákon 361/2000 o provozu na pozemních komunikacích.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivo Celjak, CSc.**

Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

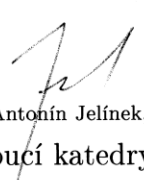
Datum zadání bakalářské práce: **14. ledna 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2013**

  
Ing. Karel Suchý, Ph.D.

proděkan pověřený vedením ZF

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13  
370 05 České Budějovice**

  
doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.

vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 2. března 2012

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval zcela samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použité literatury. Výsledky použité v práci jsem sestavil a vyhodnotil z vlastního měření a pozorování. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 12.4.2013

.....

Jaromír Hanžl

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval Ing. Ivu Celjakovi, CSc., za pomoc, odborné vedení a trpělivý přístup při tvorbě této bakalářské práce.

## **ABSTRAKT**

V této bakalářské práci je hlavním cílem provedení měření hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě v závislosti na dopravním prostředí a získání objektivních informací o skutečném vlivu vozidel v silniční dopravě na znečištění ovzduší emisemi z nespalovacích procesů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Polétavý prach, silniční doprava, znečištění ovzduší, emise.

## **TITTLE**

Map dust loads of road transport on the environment.

## **ABSTRACT**

In this thesis, the main objective of implementing mass measurements of airborne dust in the road, depending on the traffic environment and obtain objective information about the actual performance of vehicles in road traffic on air pollution by emissions from non-combustion processes.

## **KEYWORDS**

Airborne dust, road transport, air pollution, emissions.

## Obsah

1. Úvod .....	6
2. Silniční doprava .....	7
2.1 Silniční motorová vozidla .....	7
2.1.1 Rozdělení silničních vozidel .....	7
2.1.2 Silniční motorová vozidla v ČR .....	8
2.2 Dopravní prostředí a dopravní trasy .....	9
2.2.1 Druhy a typy dopravních cest .....	9
2.2.2 Silniční a dálniční síť ČR .....	10
2.2.3 Údržba komunikací .....	11
3. Emise z dopravy .....	12
3.1 Emise z nespalovacích procesů .....	12
3.1.1 Některé druhy nespalovacích emisí .....	12
3.2 Polétavý prach .....	14
3.3 Sekundární prašnost .....	15
3.4 Způsob vzniku polétavého prachu v dopravě .....	15
3.5 Zdravotní rizika .....	16
3.5.1 Souhrn prokázaných zdravotních vlivů polétavého prachu .....	18
3.6 Emisní limity .....	19
3.6.1 Základní pojmy .....	19
3.6.2 Emisní normy .....	21
4. Analýza prachových částic v ovzduší v obcích .....	23
4.1 Možné příčiny prašnosti v obcích .....	23
4.2 Reálné příčiny prašnosti v obci .....	24
5. Metodika .....	26
5.1 Cíl metodiky .....	26
5.2 Cíl měření .....	26
5.3 Význam výsledků měření .....	27
5.4 Princip měření .....	27
5.5 Postup měření .....	27
5.5.1 Použití přístroje DustTRAK 8530 .....	27
5.6 Místa měření .....	29
5.6.1 Základní místa měření v zastavěném i nezastavěném území .....	29

5.6.2	Specifická místa měření.....	29
5.7	Meteorologické podmínky při měření.....	30
5.8	Vyjádření výsledků .....	30
5.8.1	Statistická kontrola přístroje .....	30
5.8.2	Statistické vyhodnocení měření .....	31
5.9	Období měření .....	32
5.10	Doba měření a její minimální trvání.....	32
5.11	Dopravní údaje.....	33
5.12	Dopravně-inženýrské údaje .....	33
5.13	Doplňující údaje .....	33
5.14	Přístroje použité při měření.....	34
6.	Měření a vyhodnocení výsledků.....	35
6.1	Podmínky při měření.....	35
6.2	Měřicí místa a intenzita dopravy.....	37
6.3	Výsledky měření .....	41
6.4	Vyhodnocení výsledků .....	45
7.	Závěr .....	47
8.	Seznam literatury .....	48



## 1. Úvod

Doprava a dopravní prostředky jsou neodmyslitelná součást dnešního života s neustálým vzrůstem významu, hustoty dopravních cest a počtu dopravních prostředků čím dál tím častěji působí vážné ekologické problémy.

Doprava plní důležitou roli při zprostředkování kontaktů mezi jednotlivými státy a národy, spojuje mezi sebou lidi z celé planety.

Funkčnost dopravy je v České republice jako i v ostatních státech Evropy, důležitým předpokladem hospodářského růstu a prosperity země.

Odhadem naši planetu ovinulo přibližně 1,5 milionu kilometrů železničních tratí a asi 25 milionu kilometrů cest a dálnic. Po železnicích jezdí téměř půl milionu lokomotiv, které uvádí do pohybu až 10 milionů vagónů. Cesty zaplnilo kolem půl miliardy osobních a nákladních automobilů. Světová moře křížuje přibližně 60 000 převážně nákladních lodí. Z 500 hlavních světových letišť startuje denně několik tisíc dopravních letadel. To jsou údaje ukazující na nezastupitelné místo dopravy i v dnešní době.

Silniční doprava je individuální druh dopravy, který probíhá za použití dopravních prostředků zpravidla po silnicích či zpevněných cestách. Využívá se k přepravě osob, ale i nákladů. K silniční dopravě se dnes využívají kolová vozidla, zejména osobní auta, autobusy, motocykly, trolejbusy a nákladní automobily. Z hlediska energetické a finanční náročnosti se jedná o relativně nákladný způsob dopravy. Oproti jiným druhům jsou silniční motorová vozidla velmi flexibilní a dostanou se na mnoho míst, kam například nevede železnice, a proto je tato doprava velmi žádaná. Značně znečišťuje životní prostředí, což vede ke snahám ji omezit. Patří mezi nejnebezpečnější druhy dopravy vůbec. Je dostupná, rychlá na krátké vzdálenosti, ale je hlučná, produkuje velké množství emisí, způsobuje vibrace, má vysokou energetickou náročnost, zabírá půdu, vznikají dopravní nehody a. Údržba veřejných pozemních komunikací v zimě navíc způsobuje i zasolování půdy a podzemních vod.

## **2. Silniční doprava**

Doprava je v současné době významným zdrojem negativních environmentálních vlivů (viz např. VICKERMAN, R. W., 1998 a TIGHT, M. R. – DELLE SITE, P. – MEYER-RÜHLE, O., 2004).

Za hlavní význam dopravy můžeme podle (RODRIGUE, J.-P., 2006) považovat skutečnost, že umožňuje překonání bariéry prostoru, a tím podmiňuje vytváření interakcí mezi různě disponovanými místy zemského povrchu.

Doprava může být také považována za základní kámen současné společnosti. Její dopad na životní prostředí je široce diskutován. Nicméně, obrovské množství veřejných prostředků je určeno pro dopravu (viz např. SHORT a KOPP, 2005).

### **2.1 Silniční motorová vozidla**

Dopravní prostředek je technický prostředek, jehož pohybem se uskutečňuje přemístování osob a věcí (KŘIVDA, V. a kol., 2008).

Nebo dle zákona, který říká, že „silniční vozidlo“ je motorové nebo nemotorové vozidlo, které je vyrobené za účelem provozu na pozemních komunikacích pro přepravu osob, zvířat nebo věcí (zákona č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích).

Dopravní zařízení je mobilní (např. dapr, nákladní automobil, letadlo) nebo stacionární (dopravník, čerpadlo) strojní zařízení (nikoliv prostředek), jehož konstrukce umožňuje řízený pohyb břemen po stanovených dopravních trasách a umožňuje nést břemeno a směřovat jeho pohyb do cílového místa (břemenem je i posádka dopravního zařízení) (CELJAK, I., 2012).

#### **2.1.1 Rozdělení silničních vozidel**

Silniční vozidla se rozdělují na tyto základní druhy:

- a) motocykly,
- b) osobní automobily,
- c) autobusy,
- d) nákladní automobily,

- e) speciální vozidla,
- f) přípojná vozidla,
- g) ostatní silniční vozidla.

(Dle Zákona 56/2001 Sb.)

Nebo dle energetického aspektu:

1. konvenční zdroje

a) benzín

b) nafta

c) LPG

2. alternativní zdroje

3. elektromobily

4. ostatní

(Dle Zákona 56/2001 Sb.)

### **2.1.2 Silniční motorová vozidla v ČR**

Dnes mezi nejvýznamnější výrobce osobních automobilů v České republice patří mladoboleslavská společnost Škoda Auto, vlastněná koncernem Volkswagen, kolínská společnost Toyota Peugeot Citroën Automobile Czech a nošovický Hyundai. Nákladní automobily vyrábí v kopřivnické Tatře a pražské společnosti AVIA. Společnosti Iveco Czech Republic (dříve Karosa), SOR Libchavy a Tedom se orientují na výrobu autobusů. České traktory jsou již více než půl století spjaty se jménem Zetor. Přívěsy za nákladní automobily vyrábí tradiční česká společnost PANA V Senice na Hané a Schwarzmüller. V České republice je také několik malosériových výrobců (SAP, 2012).

Dle údajů (automap.cz) bylo k 30. 06. 2012 v ČR registrováno celkem 6 463 232 ks vozidel všech kategorií, k 31. 12. 2011 to bylo 6 385 604 ks. Nárůst registrací činil 77 627 ks vozidel.

Průměrný věk celého vozového parku v České republice byl ke dni 30. 6. 2012 16,76 let (SAP, 2012).

## 2.2 Dopravní prostředí a dopravní trasy

V období prudkého rozvoje silniční dopravy se neustále zvyšují požadavky na kvalitní stav silnic, dálnic a jejich mostů pro zajištění bezpečné, plynulé i dostatečně rychlé jízdy silničních vozidel. Zvýšená pozornost je věnována systematickému ověřování stavu vozovek silnic a dálnic a operativnímu odstraňování zjištěných závad v rámci možností daných státním rozpočtem. Pro objektivní ověření stavu povrchu vozovek se ročně provádí měření na cca 6 500 km dopravně nejvýznamnějších komunikacích (ŘSD, 2012).

Využití pozemních komunikací je nerovnoměrné. Zatímco intenzita dopravy na dálnicích a rychlostních silnicích v některých časových intervalech dosahuje kapacitních možností nebo je překračuje (důsledkem je vznik kongescí), silnice nižších tříd mají obvykle dostatečnou rezervu a využití kapacity je spíše náhodným jevem (k využití kapacity dochází výjimečně). Požadavky na dopravu splňuje především osobní automobil a člověk ho používá i za cenu vyšších provozních nákladů ve srovnání s jízdným v dopravě veřejné (EISLER, J., 2006).

### 2.2.1 Druhy a typy dopravních cest

Dálnice – je pozemní komunikace určená pro rychlou dálkovou a mezistátní dopravu silničními motorovými vozidly, která je budována bez úrovnových křížení, s oddělenými místy napojení pro vjezd a výjezd a která má směrově oddělené jízdní pásy.

Silnice – je veřejně přístupná pozemní komunikace určená k užití silničními a jinými vozidly a chodci. Silnice tvoří silniční síť.

#### **Silnice rozdělujeme do těchto tříd:**

Silnice I. třídy – určena pro dálkovou a mezistátní dopravu. Je vystavěna jako rychlostní silnice, určena pro rychlou dopravu a má obdobné stavebně technické vybavení jako dálnice.

Silnice II. třídy – je určena pro dopravu mezi okresy.

Silnice III. třídy – je určena k vzájemnému spojení obcí nebo jejich napojení na ostatní pozemní komunikace.

Místní komunikace – je veřejně přístupná pozemní komunikace, která slouží převážně místní dopravě na území obce.

Místní komunikace se rozdělují podle dopravního významu do těchto tříd:

Místní komunikace I. třídy – rychlostní místní komunikace.

Místní komunikace II. třídy – sběrná komunikace s omezením přímého připojení sousedních nemovitostí.

Místní komunikace III. třídy – obslužná komunikace.

Místní komunikace IV. třídy – komunikace nepřístupná provozu silničních motorových vozidel s možností smíšeného provozu.

Účelová komunikace – je pozemní komunikace, která slouží ke spojení jednotlivých nemovitostí pro potřeby vlastníků těchto nemovitostí nebo ke spojení těchto nemovitostí s ostatními pozemními komunikacemi nebo k obhospodařování zemědělských a lesních pozemků.

(Zákon č. 13/1997 sb. o pozemních komunikacích)

## **2.2.2 Silniční a dálniční síť ČR**

Délka dálniční a silniční sítě činí 55 752 km.

Z toho je:

1 150 km dálnic

6 133 km silnic I. třídy

14 496 km silnic II. třídy

33 973 km silnic III. třídy

Na těchto komunikacích se nalézají:

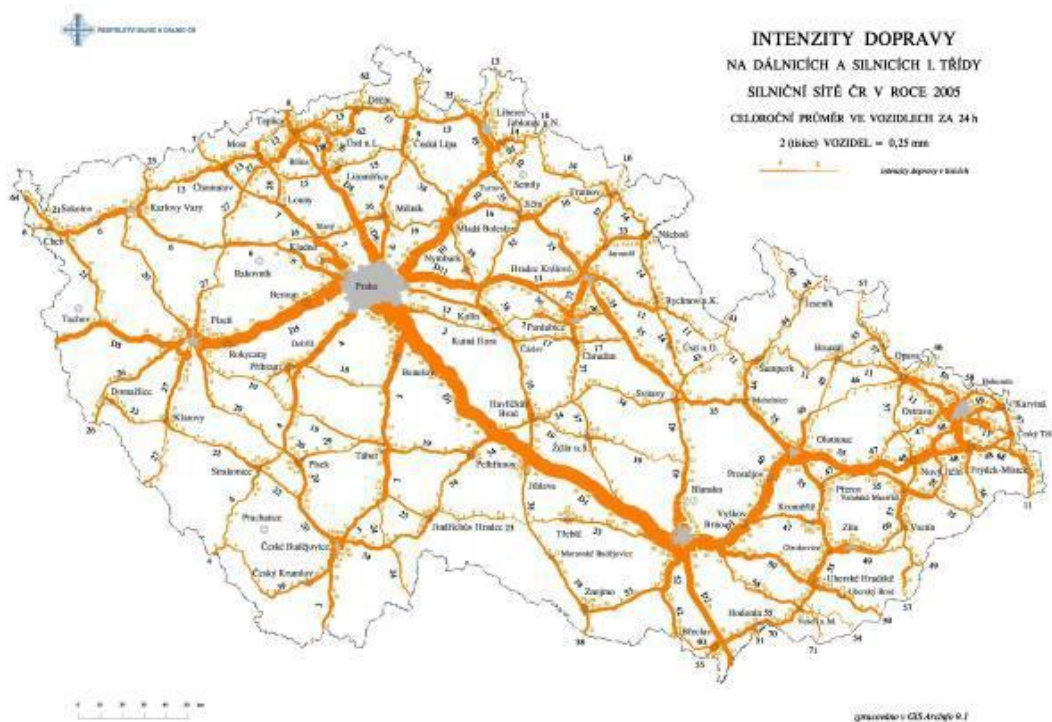
17 283 mostů

3 348 podjezdů

2 563 železničních podjezdů

27 tunelů

(výroční zpráva ŘSD)



**Obrázek 1 Intenzita dopravy na dálnicích a silnicích I. Třídy**

Zdroj: ŘSD

### 2.2.3 Údržba komunikací

Údržba dálnic a některých rychlostních silnic je přímo zajišťována ŘSD ČR, které je udržují ve stavu odpovídajícím určenému účelu, zajišťuje výkon letní a zimní údržby svěřeného úseku komunikace. Dále zabezpečuje informační službu o sjízdnosti svěřeného úseku, dbá na bezpečnost provozu a dopravy, předkládá návrhy na jejich zlepšení a účastní se jejich projednávání s Policií ČR. Práci na komunikacích lze zhruba rozdělit na činnosti „letní“ (duben - říjen) a „zimní“ (listopad – březen). Letními pracemi jsou především opravy vozovek, mostů, dopravních značek, nátěry ocelových konstrukcí, odvodnění, sekání trávy, čištění a úklid odpočívadel, drobné zemní práce, impregnace betonových vozovek, zřizování vodorovného značení, čištění kanalizace atd. Zimní období je charakteristické zvláštním pracovním nepřetržitým provozem, který zajišťuje pohotovostní odklizení sněhu, náledí a námraz z vozovek, které jsou pro dopravu velmi nebezpečné. Pro tyto práce jsou používány speciální mechanismy a chemické materiály. Pro zvolení správného postupu údržby jsou využívány meteorologické předpovědi (ŘSD, 2012)

### 3. Emise z dopravy

Příčinou vzniku emisí z dopravy je především spalování pohonných hmot. Mezi nejvýznamnější škodliviny patří zejména oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), oxid dusný (N<sub>2</sub>O), oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), ozón (O<sub>3</sub>), těkavé organické látky s výjimkou metanu (NM VOC), pevné částice (PM) a polyaromatické uhlovodíky (PAH). Z dalších škodlivin je pak možné uvést např. alifatické, aromatické a heterocyklické uhlovodíky, aldehydy, fenoly, ketony, dehet a v neposlední řadě i kovy ze skupiny platiny jako jsou platina (Pt), paladium (Pd) a rhodium (Rh). (Adamec 2007)

#### 3.1 Emise z nespalovacích procesů

I když podstatná část znečištění ovzduší pochází ze spalovacích procesů, nezanedbatelný podíl emisí z provozu vozidla se spalovacím motorem zaujímají emise nespalovací. Zatímco spalovací emise se s obnovou vozového parku snižují, emise nespalovací zůstávají na stejné výši a se vzrůstající intenzitou dopravy se budou zvyšovat. Všechny tyto částice díky jejich velikosti rychle sedimentují na povrchu vozovky a blízko svých zdrojů. Do ovzduší se dostávají opět resuspencí v důsledku turbulentního proudění vzduchu, které vyvolávají projíždějící vozidla či proudící vítr. Negativní účinky těchto emisí jsou podobné jako spalovací emise závislé na svých fyzikálních a chemických vlastnostech. (Adamec et al., 2008)

Emise z nespalovacích procesů vznikají například obrušováním různých namáhaných součástí (brzdové a spojkové obložení), kdy se do ovzduší uvolňuje měď (Cu), antimon (Sb), baryum (Ba), Železo (Fe), hliník (Al), zinek (Zn), molybden (Mo), mangan (Mn), hořčík (Mg), kadmium (Cd) a další. Obrušování pneumatik, které také obsahují různé druhy pryží, je zdrojem především zinku (Zn), vápníku (Ca), železa (Fe) a elementárního uhlíku. (Adamec et al., 2008)

Vozový prach obsahuje převážně částice větších frakcí, které se obvykle skládají z výše zmíněného provozu automobilů, geologického původu z okolí vozovky (Al, Si, Ca, Mg) a také částic chemického (sůl) a inertního materiálu (písek, štěrk) pro posyp silnic v zimním období. (Adamec et al., 2008)

##### 3.1.1 Některé druhy nespalovacích emisí

###### ➤ Olovo (Pb)

V současné době je olovo, kvůli používání olova v rozvodech pitné vody, při výrobě barev, jako aditiva v benzínu a jeho ostatnímu využití v průmyslu,

všudypřítomným kontaminantem prostředí. Olovo se do ovzduší může dostávat přirozeně ve formě prachu, kouře a aerosolů mořské vody. Ale také se může uvolňovat při lesních požárech. Antropogenní činnost je ale významnější, jelikož se odhaduje, že je 17,5krát vyšší, než z přirozených zdrojů. Nejvíce se uvolňuje při spalovacích procesech (spalování odpadů a olovnatého benzínu). Těžké kovy jako olovo jsou schopné v atmosféře putovat na velké vzdálenosti, kontaminují půdu i tisíce kilometrů daleko od zdroje znečištění olovem. Díky drastickému omezení obsahu olova v autobenzínech se v Evropě významně podařilo zmenšit rozsah oblastí kriticky zatížených olovem. Zatímco v roce 1990 bylo ohroženo přes 70% sledovaných ekosystémů, v roce 2000 to bylo již jen 8 procent. (Miroslav Šuta: Znečištění rtutí a olovem zůstává vážným problémem Evropy, respekt.cz, 5. května 2008)

Způsob vzniku v dopravě: V minulosti tato emise byla zdrojem především spalováním olovnatých benzínů, ve kterých bylo přítomné tetraetylolovo. Antidetonátory na jeho bázi se od roku 2001 nepoužívají, nyní jsou jeho zdroji např. maziva, oleje a částice z opotřebovaných ložisek.

Zdravotní rizika: Olovo je toxický kov, který způsobuje různé zdravotní problémy od nechutenství, malátnosti, anémií, bolestí hlavy až po poškození plic, jater, ledvin, centrální nervové soustavy a vzniku nádorů.

#### ➤ Kadmium (Cd)

Mezi přirozené zdroje kadmia patří erupce sopek. Emise kadmia, které se dostávají do ovzduší lidskou činností, jsou 8krát vyšší než přirozené. Kadmium je toxické pro vodní organismy.

Způsob vzniku v dopravě: „Opotřebováním různých součástí automobilů.“

Zdravotní rizika: Způsobuje poškození ledvin, hrozí chronické otravy a je označován jako karcinogen, který může způsobovat rakovinu plic a prostaty.

#### ➤ Nikl (Ni)

Přirozené zdroje niklu jsou aerosoly z mořské hladiny, půdní prachy a sopečný popel. Dále se uvolňuje při lesních požárech, a do atmosféry se také dostává jako meteoritický prach. Lidskou činností se do ovzduší dostává například při těžbě a zpracování niklu, spalováním fosilních paliv a odpadů, rafinerií ropy a plynu. Nikl je toxický pro některé vodní organismy, a proto je ve vodárenských tocích limitován přísněji než v pitné vodě.



Způsob vzniku v dopravě: „Obrusem brzdového obložení a různých namáhaných spojů.“

Zdravotní rizika: Způsobuje kožní dermatitidy a alergii. Otrava může mít za následek poškození centrální nervové soustavy, trávicího traktu, cév, jater a srdce.

➤ Chrom (Cr)

Do ovzduší se dostává při povrchových úpravách kovů, s koženým a textilním průmyslem a zejména spalováním fosilních paliv. V určitých formách je velmi toxický pro vodní organismy.

Způsob vzniku v dopravě: „Mechanickou separací z rotujících částí motoru a z brzdového obložení.“

Zdravotní rizika: Při dlouhodobém působení může docházet k tvorbě vředů a nádorů nosní dutiny, plic a zažívacího traktu. Dále může mít leptavé účinky na kůži a sliznici.

➤ Platinové kovy (platina Pt, rhodium Rh, palladium Pd)

Způsob vzniku v dopravě: vznikají uvolňováním z automobilových katalyzátorů.

### 3.2 Polétavý prach

Jako polétavý prach nebo prachové částice jsou obvykle označovány tuhé pevné částice unášené vzduchem s průměrem pod 10  $\mu\text{m}$ . Legislativa (Nařízení vlády č. 350/2002 Sb. Ve znění následných právních úprav 429/2005 Sb.) používá termín suspendované částice, definovaný takto : „suspendované částice jsou pevné nebo kapalné částice, které v důsledku zanedbatelné pádové rychlosti přetrvávají dlouhou dobu v atmosféře.“ Z chemického hlediska jde o různorodou směs organických a anorganických látek. Působí i jako vektor pro plynné sloučeniny.

Zdrojem pevných částic může být přírodní proces, např. výbuch sopky, větrná bouře nebo lesní požár, ale také lidská činnost (antropogenní zdroje), např. spalování fosilních paliv, dřeva nebo odpadů, těžba uhlí, kamene či šterku, doprava.

Znečištění prachovými částicemi v současnosti patří k hlavním problémům kvality ovzduší v České republice. Představují významné riziko pro lidské zdraví a pocházejí hlavně ze spalovacích procesů v energetice, vytápění domácností (lokální

topeniště) a v dopravě. Silniční doprava tvoří 91 % celkových emisí těchto částic z dopravy. Doprava také kromě přímých exhalací způsobuje i víření již usazených částic do ovzduší. Významným zdrojem prachových částic jsou automobily s dieselvými motory, které nemají katalyzátor a jejichž výfukové plyny obsahují množství malých prachových částic (sazí) vznikajících nedokonalým spalováním nafty.

Hlavní nebezpečí, které sebou nese vdechování prachových částic, představují různorodé nebezpečné látky, které se s těmito částicemi spojují (např. těžké kovy, polyaromatické uhlovodíky apod.) (ŠIBOR, J., 1997).

### **3.3 Sekundární prašnost**

Na znečištění se významně podílí tzv. sekundární prašnost, která je způsobena zvířením pevných částic, které již byly usazeny nebo jinak deponovány na zemském povrchu, a jejich následným rozptylem do ovzduší. Může být hlavním zdrojem polétavého prachu ve městech. Například studie z Paříže uvádí, že množství hrubších částic (PM10), které se do ovzduší dostaly jako sekundární prašnost, může být 3–7× vyšší, než jejich přímé emise z výfukových plynů.

Na vzniku sekundární prašnosti se kromě automobilové dopravy podílí významnou měrou i stavební činnost, především pohyb stavebních vozidel na nezpevněném povrchu a manipulace se sypkými materiály. Dalším zdrojem je manipulace se sypkými materiály obecně – kromě stavebnictví např. při těžbě surovin, v cementárnách a jiných výrobních stavebních materiálů, na skládkách apod.

Vznik sekundární prašnosti je zásadně ovlivněn vlhkostí povrchu, na kterém jsou částice usazeny. Se vzrůstem vlhkosti dochází ke shlukování částic a tím klesají předpoklady k jejich zvíření. K výraznému snížení prašnosti proto pomáhá kropení komunikací zejména v letních měsících. (<http://cs.wikipedia.org>, 2013)

### **3.4 Způsob vzniku polétavého prachu v dopravě**

PM 2,5–10 (hrubá frakce) – k jejich hlavním zdrojům patří prach z vozovek, oděry pneumatik a spalovací procesy s emisemi částic paliva a sazí. Hlavní složkou je krystalický materiál, oxidy kovů (Si, Al, Ti, Fe), CaCO<sub>3</sub>, uhlíkaté agregace sazí a částičky pneumatik. Setrvávají v ovzduší po kratší dobu a jejich výskyt je omezen na blízké okolí zdroje.

PM 2,5 (jemná frakce, respirabilní frakce) – vzniká v důsledku chemických reakcí, nukleací, kondenzací plyných emisí na povrch vzniklých částic či koagulací nejjemnějších částic při spalování pohonných hmot.

PM 0,2–0,5 – vznikají kondenzací plyných emisí či koagulací menších částic ze spalovacích procesů. Mohou se přenášet i na velké vzdálenosti.

PM 0,02 (ultrajemná frakce) – vzniká nukleací plyných polutantů ze spalovacích procesů.

PM 0,01 (nanočástice) – jsou emitovány zejména z benzínových motorů. (Adamec et al., 2005)

Částice hrubé frakce bývají zásaditého pH, jsou z větší části nerozpustné. Sedimentují během minut až hodin s přenosem řádově do kilometrových vzdáleností. Malé částice podléhají koagulaci a kondenzaci, zvětšují se, ale jejich konečná velikost zpravidla nepřesáhne 2 $\mu$ m. Tyto částice setrvávají v ovzduší cca 7 až 30 dnů. Z hlediska původu, složení i chování se jemná frakce částic do 2,5 $\mu$ m a hrubší frakce většího průměru výrazně liší. pH jemných částic je často v kyselé oblasti, jemné částice jsou do značné míry rozpustné a zahrnují sekundárně vzniklé aerosoly kondenzací plynů, částice ze spalování fosilních paliv včetně dopravy a znovu kondenzované organické či kovové páry. Převažují částice vznikající až sekundárně reakcemi plyných škodlivin ve znečištěném ovzduší. Obsahují jak uhlíkaté látky, které mohou zahrnovat řadu organických sloučenin s možnými mutagenními účinky, tak i soli, hlavně sulfáty a nitráty. Mohou též obsahovat těžké kovy, z nichž některé mohou mít karcinogenní účinky. V ovzduší jemné částice perzistují dny až týdny a vytvářejí více či méně stabilní aerosol, který může být transportován stovky až tisíce kilometrů. Velmi důležité z hlediska expozice je pronikání jemných částic do interiéru budov.

### **3.5 Zdravotní rizika**

Hlavní a nejčastější cestou vstupu prachu do lidského organismu jsou dýchací cesty. Hrubé prachové částice jsou zadržovány v horních cestách dýchacích. Pohybem řasinkového epitelu, kterým je vystlána nosní dutina, se dostávají s hlenem do nosohltanu a jsou spolknuty, vykašlány nebo vykýchány. Větší částice postupně v dýchacích cestách sedimentují (horní cesty dýchací zachytí většinu částic větších než 5  $\mu$ m), menší částice pronikají hlouběji. Se zmenšující se velikostí částic pravděpodobnost průchodu do plicních sklípků stoupá, pro částice velikosti 3  $\mu$ m je tato pravděpodobnost vyšší než 50 %. Frakce prachu tvořená malými částicemi vdechovatelná až do plic je z hlediska zdravotního rizika nejnebezpečnější. Vysoké koncentrace prachu v ovzduší způsobují usazování prachových částic v očích, nosu a

ústech a s tím spojené nepříjemné pocity. Dlouhodobá expozice těmto koncentracím i u prachu bez specifických účinků (někdy nazývanému "inertní") přetěžuje samočisticí mechanismy plic, snižuje celkovou obranyschopnost člověka a může přispívat ke vzniku chronického zánětu průdušek. Kromě toho mechanické působení těchto částic i jejich odstraňování může způsobovat poranění oka, pokožky nebo sliznic. (Celjak 2011)

Výsledky monitorování kvality ovzduší v České republice potvrzují přetrvávající význam dopravy jako hlavní příčiny znečištění ovzduší měst prachovými částicemi (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) a oxidem dusičitým (NO<sub>2</sub>). Zpráva Státního zdravotního ústavu uvádí, že v městských, dopravně zatížených lokalitách dochází k překračování limitních koncentrací a že s dalším rozvojem dopravy lze za stávajících podmínek očekávat rozšíření počtu více exponovaných lokalit; ve větších městech navíc nejenom v blízkém okolí komunikací. Z hlediska vlivu na zdraví má v České republice největší význam znečištění ovzduší prachovými částicemi (PM) a polycyklickými aromatickými uhlovodíky (PAU), v silně dopravně zatížených lokalitách také oxid dusičitý. Státní zdravotní ústav odhaduje ze středních hodnot koncentrací PM<sub>10</sub> v prostředí měst, že znečištění ovzduší touto škodlivinou se může podílet na zvýšení předčasné úmrtnosti v průměru o 2 %. (Šuta, 2010)

Odborná studie pro Evropskou komisi konstatovala, že znečištění ovzduší jemným prachem, jehož významným zdrojem jsou právě emise z dopravy, zkracuje Evropanům život v průměru o více než osm měsíců a Čechům o více než deset měsíců. Dále uvádí, že špinavý vzduch způsobuje předčasnou smrt asi 370 tisíců Evropanů ročně a snížení evropského hrubého domácího produktu o desítky miliard eur ročně. V České republice roce 2009 byla přitom doprava zodpovědná za 46 % z celkových emisí oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), 49 % emisí CO, 13 % CO<sub>2</sub>, 27 % těžkých organických látek a 44 % emisí prachových částic (PM<sub>10</sub>). (Patrik a Šuta, 2010)

Předpokládá se, že částičky nad 10 μm jsou při běžném povrchovém dýchání nosem zachycovány na sliznici dutiny nosní. Částičky v rozsahu 5 až 10 μm se usazují v jemných dýchacích cestách. S rostoucí hloubkou dýchání roste množství větších částic strhávaných proudem vzduchu do hlubších partií respiračního traktu. Výzkumu zdravotních účinků polévatého prachu je věnována značná pozornost vědců na celém světě už po řadu desetiletí. Částice se liší jak svou velikostí, tak chemickým složením i původem. Značná variabilita vlastností polévatého prachu vede k obtížím při hodnocení jeho vlivu na zdraví člověka. (Šuta, 2010)

Řada epidemiologických studií v nejrůznějších zemích světa prokázala rozmanité vlivy na lidské zdraví. Byl prokázán vztah mezi průměrnou denní koncentrací prachových částic v ovzduší a růstem nemocnosti následující den, ovlivnění počtu hospitalizací pro respirační onemocnění. U astmatiků byl prokázán vliv rostoucích koncentrací PM<sub>10</sub> na zhoršení příznaků onemocnění a na růst užívání léků<sup>55</sup>. U dětí

byl prokázán významný rozdíl v úmrtnosti na pneumonii (zánět plic) v závislosti na průměrné roční koncentraci prachu v ovzduší oblasti, kde děti žily<sup>56</sup>. U „hrubé“ frakce polétavého prachu, (PM<sub>2,5-10</sub>), je prokázán vliv na množství akutních hospitalizací pro respirační potíže, ale jejich vliv na úmrtnost zatím není zcela zřejmý<sup>57</sup>. Účinky krátkodobého vystavení polétavému prachu byly zdokumentovány ohromným počtem studií z Evropy i z dalších světadílů. Výzkumy přinesly množství dat prokazujících například úmrtí v důsledku krátkodobého vystavení prachu nebo zvýšení počtu nemocničních příjmů spojených se srdečně-cévními a dýchacími obtížemi. WHO ale došla k závěru, že pro zdraví lidí mají nesrovnatelně větší význam dlouhodobé účinky působení polétavého prachu. (Šuta, 2010)

### **3.5.1 Souhrn prokázaných zdravotních vlivů polétavého prachu**

#### **Zdravotní vlivy krátkodobé expozice**

- zvýšení počtu zánětlivých onemocnění plic,
- nepříznivé účinky na kardiovaskulární systém,
- zvýšení spotřeby léčiv,
- zvýšení počtu hospitalizací,
- zvýšení úmrtnosti.

#### **Zdravotní vlivy dlouhodobé expozice**

- snížení plicních funkcí u dětí i dospělých,
- růst onemocnění dolních cest dýchacích,
- zvýšení počtu chronických obstrukčních onemocnění plic,
- snížení předpokládané délky dožití (převážně v důsledku úmrtnosti na srdečně-cévní a plicní onemocnění).

Prašnost dopravního provozu zatěžuje dýchací systém exponovaných osob, které inhalují spolu s částicemi prachu řadu xenobiotik (xenobiotikum - cizorodá sloučenina, která nevzniká přírodními procesy), ovlivňujících místně (v dýchacích cestách) i celkově zdravotní stav organismu. Komplexní adaptivní odpověď organismu na tuto situaci bývá doprovázena i změnami imunitních funkcí. V imunitním systému člověka může docházet k navození imunodeficitu či k rozvoji autoimunitní či alergické reakce. (Šuta 2010)

## 3.6 Emisní limity

### 3.6.1 Základní pojmy

Prachové částice (PM), resp. pevné částice či (pevné) jsou drobné částice rozptýlené ve vzduchu (polévatý prach), protože jsou tak malé, že mohou být unášeny proudem vzduchu. Podle původu lze zdroje pevných částic (s čímž souvisí znečištění ovzduší) rozdělit na antropogenní a přírodní. V mnoha případech lze vystopovat také kombinované zdroje pevných částic.

#### Antropogenní zdroje

Vznikají rozmanitou lidskou činností. Největší antropogenní zdroje nečistot v ovzduší (i jedovatých) představují spalovací procesy, které jsou nezbytnou součástí technologických činností při výrobě tepelné energie v teplárnách, využívajících spalování pevných paliv, při výrobě elektrické energie v tepelných elektrárnách na pevná paliva, při pohybu dopravních zařízení (zejména motorová vozidla, letadla, některé vlaky) na dopravních trasách, využívajících energii ze spalovacích procesů v motorech, při technologických činnostech manipulačních zařízení (nakladače, jeřáby, zdvižné vozíky, dopravníky), jejichž pracovní adaptéry jsou poháněné spalovacími motory, při pohonu speciálních strojních zařízení ve všech oblastech výroby a služeb (včetně komunální sféry, zemědělské a lesnické výroby), při dobývání a úpravě nerostných surovin (explozivní rozpojování, drtiče a třídače kameniva) a v ostatních doprovodných činnostech, které tvoří servisní činnost ve prospěch lidské společnosti (například při zimní údržbě posypem silnic a chodníků, používáním rozmanitých sprejů, aplikací nátěrů a impregnací, používáním rozpouštědel, zrání skládek komunálního odpadu, z nichž se uvolňuje metan apod.). Antropogenním zdrojem jsou také částice, které vznikají větrným odnosem ze stavenišť, ze skládek stavebních surovin, z demolovaných staveb, z nezpevněných polních cest a z obdobných míst, která vznikla v důsledku lidské činnosti. (Celjak 2011)

#### Přírodní zdroje

Příčina znečištění ovzduší přírodními procesy může být chemické, fyzikální nebo biologické povahy. Mohou to být například zrna z větrných erozí půdy, obvykle z oblastí pokrytých řídkou vegetací, nebo zcela bez pokryvu vegetace (prachové bouře). Typickým příkladem, kdy se dostává do vznosu velké množství písku, je poušť. Důležitým přírodním zdrojem prachových částic je také kosmický prach. Kosmický prach je tvořen meziplanetární hmotou o velikosti menší než je 1 milimetr, která se volně nachází v okolním vesmíru. Jedná se o drobná zrnka různorodého materiálu, který pochází z různých zdrojů (materiál z období formování sluneční soustavy, ohon komety, materiál vyvržený po srážce atd.). Kosmický prach neustále

dopadá na každé těleso ve vesmíru s různou intenzitou. Například na Zemi každoročně dopadne až 40 000 tun kosmického materiálu, kde dle výpočtu se jedná přibližně o 1 zrnko kosmického prachu za den na metr čtvereční. Dalšími přírodními zdroji látek, které znečišťují ovzduší, jsou následující zdroje (neprodukují prachové částice). Například metan, uvolňovaný v průběhu trávení potravy zvířaty nebo hnitím biomasy. Hnití je chemický, biologicky podmíněný proces, při kterém dochází k rozkladu organických látek bez přístupu kyslíku. Při hnití se uvolňují plyny, které jsou lidmi vnímány jako zápach. Dalším přírodním zdrojem je radioaktivní plyn radon, který se uvolňuje ze zemské kůry. Některé dřeviny, plodiny a ovoce uvolňují těkavé organické látky (borovice, topol, kukuřice a různé druhy ovoce a zeleniny) a velké množství silic je vytvářeno rostlinami jako ochrana před býložravci. Vážným zdrojem je sopečná aktivita, díky níž se uvolňují částice síry, chloru a popela. K přírodním zdrojům patří bioaerosol, který zahrnuje mikroorganismy (viry, bakterie, houby, pyl, spory).

Z uvedeného vyplývá, že prostředí v každé obci je ovlivňováno mnoha zdroji znečištění, které produkují rozmanité množství prachových částic – znečišťujících látek. Tyto znečišťující látky mají rozmanitý účinek a rozmanitou dobu trvání, kdy působí na obyvatele obce. (Celjak 2011)

### **Znečišťující látka**

Znečišťující látkou se rozumí každá látka, která svou přítomností v ovzduší má nebo může mít škodlivé účinky na lidské zdraví nebo životní prostředí anebo obtěžuje zápachem. Znečišťováním (emisí) je vnášení jedné nebo více znečišťujících látek do ovzduší. Úroveň znečištění je hmotnostní koncentrace znečišťující látky v ovzduší (imise) nebo její depozice na zemský povrch za jednotku času.

Zdroj znečištění může být stacionární nebo mobilní.

### **Emisní limit**

Emisní limit je nejvýše přípustné množství znečišťující látky nebo skupiny znečišťujících látek vnášené do ovzduší ze stacionárního zdroje, emisním stropem nejvýše přípustné množství znečišťující látky vnesené do ovzduší za kalendářní rok.

### **Imise**

Imise je emise, která se dostala do styku s životním prostředím. Mohou se kumulovat na površích předmětů, na plochách objektů, v půdě, ve vodě nebo v organismech. V praxi jsou imisemi například znečišťující látky, které se ukládají v životním prostředí, například na obecních prostranstvích, na silnicích, na asimilačních orgánech dřevin a bylin nebo v obytných místnostech domácností. Imise vznikají následkem emisí a zpravidla se drží při zemském povrchu. Imisním

limitem nejvýše přípustná úroveň znečištění stanovená zákonem. (Sbírka zákonů č. 201 / 2012)

**Tabulka 1 Imisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení**

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Částice PM <sub>10</sub>	24 hodin	50 µg.m <sup>-3</sup>	35
Částice PM <sub>10</sub>	1 kalendářní rok	40 µg.m <sup>-3</sup>	0
Částice PM <sub>2,5</sub>	1 kalendářní rok	25 µg.m <sup>-3</sup>	0
Olovo	1 kalendářní rok	0,5 µg.m <sup>-3</sup>	0

### 3.6.2 Emisní normy

Limitní hodnoty výfukových exhalací stanovuje závazná emisní norma Euro. Aktuálně platná norma Euro 5 omezuje množství oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) a množství pevných částic (PM).

Od 1. ledna 2014 vstoupila v platnost norma EURO 6. Ve srovnání s normou EURO 5 vyžaduje snížení emise oxidů dusíku o dalších 77% a emise pevných částic o dalších 66%. Motory s EURO 6 musí kromě toho dodržet emisní limity při každodenním používání minimálně po dobu 7 let nebo dokud nenajedou 700 tisíc kilometrů. ( směrnice EU č. 96/92/ES, v České republice č. 86/2002 Sb., 2012)

**Tabulka 2 Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO**

Rok/norma		CO (g/km)		NO <sub>x</sub> (g/km)		HC + NO <sub>x</sub> (g/km)		HC (g/km)	PČ (g/km)
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70*	-	0,08**
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

BENZÍNOVÉ MOTORY, NAFTOVÉ MOTORY

\* 0,90 pro motory s přímým vstřikováním paliva

\*\* 0,10 pro motory s přímým vstřikováním paliva



Podle EEA každý čtvrtý obyvatel EU žije ve vzdálenosti menší než 500 metrů od silnice, po které projede více než 3 miliony aut ročně. Podle expertů EEA bylo 43 % Evropanů žijících ve městech vystaveno množství prachu, které přesáhlo platné limity. Za nejhorší označuje zpráva situaci v Beneluxu, České republice, Polsku, Maďarsku, jižním Španělsku a v údolí řeky Pád na severu Itálie. Ovzduší v České republice patří v Evropě mezi nejvíce znečištěné a doprava je zejména ve velkých městech a sídelních aglomeracích nejvýznamnějším znečišťovatelem. (SZÚ, 2012)

Podle WHO nebyly epidemiologické studie vyšetřující velké skupiny obyvatel schopny jednoznačně stanovit prahovou hodnotu („bezpečnou“ koncentraci škodliviny, která nezpůsobuje žádné škodlivé účinky) pro polévatý prach. WHO konstatuje, že „pojem prahové hodnoty je spíše ‘iluzorní’, neboť nevyhnutelně existují hluboké rozdíly v individuální senzitivitě. (SZÚ, 2012)

Z nejnovějších výzkumů WHO vyvozuje, že koncentrace polévatého prachu dnes běžné v Evropě i v České republice představují pro lidské zdraví značné riziko. Proto doporučuje intenzivně pracovat na snižování úrovně znečištění ovzduší, které bude mít podstatný dopad na zlepšení zdraví lidí. A to dokonce i v oblastech, kde je znečištění silně pod hranicí pro polévatý prach stanovenou Evropskou unií.

V roce 2005 bylo v České republice ve všech monitorovaných městech a ve všech částech Prahy překročeno alespoň jedno z kritérií překročení limitu pro prachové částice PM<sub>10</sub>. Alespoň jednou byla hodnota denního imisního limitu překročena na všech stanicích, na jedné ze stanic v Ostravě dokonce po 160 dní v roce. Ve sledovaných oblastech žilo více než 80 % obyvatel v místech, kde znečištění prachovými částicemi překračovalo alespoň jedno z kritérií imisního limitu. (SZÚ, 2012)

V roce 2008 činila roční střední hodnota pro PM<sub>10</sub> v dopravou nezatížených lokalitách. (SZÚ, 2012)

22,6  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , ve středně zatížených oblastech 27,4  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a v dopravně extrémně zatížených místech 32,9  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Čtyřadvacetihodinový imisní limit byl alespoň jednou překročen ve všech monitorovaných městech, v Bartovicích v Ostravě to bylo po 118 dní. (SZÚ, 2012)

Hodnota ročního průměru 20  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  doporučovaná WHO pro PM<sub>10</sub> byla v roce 2008 překročena na 73 z 81 zahrnutých měřicích stanic. (SZÚ, 2012)

Na vybraných místech v České republice se monitoruje také koncentrace jemných prachových částic (PM<sub>2,5</sub>). V roce 2005 se průměrné roční koncentrace pohybovaly od 18,5 do 43,3  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , přičemž hodnoty nad 30  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  ročního průměru naměřily dvě stanice v Ostravě. Hodnotu 25  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  ročního průměru překročily také stanice v Brně, Kladně, Teplicích, Hradci Králové a Olomouci. Roční průměrná koncentrace PM<sub>2,5</sub> doporučená WHO byla tedy překročena v roce 2005 na všech monitorovaných lokalitách. (SZÚ, 2012)

## 4. Analýza prachových částic v ovzduší v obcích

### 4.1 Možné příčiny prašnosti v obcích

V průběhu celého roku lze zjistit přítomnost prachových částic v ovzduší v rozmanitých hodnotách, jejichž výši lze v mnoha případech ovlivnit. Lze obecně stanovit některá období během kalendářního roku, kdy je výskyt prachových částic – znečišťujících látek vyšší než obvykle. Tím nejsou míněny například dvě hodiny po dešti, kdy jsou prachové částice odplaveny vodou do kanalizace nebo jsou přilepeny vodou k povrchu, na němž setrvávají. Je to období „aktivních zdrojů“. To je především v období inverze (což je obrácení teplotního gradientu), kdy dochází ke zvýšení koncentrace znečišťujících látek v nehybné přízemní vrstvě vzduchu. K inverzním situacím, trvajících několik dní (na podzim 2011 trvala inverze v některých lokalitách až 26 dní), dochází zpravidla v podzimních a zimních měsících. Příčinou zvýšení koncentrace znečišťujících látek není zmíněný meteorologický jev, ale jsou to antropogenní, přírodní a kombinované zdroje znečištění ovzduší, které produkují znečišťující látky do ovzduší. Tyto zdroje mají původ v biologických a fyzikálních prachových částicích, které se nacházejí na teritoriu obce nebo v jejím blízkém okolí a lze je v obcích a jejich okolí „vystopovat“.

Například v měsících, kdy ustoupí mrazy, roztaje sníh a následně dojde k vysychání silnic, cest a účelových ploch, které byly v zimních měsících ošetřovány posypem, zejména nevhodným posypem v obcích, kde občané „pomáhají“ sypat cesty a chodníky popelem po spalování fosilních pevných paliv. Lze vysledovat i období, kdy probíhají sklizňové práce a z polí vyjíždí dopravní a sklizňová zařízení, na jejichž pneumatikách zůstávají zbytky půdy, které opadnou na silnicích vedoucích do obce, vysuší se, rozdrobí a stanou se poléťavými. Lze obecně vytipovat mnohé další zdroje znečišťujících látek. Například, kde probíhá stavební činnost a dochází k vývozu nečistot ze stavby na cesty, v místech, kde vyjíždějí vozidla z nezpevněných ploch a cest, při rekonstrukcích vozovek, při stavebních pracích v okolí cest, po prudkých deštích nebo po povodních, kdy je na cesty a nezatravněná prostranství naplaveno bahno a vyschne, při větrné erozi půdy v části obce, odkud vanou prudké větry, tam kde je zvýšený opad nečistot a produktů z vozidel (z koreb při přepravě nezajištěných sypkých materiálů) v místech, kde jsou na silnicích příčné nerovnosti (také příčné zpomalovací prahy) a výtlučky, v místech dočasných složišť stavebních materiálů nebo recyklátů, kolem průmyslových objektů produkujících prachové částice (drtiče, třídíče, kamenolomy) a podobných zdrojů. Významnou zátěž ovzduší představuje zvíření prachových částic deponovaných na vozovce (vozovkový prach) a v jejím blízkém okolí. Prachové částice ze zmíněných zdrojů, jsou tvořeny částicemi převážně větších frakcí, které se dostávají do ovzduší a stávají se znečišťujícími látkami především prouděním vzduchu.

Je to za předpokladu, že jsou v suchém stavu a ve velikostech, kdy jsou „unášeni schopné“. Proudění vzduchu je vyvoláno nejčastěji přírodním větrem, k němuž dochází vlivem rozdílů v tlaku a teplotě vzduchu a také vlivem rotace Země. Druhým zdrojem proudění vzduchu je pohyb dopravních a manipulačních zařízení. K iniciování dochází za určitých příznivých okolností při otáčení kol, turbulencí kolem rotujících částí zařízení a pohybem vzduchu za rychleji jedoucím vozidlem a podél vozidla (takže nejen na silnici, ale také na chodníku, který vede souběžně se silnicí). Pohyb vzduchu v malém měřítku mohou vyvolat pády některých břemen (například pád stromu na pevný povrch „zvíří“ prach) nebo vzduchotlaká strojní zařízení, pokud vzduch uniká mimo stroj. Čím je rychlost proudění vzduchu vyšší, tím se do ovzduší může dostat více zrn prachových částic. To samé platí i o velikosti částic. Čím vyšší je rychlost proudění vzduchu, tím se do ovzduší dostane více větších částic. Uvedené platí samozřejmě za předpokladu, že prachové částice „jsou k dispozici“. Čím méně je na exponovaných místech prachových částic „ochotných“ se dostat ze stabilní pozice proudem vzduchu do pozice nestabilní (polétavé), tím méně jich může zasáhnout dýchací cesty člověka. Z tohoto závěru vyplývá, že čištění cest, chodníků a veřejných prostranství, na nichž došlo z nějakých (výše uvedených) příčin k výskytu prachových částic, musí být systematické i operativní. Je to ve prospěch občanů obce. Samozřejmě, že v obcích jsou účelové cesty bez pevného povrchu, na kterých se také pohybují dopravní zařízení, za nimiž se mohou zvedat „oblaka prachu“. Tyto cesty mají jiný účel. Tím je především nést zátěž od kol a umožnit průjezd bez boření kol do podloží za jakéhokoliv počasí. Zpravidla je na nich provoz minimální a také rozumní řidiči na těchto cestách nejezdí vysokou rychlostí. Důležité je, aby byly čisté ty cesty, které jsou provozem více zatěžovány a především ty úseky, které vedou v zástavbě, kde mohou být lidé vystaveni prachovým částicím dlouhodobě. (Celjak, 2011)

## 4.2 Reálné příčiny prašnosti v obci

Touto problematikou se zabýval Ing. Celjak, který uvádí několik hodnot znečišťujících látek  $PM_{10}$ , které dokumentují reálné prostředí v obci. Hodnoty byly změřeny přístrojem DustTRAK 8530 s odečtem hodnot z obrazovky, který je k dispozici v BAT centru Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, v laboratoři Hluk a prach.

Nejprve uvádí hodnoty  $PM_{10}$  pro všeobecnou orientaci. Pokud není v měřené oblasti inverze, lze naměřit hodnoty  $PM_{10}$  v rozmezí 11 až 20  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Pokud je obec zasažena mírnou inverzí, dojde k nárůstu na hodnoty  $PM_{10}$  115 až 150  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zajímavá je skutečnost, že se při inverzi nelze schovat do budovy ani utéci do lesa nebo se schovat do jeskyně. O tom svědčí následující naměřené údaje. Dne 18. listopadu 2011 byla v jižních Čechách inverze, kdy mimo obydlí byla naměřena průměrná hodnota 223  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (čili 4 x překročen limit). Údaj není převzat ze

stacionárního měřicího zařízení ČHMÚ, ale byl změřen mobilním zařízením DustTRAK u obce Netolice. V ten samý okamžik byly v místnosti, kam obyvatelé běžně vcházejí dveřmi (troje dveře !), průměrná hodnota  $PM_{10}$   $159 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (takže byl limit také překročen). V místnosti, do které nebylo od začátku inverze vcházeno, byla naměřena průměrná hodnota  $85 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . V místnostech, kdy inverze nebyla, se hodnoty pohybovaly také obdobně jako mimo obydlí. Pokud byl měřicí přístroj umístěn 30 metrů ve směru vanoucího větru z místa, kde je komín, z něhož vycházel kouř z topidla na uhlí (měřicí přístroj byl umístěn v nerozptýleném kouři, který byl hnán k místu měření), byly naměřeny hodnoty  $PM_{10}$  v rozmezí 620 až  $800 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Při manipulaci s uhlím (nabírání uhlí Ořech II lopatkou do nádob) byly naměřeny hodnoty  $PM_{10}$  v místě dýchacích orgánů v rozmezí 537 až  $985 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (částice jsou tvořeny uhelným prachem). Při zatápění v kachlových kamnech, kdy do místnosti unikl kouř, byla naměřena hodnota  $PM_{10}$   $170 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Při vysávání domácím vysavačem se zvýší hodnoty  $PM_{10}$  na 40 až  $65 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  z hodnoty  $PM_{10}$  před vysáváním  $23 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Je to způsobeno vířením prachu výdechem vzduchu z vysavače (lze naměřit rozdíly u rozdílných vysavačů). Při oblékání oděvů se zvýší hodnota  $PM_{10}$  na  $0,53 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  z hodnoty  $PM_{10}$  před oblékáním  $23 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (částice jsou tvořeny především vlákny textilií). K výše uvedenému je třeba dodat, že po určité době po ukončení činnosti se hodnoty sniží.

Ted' zřejmě ty nejzajímavější hodnoty. Hodnoty byly změřeny podle metodiky měření hmotnostní koncentrace polévatého prachu v silniční dopravě monitorem Dust TRAK 8530 (JČU v Českých Budějovicích, ZF). Průjezd vozidla kategorie N na nečištěné silnici (Braníšovská ulice v Č.Budějovicích, v místě výjezdu vozidel ze stavby od objektů JČU) emitoval prachové částice na průměrnou hodnotu  $148 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Na vyčištěné cestě to byla průměrná hodnota  $48 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , při hodnotách  $12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  bez pohybu vozidla. Cesta byla vyčištěna kompaktním samosběrným zametacím zařízením.

Silnice a chodníky velmi rychle vysychají. Po dešti to může být od 10 do 60 minut. Při oblevě roztaje posypaná vrstva ujetého sněhu do 1 až 3 dní, pokud jsou teploty nad  $0^{\circ}\text{C}$ , alespoň  $+3^{\circ}\text{C}$  i v noci. Vysychání podporuje sluneční svit a vítr. Čistící zásahy musejí být provedeny velmi rychle. Z tohoto důvodu je nutné, aby zametací zařízení bylo dostatečně výkonné (tzv. plošná výkonnost v  $\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$ ). S tím souvisí jeho konstrukce. Obecně platí, že čím vyšší je hodnota pracovní šířky, pracovní rychlosti a objemu sběrné nádoby zametacího stroje, tím je jeho plošná výkonnost vyšší. Velká a tedy výkonná čistící a zametací zařízení (stroje s odsáváním nečistot) musejí také disponovat účinnou filtrací, aby nedocházelo při zametání a sběru nečistot k rozptýlování prachu do okolí pracujícího stroje. U menších strojů je to řešeno skrápěním povrchu vodou. (Celjak, 2011)

## **5. Metodika**

Měřením hmotnostní koncentrace polévatého prachu v silniční dopravě monitorem Dust TRAK 8530 se zabývá BAT centrum Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, konkrétně laboratoř Hluk a prach. Tuto metodiku zpracoval Ing. Celjak.

### **5.1 Cíl metodiky**

Cílem této metodiky je poskytnout návod na měření polévatého prachu krátkodobých a průměrných čtyřiaadvacetihodinových koncentrací částic polévatého prachu v ovzduší obydlených míst a v pásmech hygienické ochrany. Součástí této metodiky je měření teploty vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu, tlaku vzduchu, rychlosti a směru proudění vzduchu. Zásady provádění měření vycházejí z ustanovení Zákona 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší, Nařízení vlády 597/2006 Sb. o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší, Vyhlášky 205/2009 Sb. o zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů a Nařízení vlády č.361/2007 Sb. kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.

Sledování kvality ovzduší se provádí pro znečišťující látky uvedené v příloze č. 1 Nařízení vlády 597/2006. Sledování kvality ovzduší se provádí měřením úrovně znečištění na určených místech, a to kontinuálně nebo jednorázovým odběrem vzorků.

### **5.2 Cíl měření**

Cílem měření je získání objektivních informací o skutečném vlivu pohybu vozidel v silniční dopravě na znečištění ovzduší emisemi z nespalovacích procesů. Významnou zátěž ovzduší představuje zviření prachových částic deponovaných na vozovce (vozovkový prach) a v jejím blízkém okolí, které je iniciováno projíždějícími vozidly vlivem pohybu kol, turbulencí kolem rotujících částí vozidel a pohybem vzduchu za vozidlem a podél vozidla. Vozovkový prach zahrnuje částice převážně větších frakcí, na jejichž složení se podílejí částice geologického původu z okolní půdy, částice pocházející ze zimních posypů, částice vzniklé abrazí vozovky, opotřebením částí vozidel (pneumatiky, karoserie, brzdové a spojkové obložení), částice pocházející z úletů sypkých břemen, převážených nákladními vozidly a také částice pocházející z pouličního příslušenství a dopravního značení.

S velikostí částic souvisí jejich negativní účinky na zdraví člověka a možná zdravotní rizika, která představují pro obyvatele velkých městských aglomerací.

### **5.3 Význam výsledků měření**

Výsledky měření jsou nezbytné pro hodnocení specifických lokálních podmínek na vznik prachových částic a pro realizaci opatření pro jejich snížení v souladu se Zákonem č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví. Na základě výsledků měření v rozdílných lokálních podmínkách může být vypracován návrh protiprachových opatření.

### **5.4 Princip měření**

Podstatou metody je prosévání vzduchu zařízením s filtrem, na němž se zvolená velikostní frakce polévatého prachu kvantitativně zachytí. Vstupním zařízením je impaktor, který zachycuje částice odlučovaných frakcí prachu. Vzorek prachu je získán proséváním zkoumaného ovzduší přístrojem. Před odběrem je nutné provést kalibraci nuly. Průtoková rychlost musí být dodržena shodná po celou dobu odběru na hodnotě  $3,0 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ .

### **5.5 Postup měření**

Postup měření spočívá ve stanovení hmotnostní koncentrace vdechovatelné nebo respirabilní frakce polévatého prachu v ovzduší. Vdechovatelnou frakcí se rozumí soubor částic polévatého prachu, které mohou být vdechnuty nosem nebo ústy. Respirabilní frakcí se rozumí hmotnostní frakce vdechnutých částic, které pronikají do té části dýchacích cest, kde není řasinkový epitel a do plicních sklípků. Koncentrace frakce je vyjádřena v  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Doporučuje se, aby pro dosažení nejlepší přesnosti měření byla okolní teplota byla v rozsahu  $15 - 30^\circ\text{C}$  a relativní vlhkost  $20 - 45\%$ .

#### **5.5.1 Použití přístroje DustTRAK 8530**

Přístroj je vybaven vnitřním zdrojem – lithiovou baterií, která musí být před měřením nabita (nabíjí se minimálně hodinu). Pokud je v místě měření síťový zdroj,

lze přístroj zapojit do sítě prostřednictvím AC adaptéru a přívodními kabely. Zásuvka je na pravé části přístroje.

Po zapnutí přístroje tlačítkem nad obrazovkou se objeví úvodní logo TSI a potom obrazovka základního Menu, na níž jsou dotyková pole pro provedení přípravy měření.

a) Dotykem stylusu nebo koncem prstu se aktivuje Setup a objeví se ovládací políčka svisle vlevo, na modré obrazovce se zobrazí údaje o měřicím přístroji;

b) Dotykem se aktivuje Zero Cal (kalibrace nuly se musí provést před každým použitím), to vyžaduje, aby byl před zahájením kalibrace připojen nulovací filtr (bílý váleček s nápisem FLOW s hadičkou);

c) Dotykem se aktivuje zelené políčko Start. Objeví se nápis „Zero calibration is in process.“ a odpočítávání 60 sekund. Po ukončení kalibrace se objeví „Zero Cal Complete“;

d) Odstraní se nulovací filtr

e) Dotykem se aktivuje políčko v levém dolním rohu Main, nastaví se RunMode: Manual (pokud již není nastaven) políčkem RunMode. Nastaví se také datum a další požadované údaje týkající se měření (interval, celková doba měření). Přístroj umožňuje záznam dat 45 dní v minutových intervalech. Interval měření lze nastavit v rozsahu 1 sekunda až 1 hodina;

f) Nasadí se příslušný impaktor, který obsahuje horní část s vyznačením velikosti prachových částic  $PM_{xx}$ , uvnitř je záchytná destička, spodní část je přizpůsobena k těsnému nasazení na měřicí přístroj (pryžový kroužek). Spodní a horní část je spojena závitem. Záchytná destička se vkládá do spodní části stříbrnou stranou nahoru.

g) Dotykem se aktivuje zelené políčko Start. Přístroj zobrazuje hodnoty prachových částic v  $mg.m^{-3}$ . V levém dolním rohu je odpočítáván čas, který je nastaven.

h) Dotykem na políčko Stats se v pravé části zobrazí hodnoty minimální, maximální a průměrné.

i) Dotykem na tlačítko Graph se zobrazí graf, na jehož ose x je čas v sekundách a ose y jsou hodnoty prachových částic;

j) Dotykem na tlačítko Data lze hodnoty uložit pod názvem souboru (Filename), který byl předtím zvolen

k) Vypnutí přístroje se provede tlačítkem, kterým byl zapnut, stiskne se políčko Yes a přístroj se po chvíli vypne.

## 5.6 Místa měření

### 5.6.1 Základní místa měření v zastavěném i nezastavěném území

Vždy se měří kolmo od osy bližšího okraje silnice. Měřicí přístroj s nasazeným příslušným impaktorem  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  se umísťuje přednostně do výšky  $175 \pm 20$  cm nad úroveň povrchu silnice. Pokud takové umístění není možné, nebo pokud jsou požadovány další doplňující výsledky postupuje se podle odstavce 5.6.2 Specifická místa měření.

Mezi silnicí a místem měření nesmí být žádná nadzemní překážka (stavba, keřový porost, stromy), pokud není účelem měření sledování mechanismu odstraňování prachových částic z ovzduší kontaktem s povrchem těchto nadzemních překážek (zjišťování procesu zachycování prachových částic).

### 5.6.2 Specifická místa měření

V místech oboustranně obestavěné silnice se měří přednostně ve vzdálenosti 2 metry od obvodové stěny budovy. Minimální výška měřicího přístroje s nasazeným příslušným impaktorem je 1,5 m.

Pro hodnocení specifických lokálních podmínek na vznik prachových částic a pro realizaci opatření pro jejich snížení je nezbytné měřit zejména v těch situacích, kdy se může měnit celkový obsah prachových částic v ovzduší a lze předpokládat, že nebudou odneseny proudem větru směrem od měřicího zařízení.

#### Specifické lokální podmínky:

- a) kvalita povrchu silnice
- b) rychlost jízdy vozidel
- c) závislost na určité kategorii vozidel
- c) intenzita provozu
- d) úroveň znečištění vozovky (čištěný a nečištěný úsek)
- e) charakter silniční vegetace (stromy, travnatý povrch, vodní hladina)
- f) roční období
- g) meteorologické podmínky při měření a směr větru vůči měřicímu zařízení



h) meteorologické podmínky (zejména déšť a vítr nad 10 m.s<sup>-1</sup>) 5 dnů před měřením

Přesnou polohu měřících míst je vhodné provést záznamem do mapy podle [www.maps.google.cz](http://www.maps.google.cz) tak, aby byla místa jednoznačně určena, popřípadě uvedením polohy pomocí GPS.

## 5.7 Meteorologické podmínky při měření

Meteorologické podmínky musí být kontrolovány průběžně (například v hodinových intervalech) v místě měření a musí být při zahájení měření zapsány. Pokud měření přesáhne jednu hodinu, musí být v hodinových intervalech průběžně zaznamenávány. Meteorologické podmínky po celou dobu měření emisí prachových částic musí vyhovovat těmto omezením:

- rychlost větru musí být nižší než 2 m.s<sup>-1</sup>;
- okolní teplota v úrovni měření musí být v rozmezí +15 až +30°C;
- relativní vlhkost musí být v rozmezí 20 – 45%;
- součin teploty vzduchu (°C) a relativní vlhkosti (%) musí být vyšší než 500;
- měření nesmí probíhat za podmínek teplotní inverze;
- průměrný směr větru musí být v rozsahu ± 60° od spojnice měřícího místa a silnice, která je kolmá na osu silnice;
- měření nesmí probíhat za mlhy;
- při měření a před měřením se nesmí vyskytovat žádné srážky a silnice musí být suchá. Tato podmínka platí i v případě předchozího technického čištění mokrou technologií.

## 5.8 Vyjádření výsledků

Výsledky koncentrace prachu se udávají v mg.m<sup>-3</sup>. Nejistota měření se uvádí v % hodnoty výsledku nebo v jednotce mg.m<sup>-3</sup>. Výsledky se zaokrouhlují na 1 desetinné místo.

### 5.8.1 Statistická kontrola přístroje

O správné a stabilní funkci přístroje na měření hmotnostní koncentrace polévatého prachu v silniční dopravě se lze přesvědčit pomocí vhodného statistického kritéria - zda změřené hodnoty podléhají pouze statistickým fluktuacím,

nebo zda jsou ovlivněny i jinými faktory. Pokud je přístroj správně kalibrován a je ověřeno jeho správné nastavení, nebude vykazovat hrubší chyby měření, avšak mohou se v principu objevovat drobnější odchylky vlivem nestabilit, které se významně neprojevují.

Pro rychlou orientační kontrolu stačí provést dvakrát měření, čímž se získají dvě hodnoty koncentrace prachu v  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$   $N_1$  a  $N_2$ . Pro posouzení, zda rozdíl mezi těmito dvěma hodnotami je ještě v rozmezí statistických fluktuací, lze použít následující kritérium:

Překročí-li rozdíl  $|N_2 - N_1|$  mezi naměřenými hodnotami koncentrace prachu v  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  přibližně tři směrodatné odchylky statistických fluktuací, tj.  $3 \cdot \sqrt{[(N_1^2 + N_2^2)/2]}$ , svědčí to pro podezření na nestabilitu přístroje.

### 5.8.2 Statistické vyhodnocení měření

Měření hodnot koncentrace prachu v  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  je zatíženo určitými chybami a tyto chyby je nutné ve výsledcích měření vyjádřit. K tomu je třeba stanovit směrodatnou odchylku.

Směrodatná odchylka  $\sigma$  (směrodatná odchylka vyjadřuje, jak se hodnoty liší od průměrné hodnoty) jednotlivého měření je dána druhou odmocninou z naměřeného počtu hodnot koncentrace prachu v  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$   $N$ :  $\sigma = \pm \sqrt{N}$ . Znamená to, že při opakovaném měření leží přibližně 68% z celkového počtu naměřených hodnot v intervalu  $(N - \sigma, N + \sigma)$ , 95% hodnot leží v intervalu  $(N - 2\sigma, N + 2\sigma)$  a 99% hodnot v intervalu  $(N - 3\sigma, N + 3\sigma)$ .

Relativní chyba (variační koeficient) měření je pak  $\Delta = \sigma/N = \sqrt{N}/N = 1/\sqrt{N}$ , resp.  $\times 100$ , pro vyjádření v %. Chyba měření je tedy tím nižší, čím vyšší počet hodnot koncentrace prachu v  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  se naměří. To je jediný způsob, jak lze snížit chyby způsobené statistickými fluktuacemi (například změří-li se 10 hodnot, činí chyba  $1/\sqrt{10} \cong 33\%$ , při změřených 100 hodnotách bude chyba  $1/\sqrt{100} = 10\%$ ).

### Výsledná chyba měření

Výsledná chyba měření se obecně skládá z jednotlivých dílčích chyb, které lze rozdělit do tří skupin:

- **Náhodné chyby** statistického charakteru, které u měření hodnot koncentrace prachu v  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  vyplývají především z charakteru vlivu prostředí. Náhodné chyby mohou mít původ i ve specifických lokálních podmínkách, které mají vliv na vznik prachových částic, kdy se může měnit celkový obsah prachových částic v ovzduší.
- **Systematické chyby** zkreslující výsledky měření zcela určitým definovaným způsobem a směrem. Projevují se tak, že se změří buď trvale nižší nebo trvale vyšší hodnoty, než je hodnota skutečná. Příčinou systematické chyby může být vliv meteorologických podmínek nebo chybný výběr základních míst měření.
- **Hrubé chyby** způsobené např. poruchou měřicího přístroje, chybným nastavením přístroje, nebo selháním v důsledku lidského faktoru. Zvýšenou pozorností a pečlivou kontrolou měřicího postupu lze hrubým chybám předejít.

Pokud jednotlivé dílčí chyby mají statistický charakter, je výsledná chyba měření podle zákonitostí matematické statistiky dána jejich geometrickým součtem:  $\sigma = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2)^{1/2}$ .

## 5.9 Období měření

Doporučuje se měřit v měsíci březnu až říjnu. Den před a po měření nemá být dnem pracovního klidu, proto se měří v úterý, ve středu, ve čtvrtek, pokud nejsou stanoveny specifické požadavky pro měření (například měření rekreačního provozu, měření na trase automobilového závodu apod.).

## 5.10 Doba měření a její minimální trvání

Měření se provádí v závislosti na intenzitě provozu a době měření. Doba měření zahrnuje denní a noční dobu. V denní době se měří dopoledne (6,00 až 12,00 hodin) nebo odpoledne (12,00 až 18,00 hodin), v noční době se měří od 22,00 hodin do 4,00 hodin.

Minimální trvání měření se také volí v závislosti na požadavcích na sběr dat. Při měření prachových částic v závislosti na kategorii vozidel se měří od okamžiku průjezdu vozidla kolmou spojnicí osy silnice a místa měření. Měření musí být ukončeno do průjezdu dalšího vozidla.

### **5.11 Dopravní údaje**

Na silnicích se pohybují rozmanité kategorie vozidel (podle legislativy: M, N, L, S, R), takže je vhodné ověřit minimálně vozidla v osobní dopravě (například automobil osobní, skříňový, autobus) a v nákladní dopravě (lehká N1 až těžká N3). Přednost mají kategorie vozidel nejčastěji se na silnicích pohybujících (například: osobní, dodávky, nákladní lehká, nákladní těžká nebo autobusy, traktory, popřípadě lze vytvořit podskupiny - valníky, skříně, sklápěcí automobily, jízdní soupravy - vozidlo + přívěs.

### **5.12 Dopravně - inženýrské údaje**

Doporučuje se měřit na silnici, kterou lze jednoznačně charakterizovat sklonem, druhem, kvalitou povrchu vozovky, způsobem a intenzitou čištění, způsobem vzniku prachových částic (vlivem automobilů – opadávající nečistoty z automobilů, ztráty převáženého materiálu, okolím, jinou pracovní činností – například zemními pracemi na silnici nebo přilehlém okolí, inertním materiálem – písek, štěrk, sůl).

### **5.13 Doplnující údaje**

Prachové částice emitované jedoucimi vozidly je třeba ověřit měřením při shodné (přibližně) rychlosti jízdy vozidel. Mezi impaktorem měřícího přístroje a silnicí nesmí být překážky a povrch mezi místem měření a silnicí musí být přibližně shodný (travnatý, betonový, povrch bez porostu). Vzdálenost místa, kde je umístěn měřící přístroj musí být shodná pro všechna měřená vozidla (ve všech vybraných kategoriích), pokud se bude provádět srovnání mezi kategoriemi vozidel.

## 5.14 Přístroje použité při měření

Přístroj na měření prachových částic (DustTRak 8530, vyr.č. 8530110715), (viz Obrázek 2)



**Obrázek 2 DustTRak 8530**

Zdroj:

[http://www.tsi.com/uploadedImages/Product\\_Information/Images/Large/8530-8531-Desktop-DustTrakII.jpg](http://www.tsi.com/uploadedImages/Product_Information/Images/Large/8530-8531-Desktop-DustTrakII.jpg)

## 6. Měření a vyhodnocení výsledků

Celkem byla provedena dvě desetiminutová měření na vybraných křižovatkách v Českých Budějovicích, zaměřená na porovnání množství polétavých částic při nízké intenzitě dopravy a při vysoké intenzitě dopravy. Vozidla byla rozdělena do tří kategorií: M1+ N1, M2+ M3 a N2+ N3. Komunikace byly v celé šíři znečištěny pouze jemnými prachovými částicemi, které byly rozptýleny v tenké vrstvě do 2 mm a byly spíše volně ložené.

### 6.1 Podmínky při měření

Měření probíhalo 18. 10. 2012 na čtyřech vybraných křižovatkách nedaleko centra města. Podmínky jsou uvedeny v Tabulce 3 a 4. Jako první byla vybrána křižovatka ulic Husova a Na dlouhé louce. Zde byla intenzita dopravy nejvyšší, ale na ostatních křižovatkách byla jen nepatrně nižší. Druhým místem měření byla zvolena křižovatka ulic Plzeňská a Strakonická, třetím Nádražní a Rudolfovská a čtvrtým Mánesova a Boženy Němcové. Křižovatky byly voleny i podle předpokládané vyšší četnosti chodců, tedy lidí, na které by zvýšený výskyt polétavých částic v ovzduší měl negativní vliv.

**Tabulka 3 Podmínky při nízké intenzitě dopravy**

Křižovatka č.	1	2	3	4
Podmínky	Husova/ Na dlouhé louce	Plzeňská/ Strakonická	Nádražní/ Rudolfovská	Mánesova/ Boženy Němcové
Datum	18.10.2012	18.10.2012	18.10.2012	18.10.2012
Čas	10:00-10:30	10:30-11:00	11:00-11:30	11:30-12:00
Počasí	Skoro jasno	Skoro jasno	Skoro jasno	Skoro jasno
Teplota [°C]	15	15	15	16
Vlhkost [%]	86	73	69	77
Rychlost větru [m.s <sup>-1</sup> ]	2,0	1,6	1,2	1,1
Směr větru	Jižní	Jižní	Jihovýchodní	Jihozápadní
PM <sub>10</sub> 1h [mg.m <sup>-3</sup> ]	0,012	0,014	0,015	0,01
Stav vozovky	Suchá	Suchá	Suchá	Suchá

**Tabulka 4 Podmínky při vysoké intenzitě dopravy**

Křižovatka č.	1	2	3	4
Podmínky	Husova/ Na dlouhé louce	Plzeňská/ Strakonická	Nádražní/ Rudolfovská	Mánesova/ Boženy Němcové
Datum	18.10.2012	18.10.2012	18.10.2012	18.10.2012
Čas	15:00-15:30	15:30-16:00	16:00-16:30	16:30-17:00
Počasí	Skoro jasno	Skoro jasno	Skoro jasno	Skoro jasno
Teplota [°C]	16	16	15	14
Vlhkost [%]	83	85	82	87
Rychlost větru [m.s <sup>-1</sup> ]	2,0	1,9	1.5	1,8
Směr větru	Jižní	Jižní	Jihovýchodní	Jihozápadní
PM <sub>10</sub> 1h [mg.m <sup>-3</sup> ]	0,02	0,018	0,019	0,022
Stav vozovky	Suchá	Suchá	Suchá	Suchá

Měření byla porovnávána se stacionární stanicí umístěnou nedaleko Vltavy, v Nerudově ulici (viz Tabulka 5).

**Tabulka 5 Parametry stacionární měřicí stanice**

Adresa lokality	
Český hydrometeorologický ústav Nerudova České Budějovice	
Lokalizace	
Zeměpisné souřadnice:	48° 59' 3.791" sš 14° 27' 56.462" vd
Nadmořská výška:	383 m
Doplňující údaje	
Terén:	rovina, velmi málo zvlněný terén
Krajina:	zelená plocha v intravilánu (park, lesopark)
Kontejner umístěn na travnatém prostranství mezi městskou zástavbou, asi 300m od pravého břehu Vltavy.	

## 6.2 Měřicí místa a intenzita dopravy

Měřicí místo číslo jedna: křižovatka ulic Husova a Na dlouhé louce. Měření probíhalo vzhledem ke směru větru na pravé horní části křižovatky, ve vzdálenosti 10 m od křižovatky, ve výšce 2 m (viz Obrázek 3). Intenzita dopravy byla měřena jednu minutu, a vynásobena deseti, u všech osmi měření (Tabulka 6 – 10).



Obrázek 3 Měřicí místo č. 1

Zdroj: <http://www.mapy.cz>

Intenzita dopravy:

Tabulka 6 Intenzita dopravy (měřicí místo č. 1)

Kategorie vozidel	Nízká intenzita provozu	Vysoká intenzita provozu
M1+N1	430	720
M2+M3	20	40
N2+N3	50	80



Měřicí místo číslo dvě: křižovatka ulic Plzeňská a Strakonická. Měření probíhalo vzhledem ke směru větru u čerpací stanice Agip, opět ve vzdálenosti 10 m od křižovatky ve výšce 1,5 m (viz Obrázek 4).



Obrázek 4 Měřicí místo č. 2

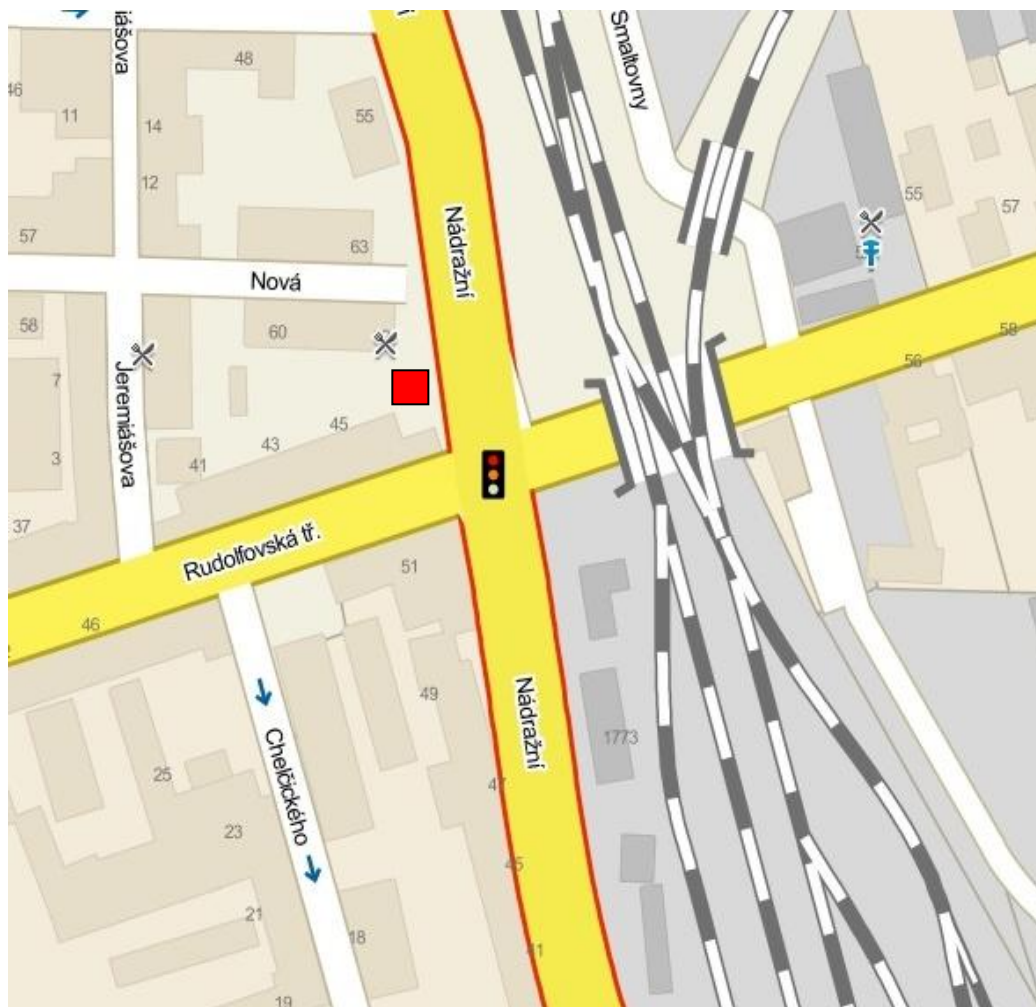
Zdroj: <http://www.mapy.cz>

Intenzita dopravy:

Tabulka 7 Intenzita dopravy (měřicí místo č. 2)

Kategorie vozidel	Nízká intenzita provozu	Vysoká intenzita provozu
M1+N1	310	630
M2+M3	20	30
N2+N3	60	90

Měřicí místo číslo tři: křižovatka ulic Nádražní a Rudolfovská. Měření na této křižovatce nebylo vzhledem k její dispozici a ke směru větru ideální (viz Obrázek 5). Měření probíhalo na zatravněné ploše ve vzdálenosti 6 m od křižovatky v horní levé části ve výšce 1,5 m.



**Obrázek 5 Měřicí místo č. 3**

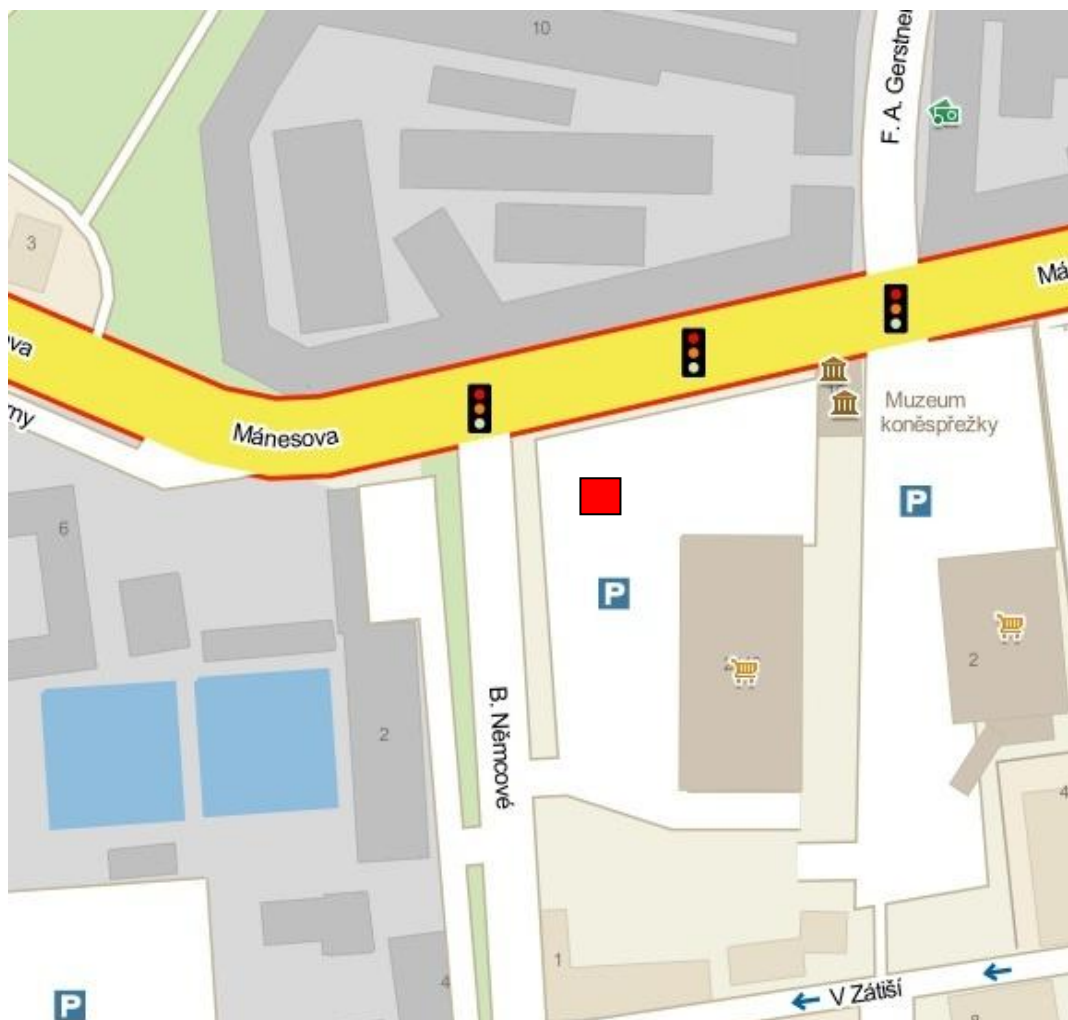
Zdroj: <http://www.mapy.cz>

Intenzita dopravy:

**Tabulka 8 Intenzita dopravy (měřicí místo č. 3)**

Kategorie vozidel	Nízká intenzita provozu	Vysoká intenzita provozu
M1+N1	290	650
M2+M3	20	40
N2+N3	40	80

Měřicí místo číslo čtyři: křižovatka ulic Mánesova a Boženy Němcové.  
Měřicí stanoviště se na této křižovatce nacházelo na parkovišti u obchodního domu Lidl ve vzdálenosti 10 m od křižovatky ve výšce 2 m (viz Obrázek 6).



Obrázek 6 Měřicí místo č. 4

Zdroj: <http://www.mapy.cz>

Intenzita dopravy:

Tabulka 9 Intenzita dopravy (měřicí místo č. 4)

Kategorie vozidel	Nízká intenzita provozu	Vysoká intenzita provozu
M1+N1	490	860
M2+M3	30	50
N2+N3	10	30

### 6.3 Výsledky měření

Výsledky všech osmi měření, včetně průměrných hodnot, jsou uvedeny v tabulce 10, na grafu č. 1, 2 a směrodatná odchylka je v tabulce 11.

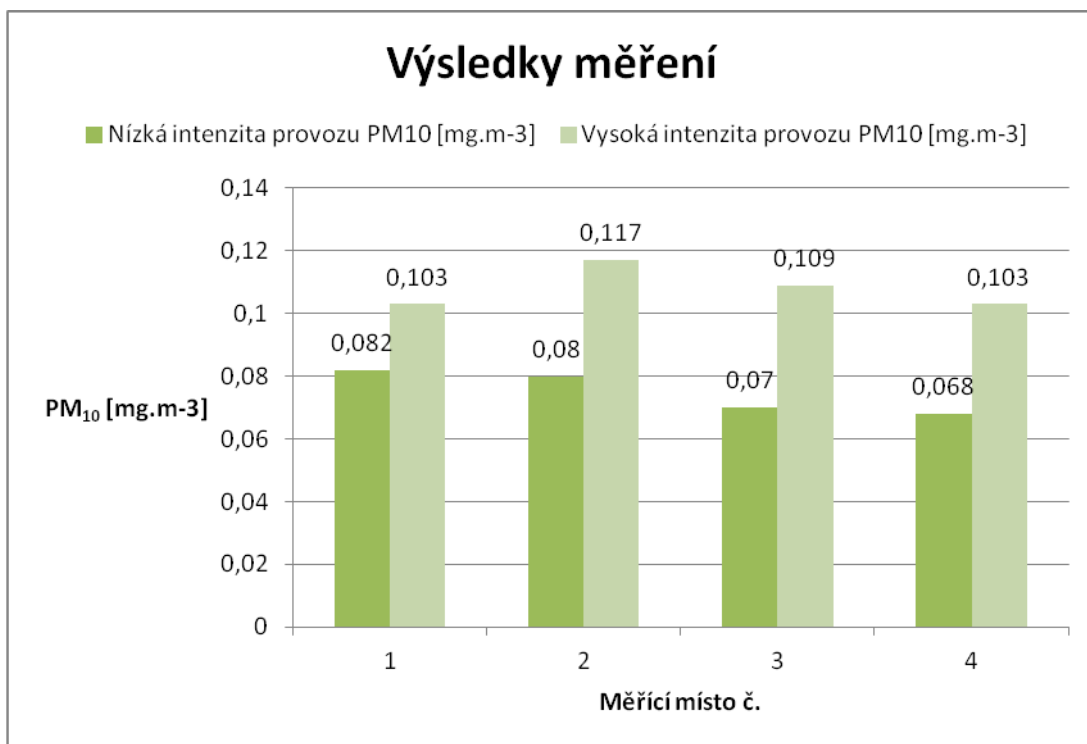
**Tabulka 10 Výsledky měření**

Měřicí místo	Nízká intenzita provozu PM <sub>10</sub> [mg.m <sup>-3</sup> ]	Vysoká intenzita provozu PM <sub>10</sub> [mg.m <sup>-3</sup> ]	Rozdíl [mg.m <sup>-3</sup> ]	Rozdíl [%]
1	0,082	0,103	0,021	26
2	0,080	0,117	0,037	46
3	0,070	0,109	0,039	56
4	0,068	0,103	0,035	51
<b>Průměr měření</b>	<b>0,075</b>	<b>0,108</b>	<b>0,033</b>	<b>44</b>

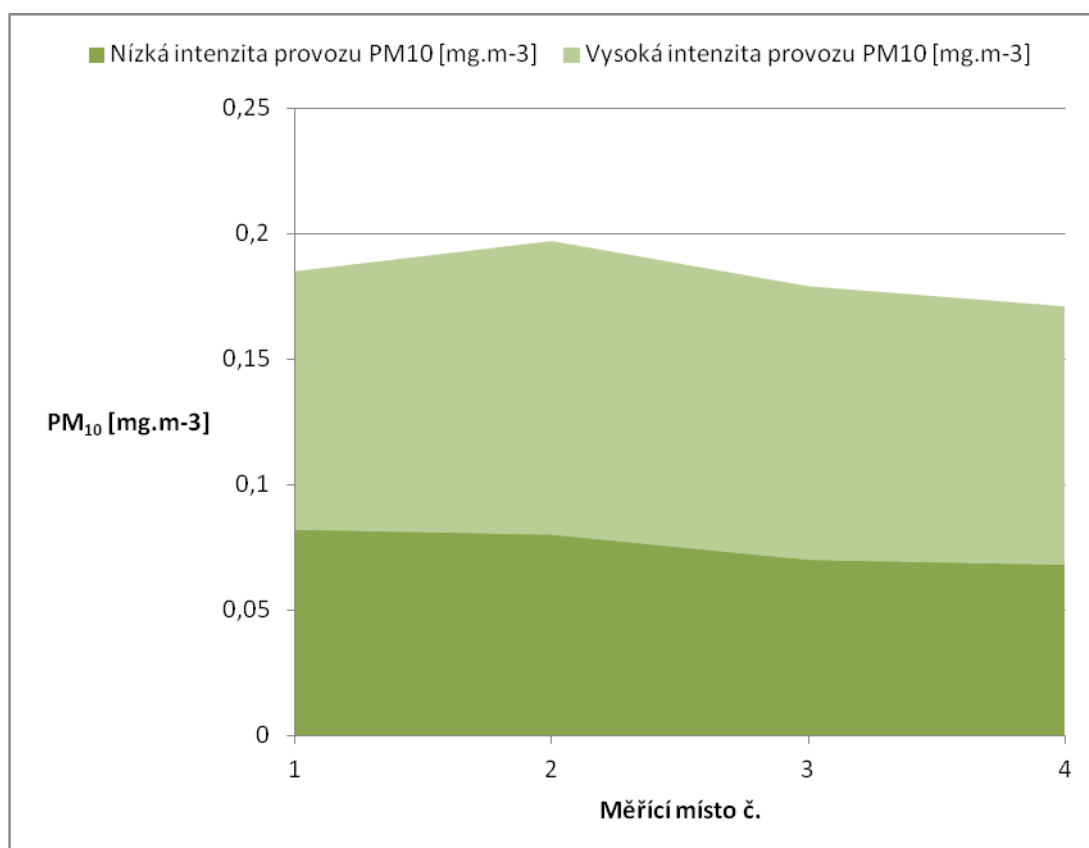
**Tabulka 11 Směrodatná odchylka**

Místo měření	Nízká intenzita $\sigma$	Vysoká intenzita $\sigma$
1	0,015	0,012
2	0,012	0,017
3	0,011	0,027
4	0,004	0,006

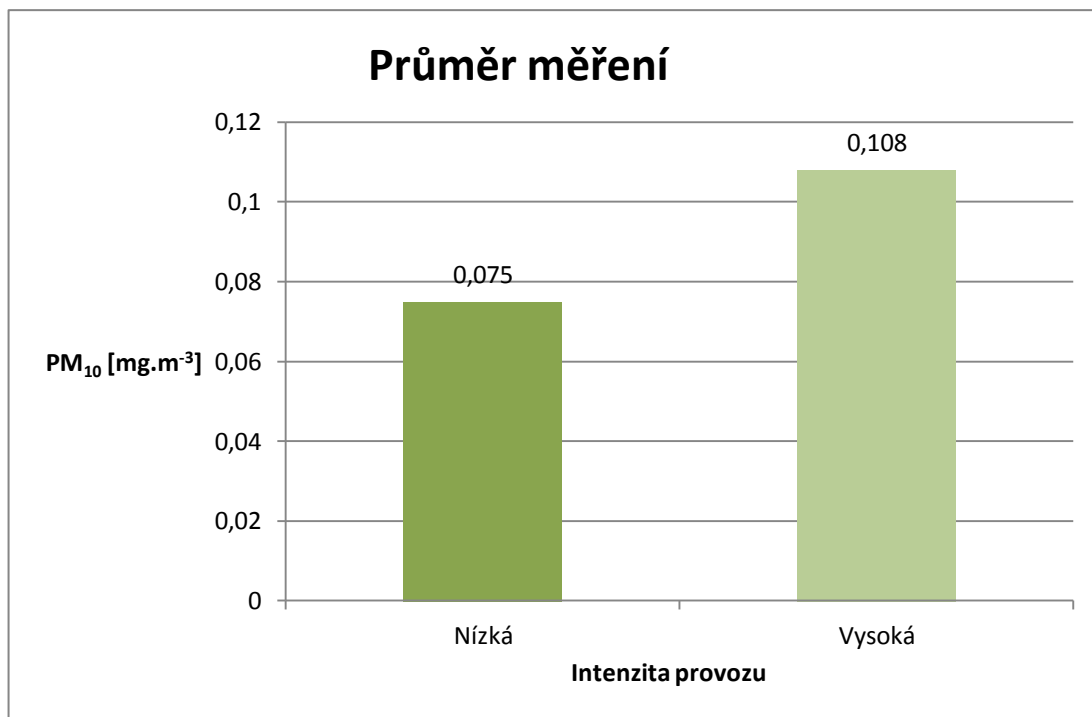
Relativní chyba jednotlivých měření je  $\Delta = 4,1 \%$ . Celková relativní chyba průměru 8 měření je  $\Delta = 1,4 \%$ .



**Graf 1 Výsledky měření**

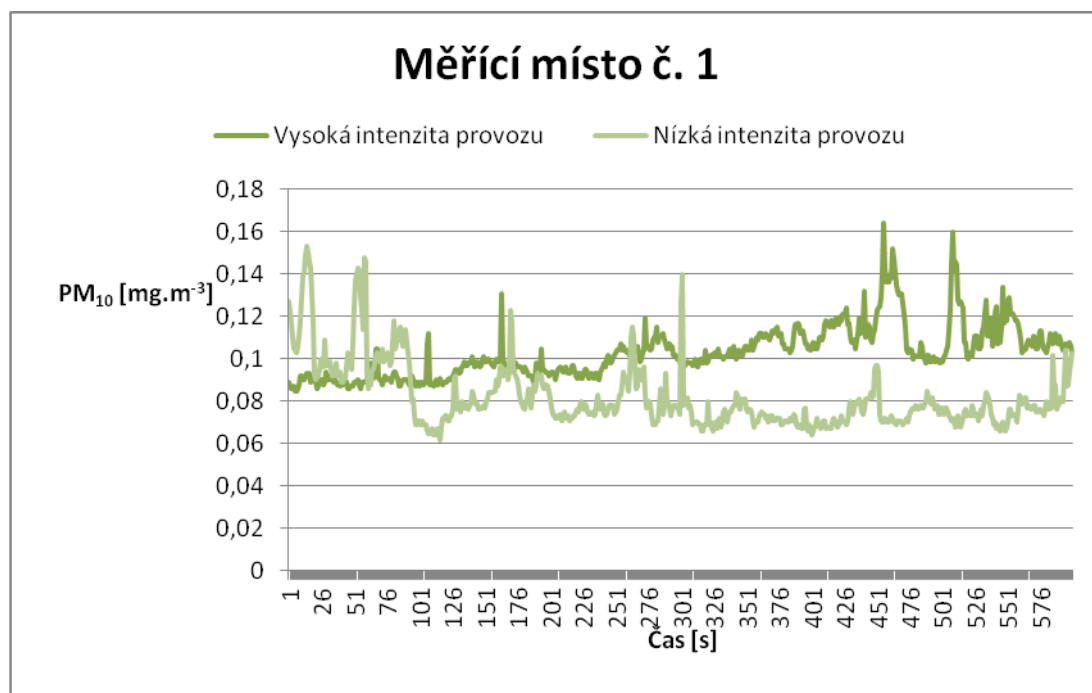


**Graf 2 Prachová zátěž jednotlivých křižovatek**

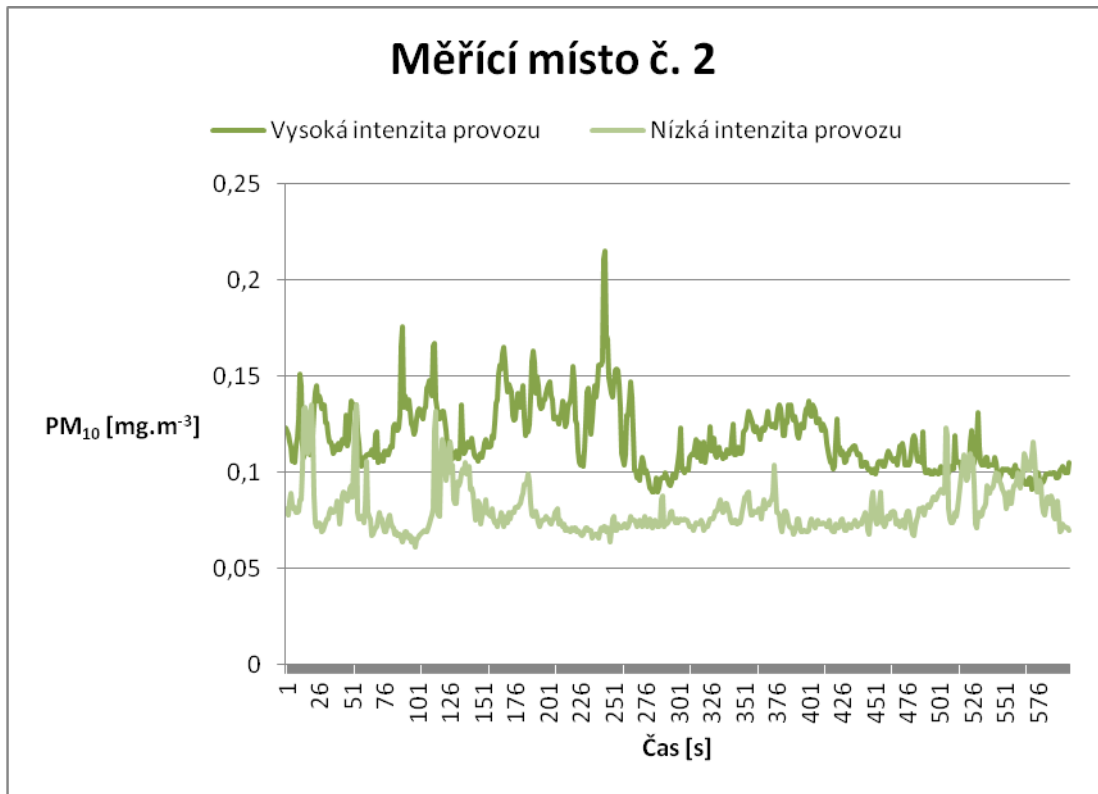


**Graf 3 Průměry měření**

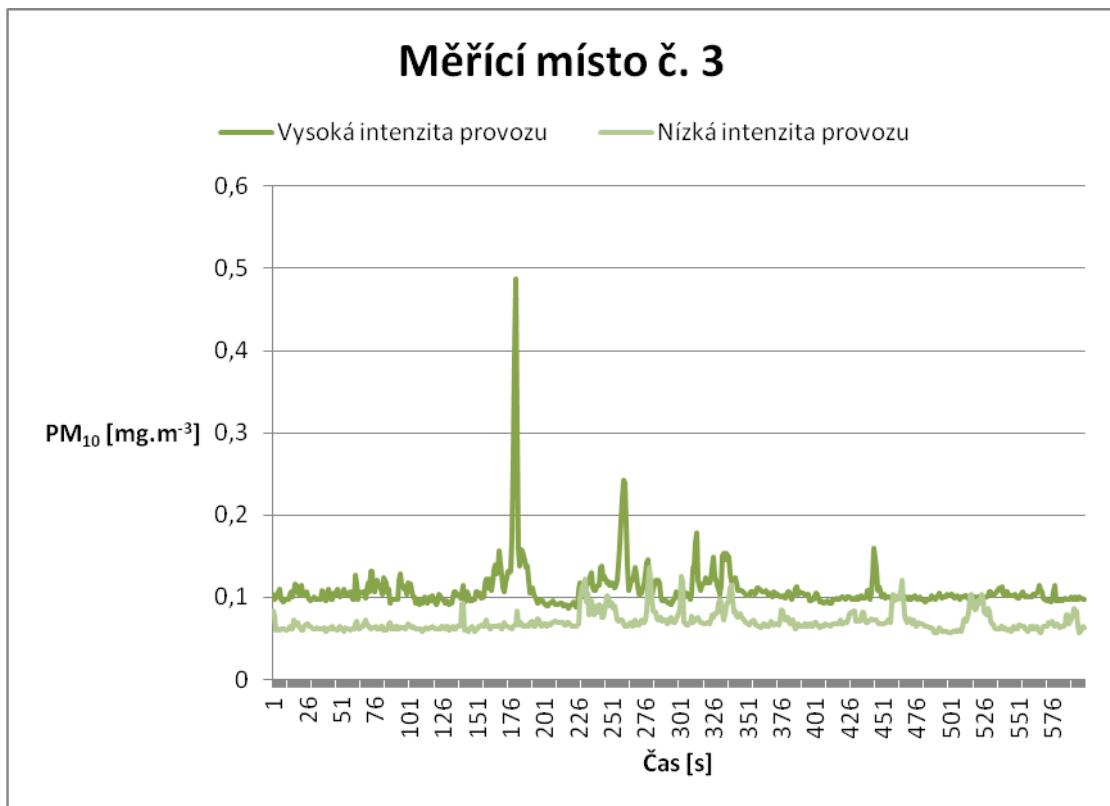
V grafech 3 – 6 jsou zobrazené průběhy všech osmi měření.



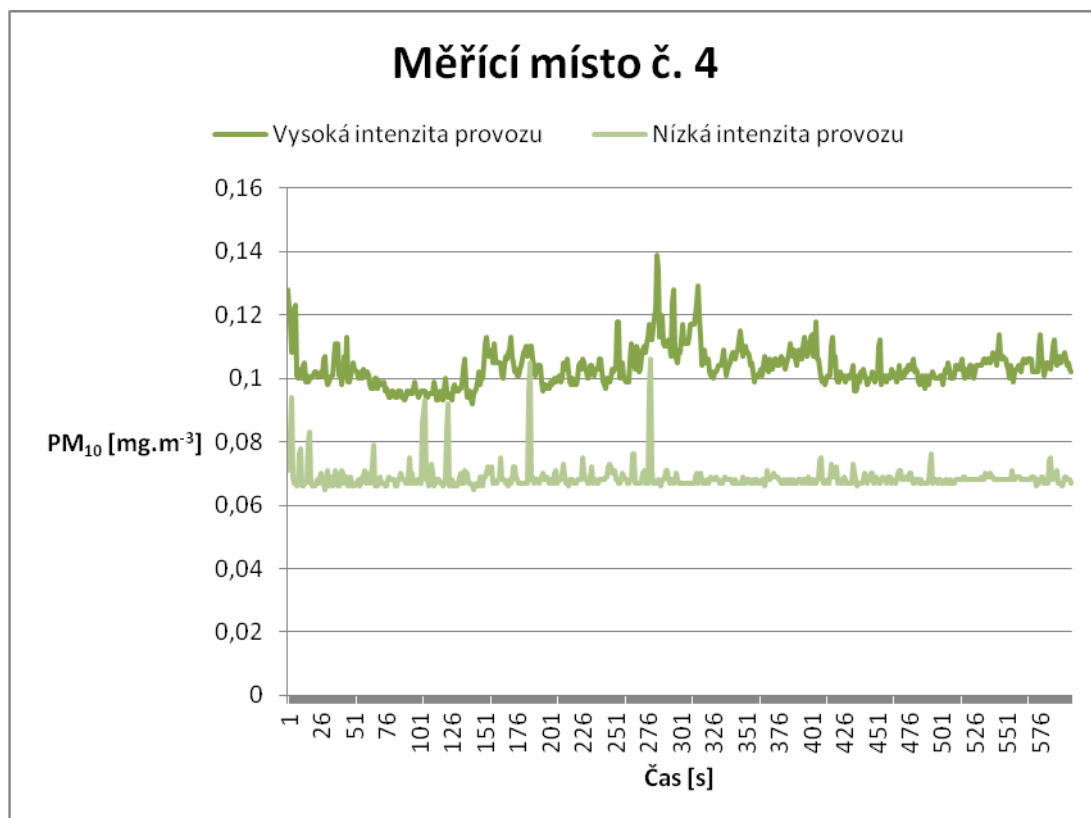
**Graf 4 Křižovatka č. 1**



**Graf 5 Křižovatka č. 2**



**Graf 6 Křižovatka č. 3**



**Graf 7 Křižovatka č. 4**

## 6.4 Vyhodnocení výsledků

Podmínky měření byly velmi příznivé. Povětrnostní podmínky byly v souladu s metodikou, taktéž teplota vyhovovala měření, pouze vlhkost vzduchu byla zvýšená. Naměřené hodnoty koncentrace polévatých prachových částic ovšem i při nízké intenzitě provozu převyšovaly normu, ve které podle Nařízení vlády 597/2006 o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší v Příloze č.1 udává 24 hodinový imisní limit PM<sub>10</sub> na úrovni 0,05 mg·m<sup>-3</sup> po dobu maximálně 35 dní v roce. Průměrná hodnota PM<sub>10</sub> při vyšší intenzitě provozu překračovala tuto normu více než dvojnásobně a při nižší intenzitě provozu překračovala tuto normu přibližně o polovinu, což může mít na lidi v okolí těchto velmi vytížených křižovatek nedaleko centra velice negativní vliv a může přinášet zvýšené riziko onemocnění. Při mém měření byl v okolí těchto křižovatek nezanedbatelný pohyb chodců, kteří byli působení zvýšené koncentrace vystaveni pouze krátkodobě, ale domnívám se, že situace na jiných, i méně frekventovaných křižovatkách bude podobná.

V grafu č. 2 je vidět celkem vyrovnaná bilance koncentrace prachových částic na všech křižovatkách. Dokonce křižovatka č. 2 má nejvyšší průměrné naměřené hodnoty, přitom zde byla intenzita dopravy jako jedna z nejnižších. Proto usuzuji, že četnost průjezdu vozidel má na zvýšenou koncentraci PM<sub>10</sub> vliv v podobě zvíření



minerálních zrn na povrchu vozovky a v jejím okolí, protože prvními dvěma křižovatkami projížděla vozidla rychlostí i  $70 \text{ km.h}^{-1}$ .

V grafu č. 6 a 7 lze vidět na průběhu měření klesající rychlost větru, která zřejmě zapříčinila menší výkyvy hodnot při nižší intenzitě dopravy.

## 7. Závěr

Moje měření ukázalo, že doprava má na prašnost v okolí pozemních komunikací určitý vliv. Pro dokázání konkrétního vlivu by bylo potřeba provádět více měření v různých částech města a za různých meteorologických podmínek. V bezprostředním okolí měřících míst nebyla žádná stavba, se kterou by mohlo znečištění souviset. Já mohu mé výsledky srovnávat pouze se stacionární měřicí stanicí Českého hydrometeorologického ústavu, která je umístěna na odlehlém místě, kde je absence dopravy a kde je většina prachových částic pohlcena okolní zelení.

Navrhuji proto vytvořit kolem komunikací zatravněné plochy, případně zasázat stromy, které by mohly snižovat koncentraci emisí. V zastavěném prostoru se nemohou polétavé částice usazovat a neustále se víří. Dalším řešením by mohlo být omezení rychlosti v úsecích, kde je povolena rychlost  $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . V souvislosti s tímto návrhem ještě doporučuji intenzivnější a častější čištění komunikací. Z vlastního pokusného měření výfukových plynů u osobních automobilů jsem zjistil, že studné motory, a motory se špatným spalováním vytvářejí velké množství emisí, teplé motory, byť i starší konstrukce, vykazují vyhovující množství. Navrhuji lidem, kteří se ve městě dopravují na krátké vzdálenosti, využívat veřejnou hromadnou dopravu. Pěší chůzi, ani jízdu na kole za těchto podmínek nedoporučuji, protože to představuje, vzhledem ke složení polétavých částic, významné zdravotní riziko.

## 8. Seznam literatury

ADAMEC, V a kol.: Acta environmentalica Universitatis Comenianae, Acta environmentalica Universitatis Comenianae (BRATISLAVA) , Vol. 19, Supplement (2011): 14–21 ISSN 1335-0285

Adamec, V. a kol.: Doprava, zdraví a životní prostředí, GRADA, Praha 2008, 160 s.

Celjak, I.: Dopravní a manipulační zařízení, interní učební text pro e-čtečky, ZF, JU v Č.Budějovicích, 2010, 112 s.;

Celjak, I.: Metodika měření hmotnostní koncentrace polévatvého prachu v silniční dopravě, ZF, Jihočeská univerzita v Č.Budějovicích, 2011, 16 s.;

EISLER, J.: Ekonomika dopravních služeb a podnikání v dopravě. 2. vydání. Praha : Oeconomia 2006. 172 s. ISBN 80-245-0772-2.

KŘIVDA, V., RICHTÁŘ, M., OLIVKOVÁ, I.: Silniční doprava I, učební texty, VŠ, 2008, Ostrava.

RODRIGUE, J.-P.: The Geography of Transport Systems. Hofstra University, Department of Economics & Geography, <http://people.hofstra.edu/geotrans>. 2006.

ŘSD-Ředitelství silnic a dálnic, údržba komunikací. [online]. 2012[cit. 2012-03-20].

Dostupné z WWW: <http://www.rsd.cz/Udrzba-komunikac>

SAJDL, J.: Emisní normy EURO. [online]. 2012[cit. 2012-10-10].

Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>

SAP-Sdružení automobilového průmyslu, složení vozového parku, Údaje CRV. [online]. 2012[cit. 2012-03-02]. Dostupné z WWW: <http://www.autosap.cz/sfiles/a1-9.htm>

SHORT, J., KOPP, A. Transport infrastructure: investment and planning. Policy and research aspects. Transport Policy, 2005, vol. 12, no. 4, p. 360-367. ISSN 0967-070X.

ŠUTA, M.: Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví. 1. Brno : Český a Slovenský dopravní klub, 1996. 40 s. ISBN 80-901339-4-0.

ŠUTA, M.: Nízkoemisní zóny – diskriminace smrad'ochů pro čistější ovzduší měst, [respekt.cz](http://respekt.cz), 27. ledna 2009

TIGHT, M. R. – DELLE SITE, P. – MEYER-RÜHLE, O.: Decoupling Transport from Economic Growth: Towards Transport Sustainability in Europe. 2004,

VICKERMAN, R. W.: Transport, communications and European integration. In PINDER, D. (ed) The new Europe: economy, society, and environment. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1998, s. 223-238.

### **Zákony a nařízení:**

Zákon č. 13/1997 sb. o pozemních komunikacích

Zákon č. 56/2001 Sb., ze dne 10. ledna 2001 o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb.,

Zákon č. 201 / 2012 Sb., o ochraně ovzduší,

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví,

Nařízení vlády č. 597/2006 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší

Směrnice EU č. 96/92/ES, v České republice č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší