JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 Zemědělství
Studijní obor: Zemědělská technika: obchod, servis a služby
Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky
Vedoucí katedry: doc. RNDr. Ing. Petr Bartoš, Ph.D.

Bakalářská práce

Hodnocení hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě v závislosti na intenzitě provozu a prostředí

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Celjak Ivo CSc.
Autor bakalářské práce: Novotný Jiří

České Budějovice 2015

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: **2013/2014**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Jiří NOVOTNÝ**
Osobní číslo:	**Z12199**
Studijní program:	**B4131 Zemědělství**
Studijní obor:	**Zemědělská technika: obchod, servis a služby**
Název tématu:	**Hodnocení hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě v závislosti na intenzitě provozu a prostředí**
Zadávající katedra:	**Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:
Cílem práce je získání informací o vlivu hmotnosti a fyzikálním charakteru tuhých znečišťujících látek při pohybu vozidel na dopravních trasách na znečištění ovzduší resuspendovanými prachovými částicemi PM_{10}.

Metodický postup:

1. Rešerše z oblasti sledování úrovně znečištění ovzduší polétavým prachem;
2. Vypracování zásad pro provádění měření koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě;
3. Výběr míst měření na dopravních trasách v závislosti na charakteru znečištění vozovek dopravních tras;
4. Měření hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě v závislosti na znečištění vozovky dopravní trasy;
5. Vypracování souhrnu poznatků na základě naměřených hodnot hmotnostní koncentrace polétavého prachu v závislosti na charakteru znečištění vozovky.

Rozsah grafických prací: **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 polétavého 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;
Nařízení vlády č.24/2003 Sb., o základních požadavcích na ochranu zdraví a bezpečnosti při konstrukci a výrobě strojních zařízení.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivo Celjak, CSc.**
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **14. ledna 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2015**

prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

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

doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 12. března 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s využitím informací z literatury, jejíž seznam je součástí této práce a je uveden v kapitole Seznam citované literatury.

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 elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne …… ……

Jiří Novotný

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Ivo Celjakovi CSc. za jeho ochotu, pomoc, trpělivost a rady při zpracování této práce. Současně děkuji lidem, kteří se stali řidiči měřených automobilů a umožnili mi tak měřit simulovaný provoz.

Abstrakt

Cílem mé bakalářské práce bylo hodnocení hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě v závislosti na intenzitě provozu a prostředí. Měření probíhalo na 1., 2. a 3. třídě silnic. Na každé třídě silnic bylo měřeno jedno až pět vozidel za sebou jedoucích, čímž byla simulována intenzita provozu. Z měření vyplývá, že výskyt polétavých částic na pozemních komunikacích nižších tříd je mnohonásobně vyšší než na silnici 1. třídy. Na výsledné znečištění vozovky má vliv několik faktorů. Hlavní faktory jsou úroveň a charakter znečištění vozovky, intenzita provozu, volba jízdní stopy vozidla a také rozmístění nečistot na ploše vozovky.

Klíčová slova: znečištění, polétavý prach, dopravní komunikace, dopravní prostředek

Abstract

The aim of my bachelor thesis was to assess the weight concentration of airborne dust in road transport in dependence to traffic intensity and environment. The measurement was performed on class 1, 2 and 3 roads. One to five vehicles following one another were measured on each road class, which simulated the traffic intensity. The measurement has shown that occurrence of airborne dust particles is many times higher on lower class roads than on the class 1 road. Several factors affect the resulting carriageway pollution. The road dirt level and character, intensity of traffic, choice of vehicle track as well as dirt location on the road are the main factors

Key words: pollution, airborne dust, road, road vehicle

Obsah

0 Úvod ... 9

1 Charakteristika prašnosti ... 11

2 Látky znečišťující ovzduší ... 12

2.1 Druhy látek znečišťující ovzduší ... 12

2.1.1 Oxid siřičitý (SO_2) ... 12

2.1.2 Oxidy dusíku (NOX) ... 13

2.1.3 Přízemní ozon (O_3) ... 13

2.1.4 Saze ... 14

2.1.5 Oxid uhelnatý (CO) ... 14

2.1.6 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) ... 15

2.1.7 Minerální částice ... 15

2.1.8 Ostatní částice ... 15

2.1.9 Polétavý prach ... 15

2.2 Příčiny vzniku polétavého prachu ... 16

2.3 Emisní limit ... 16

2.4 Imisní limit ... 16

3 Doprava ... 17

3.1 Charakteristika dopravních tras, dopravy a vozidel ... 17

3.2 Rozdělení dopravních tras ... 18

3.2.1 Dálnice ... 18

3.2.2 Silnice ... 18

3.2.3 Místní komunikace ... 18

3.2.4 Účelová komunikace ... 19

3.3 Kategorie vozidel ... 19

3.4 Druhy dopravy ... 22

3.4.1 Silniční doprava ... 22

3.4.2 Železniční doprava ... 22

3.4.3 Vodní doprava ... 23

3.4.4 Letecká doprava ... 23

3.4.5 Cyklistická a pěší doprava ... 23
3.4.6 Multimodální doprava ... 23
4 Dopady na životní prostředí ... 24
4.1 Dopady na lidský organismus ... 24
5 Znečištění ovzduší ... 26
5.1 Celkové znečištění ovzduší ... 26
5.1.1 Lokální znečištění ovzduší ... 26
5.1.2 Regionální znečištění ovzduší ... 26
5.1.3 Globální znečištění ovzduší ... 27
6 Metodika ... 28
6.1 Metodický postup ... 28
6.2 Postup a podmínky měření ... 28
6.3 Použité měřicí přístroje ... 28
6.3.1 DustTRAK 8530 ... 28
6.3.2 Voltcraft VC 4 IN 1 ... 30
6.3.3 Anemometr ... 31
6.3.4 Další použité přístroje ... 31
6.4 Vlastní měření ... 32
7 Diskuze ... 36
8 Závěr ... 37
8.1 Návrh řešení vedoucí ke snížení koncentrace polétavého prachu ... 38
8.1.1 Výsadba zeleně ... 38
8.1.2 Čištění komunikací ... 41
9 Seznam použité literatury ... 42
10 Seznam použitých obrázků ... 44
11 Seznam použitých tabulek ... 44

0 Úvod

Znečištění ovzduší prašnými částicemi patři k jednomu z hlavních problémů kvality životního prostředí České republiky. V dnešní době se na znečištění ovzduší podílí velké množství aspektů zamořující zemskou atmosféru. Hlavní důvodem je neustálý nárůst především automobilové a silniční nákladní dopravy a s tím se zvyšující emisní zátěž. Dalším velmi významným zdrojem prašnosti jsou tepelné elektrárny, které využívají spalování pevných paliv a spalovny komunálního odpadu. Tyto látky vypouštěné do ovzduší a jejich zvýšená přítomnost mají nepříznivé účinky jak na lidské zdraví, tak na životní prostředí jako celek.

V současné době se objevují snahy o omezení škodlivin v ovzduší. Základním zákonem zabezpečujícím ochranu ovzduší v České republice je Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Účelem je ochrana venkovního ovzduší před vnášením znečišťujících látek, omezování příčin a následků znečišťování a zlepšování kvality ovzduší. Jako míra povoleného znečišťování ovzduší se považuje emisní limit, u znečištění imisní nebo depoziční limit.

Cílem této práce je získání informací o vlivu hmotnosti a fyzikálním charakteru tuhých znečišťujících látek při pohybu vozidel na dopravních trasách na znečištění ovzduší resuspendovanými prachovými částicemi v závislosti na intenzitě provozu a prostředí.

Práce obsahuje teoretické informace o dané problematice a praktické zpracování získaných naměřených údajů. Veškerá použitá literatura, ze které jsem vycházel a čerpal informace pro svou práci, je uvedena na konci práce v seznamu použité literatury.

První část práce se zaměřuje na teoretické vymezení základních východisek, která bezprostředně souvisejí s daným tématem. Je zde uvedena charakteristika prašnosti, jednotlivých druhů látek znečišťující životní prostředí, příčiny vzniku polétavého prachu a objasněn pojem emisní a imisní limit. Následně je pozornost věnována charakteristice dopravních tras, dopravy a vozidel, přičemž nechybí možné dopady znečištění ovzduší na životní prostředí a na lidský organismus.

Pro zpracování praktické části byly využity naměřené údaje koncentrace polétavých prachových částic PM_{10} simulovaným provozem jednoho, dvou tří, čtyř a

pěti vozidel za sebou při jednotných rychlostech na předem zvolených místech měření, kterými byly tři různé trasy, přičemž každá z nich představovala jednu ze tří tříd silnic (silnice 1. třídy, 2. třídy a 3. třídy). V závěru práce je zpracováno vyhodnocení jednotlivých naměřených hodnot, diskuze a navržené možné řešení vedoucí ke snížení koncentrace polétavého prachu na vozovkách.

1 Charakteristika prašnosti

Prachové částice se v monitoringu čistoty ovzduší označují písmeny PM, což je zkratka pro anglický výraz „particulate matter“, což je polétavý prach či také prašný aerosol. Čísla za zkratkou PM pak udávají nejvyšší možný aerodynamický průměr částic. PM_{10} jsou částice o průměru menším než 10 mikrometrů, $PM_{2,5}$ mají průměr do 2,5 mikrometru a samozřejmě nejmenší měřené částice jsou značeny číslem 1, jsou tedy menší než 1 mikrometr. Nejedná se o prach, který je viditelný a který se nám usazuje na nábytku, parapetech a římsách, ten je tvořen částicemi většími než 30 μm, které se v běžných podmínkách rychle usazují.

Prachové částice jsou unášeny vzduchem a jejich přírodním zdrojem může být například výbuch sopky, lesní požár nebo větrná bouře. Mezi nejvýznamnější antropogenní zdroje prachu patří spalovací procesy, automobilová doprava, těžba nerostných materiálů, tavení rud a kovů nebo také zemědělská činnost a odnos částic půdy větrem z ploch bez vegetačního pokryvu, například z těžebních ploch a rozsáhlých stavenišť. Čím je částice menší, tím déle zůstává v ovzduší. (13)

Rozlišuje se i tzv. sekundární prašnost, kterou lze naměřit ve městech nebo v okolí znečištěných dopravních tras. Vzniká zvířením prachových částic, které již byly jednou usazeny nebo nějakým způsobem uloženy na zemském povrchu. Ve městech často bývá hlavním zdrojem prachu. Způsobují ji již zmíněné procesy jako doprava, stavební činnost, manipulace se sypkými materiály, často ruku v ruce s prouděním větru, který dokáže přenášet prachové částice i na veliké vzdálenosti.

Prachové částice však neškodí jen mechanickým poškozováním orgánů, do nichž vniknou. Významnou roli hraje také původ částice a její chemické složení. I když je známá velikost, nikdy není jisté, které chemické jedovaté látky jsou na částečky prachu nabaleny a spolu s nimi se dostávají do organizmu, kde způsobují další zdravotní problémy. Mohou to být např. těžké kovy, anorganické soli, sírany, karcinogenní látky i živočišné a rostlinné produkty, spory a pyly, jež jsou původci nejrůznějších onemocnění. Nadměrné vdechování polétavého prachu tak může být příčinou dýchacích problémů, ale i astmatu, plicních chorob, rakoviny plic a řady dalších onemocnění. Rostlinné organizmy poškozuje prach buď toxickým působením látek, které obsahuje, nebo mechanickým zaprášením, čímž snižuje jejich aktivní

plochu důležitou k přijímání i vylučování vody a látek a snižuje tak jejich fotosyntetickou schopnost i dýchání. (7)

Všechny vyjmenované škodliviny se do ovzduší dostávají přičiněním člověka a mají silně negativní vliv na lidské zdraví a útočí zejména na dýchací cesty. Všechny se také podílí na vzniku smogových situací. V tomto úsilí však nejsou samy. (2)

2 Látky znečišťující ovzduší

Jako látky znečišťující ovzduší se označují chemické a jiné látky, které v závislosti na určitém prostředí mají škodlivé účinky na lidské zdraví nebo životní prostředí. Mohou to být látky, které jsou do tohoto prostředí vnesené (primární znečištění), nebo látky, které v něm vznikají, obvykle chemickými reakcemi (sekundární znečištění). Tento pojem se nejčastěji používá v souvislosti se znečištěním ovzduší, nebo znečištěním vody, ale také při kontaminaci půdy či kontaminaci potravin.

2.1 Druhy látek znečišťující ovzduší

V následujících podkapitolách je věnována pozornost jednotlivým druhům látek, které ovzduší znečišťují. Tyto látky se v atmosféře, v porovnání se základními složkami dusíkem a kyslíkem, vyskytují v nepatrných množstvích, přesto mají velmi nepříznivý vliv na zdravotní stav velké části populace.

2.1.1 Oxid siřičitý (SO_2)

Oxid siřičitý je bezbarvý štiplavý plyn, dráždí ke kašli a negativně ovlivňuje funkci plic, způsobuje pálení očí, podporuje záněty průdušek a astma, zejména při dlouhodobém působení účinků na organizmus. Je rozpustný ve vodě a spolu s oxidy dusíku se podílí na tvorbě kyselých dešťů. Oxidy síry v ovzduší, bez ohledu na to, z jakého zdroje pocházejí, reagují s vodou na kyselinu siřičitou, z té pak další oxidací vzniká kyselina sírová, která se vrací na zemský povrch ve formě kyselých dešťů. Velmi toxický je oxid siřičitý pro rostliny, poněvadž reaguje s chlorofylem a tím narušuje fotosyntézu.

2.1.2 Oxidy dusíku (NOX)

Oxidy dusíku označujeme NOX a řadíme mezi ně oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO_2). Oxidy dusíku jsou v současné době jedny z hlavních problémů znečišťování ovzduší. Důvodem je i to, že jsou součástí chemických reakcí vedoucích ke vzniku přízemního ozonu. Zdroji NOX jsou jak stacionární zdroje (vytápění a elektrárny), tak doprava (spalovací motory). Oxidy dusíku vznikají při spalovacích procesech z dusíku obsaženého ve vzduchu. Ve většině případů je emitován do ovzduší oxid dusnatý, který je transformován oxidací na oxid dusičitý. Emise z rozhodujících zdrojů (energetika a doprava) sice klesají nebo zůstávají konstantní, ale u oxidů dusíku panuje největší obava ohledně dodržení národního emisního stropu pro rok 2010 (286 kt/rok). Pro lepší představu – v roce 2005 dosáhly celkové emise NOX hodnoty 288 kt/rok. Největší obavy vzbuzuje rostoucí intenzita silniční dopravy. Emise oxidů dusíku pocházejí ze stacionárních i mobilních zdrojů, nejvýznamnějším antropogenním zdrojem „noxů“ je však doprava, nejen silniční, ale i lodní a letecká. Snaha člověka překonávat jednoduše a rychle ohromné vzdálenosti dala vzniknout i lidské pohodlnosti a možnosti přemísťovat se motorovými prostředky i na vzdálenosti velice krátké, a to velice intenzivně. Instalace třícestných katalyzátorů sice významně zredukovala emise benzinových motorů, nicméně stále stoupá nákladní automobilová doprava a roste množství dieslových motorů i v osobní přepravě. Do spalovacího prostoru motorových dopravních prostředků se dostává dusík ve formě čerstvého vzduchu, a za vysokých teplot a tlaků zde reaguje s kyslíkem a vytváří NO, dalším slučováním NO s kyslíkem pak vzniká NO_2. Oxidy dusíku jsou produkovány rovněž při spalování fosilních paliv. (9)

2.1.3 Přízemní ozon (O_3)

Přízemní ozon patří mezi silně dráždivé látky. Vzniká v ovzduší reakcí uhlovodíků a oxidů dusíku při intenzívním slunečním záření. Je především důsledkem rostoucí automobilové dopravy a spalováním fosilních paliv. Působí hlavně na plicní tkáň a sliznice. Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) se první obtíže objevují již při překročení průměrné hodinové koncentrace 160 $\mu g.m^{-3}$. Při dlouhodobějším vystavením se vyšším koncentracím způsobuje pálení očí a nosu, kašel, bolest hlavy a pocit tlaku na hrudi. V extrémních případech může ozon způsobit předčasnou smrt. Citlivost jednotlivých osob k působení ozonu na jejich

organizmus je ovlivněna např. věkem (rizikové skupiny jsou děti a starší lidé), schopnost snášet vysoké letní teploty, aktuální zdravotní stav, zvýšená fyzická zátěž ve venkovním prostředí nebo astmatické obtíže. Tento typ ozónu je pro lidský organizmus, ale i pro jiné živé organizmy velice nebezpečný, oproti troposférickému ozónu, který se nachází ve výšce 10 – 12 km nad zemským povrchem a vytváří pro Zemi ochrannou vrstvu. Přízemní ozón ničí zejména rostliny a snižuje jejich schopnost absorbovat oxid uhličitý z atmosféry, čímž ztěžuje proces zvaný fotosyntéza. Kvůli tomu zůstává v atmosféře více oxidu uhličitého, místo toho, aby zůstal vázaný v rostlinách. Tento fakt dle některých vědců urychluje klimatické změny. (8)

2.1.4 Saze

Saze jsou tmavý prachový nános nespálených palivových zbytků, obvykle složený hlavně z amorfního uhlíku. Saze vznikají při spalování organický paliv za nedostatečného přístupu vzduchu. Hromadí se v komínech, automobilových výfucích (hlavně u automobilů s vznětovým (dieselovým) motorem) a na dalších površích vystavených kouři. (9)

2.1.5 Oxid uhelnatý (CO)

Vzhledem k jedovatosti je jednou z významných znečišťujících látek. Vzniká při nedokonalém spalování uhlíku a organických látek, je emitován např. automobily, lokálními topeništi, energetickým a metalurgickým průmyslem. Oxid uhelnatý vzniká zejména, pokud je teplota spalování příliš nízká, aby mohlo dojít k úplné oxidaci pohonných látek na oxid uhličitý, nebo čas hoření ve spalovací komoře je příliš krátký či není k dispozici dostatek kyslíku. Díky povinnému zavedení řízených katalyzátorů u vozidel s benzinovými motory se emise oxidu uhelnatého v poslední době snižují. Oxid uhelnatý působí negativně na srdce, cévní a nervový systém. Při nižších koncentracích může zdravý člověk pociťovat únavu, člověk se srdečními problémy bolest na prsou. Při jeho vyšších koncentracích může dojít k poruchám vidění a koordinace, bolestem hlavy, závratím, zmatečnému chování a může být pociťována žaludeční nevolnost. Velmi vysoké koncentrace jsou smrtelné. (8)

2.1.6 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)

Polycyklické aromatické uhlovodíky je skupina látek, do které patří více než 100 sloučenin. Jsou tvořené uhlíkem a vodíkem, dvěma a více benzenovými jádry. Pro svou schopnost, že mohou dlouhodobě přetrvávat v životním prostředí a zdravotní závažnost (projevují toxické, karcinogenní a mutagenní vlastnosti) jsou považovány za typické představitele perzistentních organických polutantů. Mají výraznou schopnost vázat se na pevných sorbentech nebo částicích (prach) i v živých organismech (schopnost bio-akumulace). Významnou vlastností je ovšem schopnost tvořit další sloučeniny, které pak mohou být dokonce mnohem více karcinogenní. (14)

2.1.7 Minerální částice

Tyto částice, které obsahují minerály, vznikají přirozenou antropogenní cestou. Částice s nepravidelným tvarem vznikají v důsledku lidské činnosti, mají geologický původ a podlouhlé částice (partikule). Jsou složeny převážně z vápníku (Ca), hliníku (Al) a křemíku (Si). Též obsahují síru (S) a železo (Fe). U podlouhlých krystalů je významné zastoupení sodíku (Na), draslíku (K) a síranu vápenatého ($CaSO_4$).

2.1.8 Ostatní částice

Tyto částice obsahují spíše lehčí prvky, například dusík a kyslík. Tvar těchto částic je různý. Mohou být kulovité, kubické či nepravidelné. Některé z nich mohou být označovány jako biologické. Takové částice jsou převážně pyly či jiné bakterie.

2.1.9 Polétavý prach

Jde o malé částice různých látek, které jsou tak lehké, že trvá velmi dlouhou dobu, než se usadí na povrchu. Kvůli této vlastnosti se vžil pojem „polétavý prach“. Označuje se jako PM, přičemž rozlišujeme kategorie PM_{10}, $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$, podle velikosti částic. Např. PM_{10} jsou částice do 10 mikrometrů (tj. tisícin milimetru). Čím je částice menší, tím déle zůstává v ovzduší. Částice PM_{10} „poletují“ ve vzduchu několik hodin, $PM_{1,0}$ poletují i několik týdnů, než jsou spláchnuty na povrch deštěm.

Polétavý prach je tvořen většinou sírany, amonnými soli, uhlíkem, některými kovy, dusičnany, případně i těkavými organickými látkami nebo polyaromatickými uhlovodíky. (9)

2.2 Příčiny vzniku polétavého prachu

Polétavý prach v malém množství vzniká přirozeně v přírodě, například při sopečných erupcích nebo lesních požárech. V současné době vzniká ale polétavý prach především jako negativní produkt lidské činnosti. K jeho nadměrnému vytváření dochází především různými spalovacími procesy. (1)

Zdroje produkce polétavého prachu

- nárůst automobilové dopravy
- domácí vytápění nekvalitními tuhými palivy
- spalování odpadů
- tepelné elektrárny
- těžební činnost
- tavení rud a kovů
- odnos částic půdy větrem z ploch bez vegetačního pokryvu

2.3 Emisní limit

Nejvýše přípustné množství znečišťující látky, nebo stanovené skupiny znečišťujících látek, nebo pachových látek vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování ovzduší vyjádřené jako hmotnostní koncentrace znečišťující látky v odpadních plynech, nebo hmotnostní tok znečišťující látky za jednotku času, nebo hmotnost znečišťující látky vztažená na jednotku produkce, nebo lidské činnosti, nebo jako počet pachových jednotek na jednotku objemu, nebo jako počet částic znečišťující látky na jednotku objemu.

2.4 Imisní limit

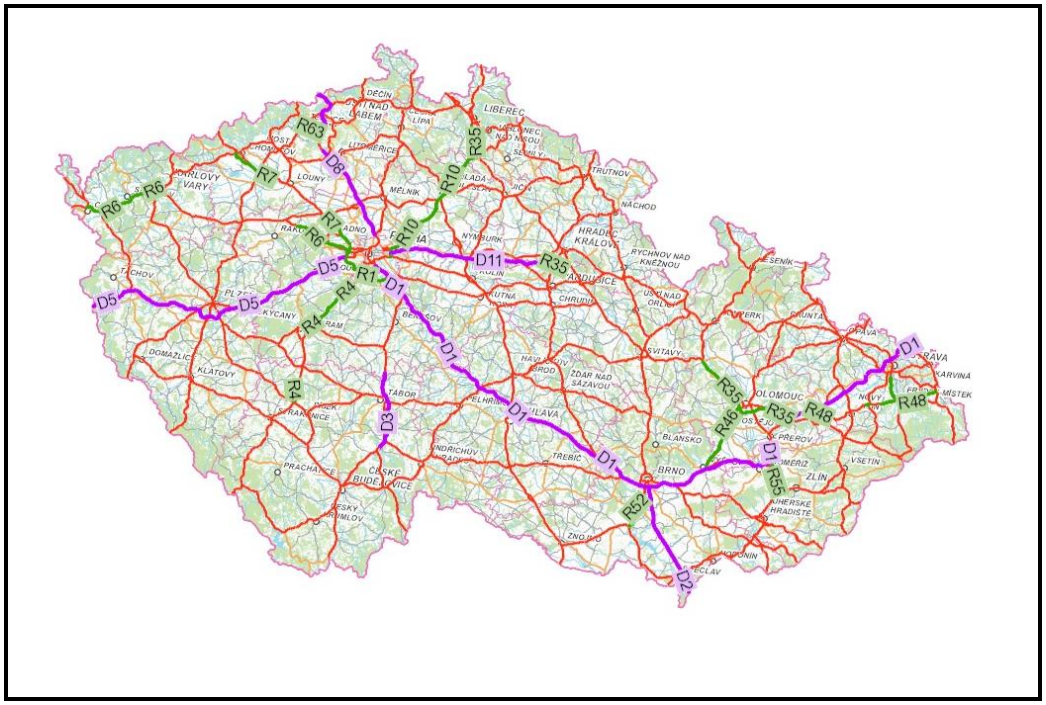
Hodnota nejvýše přípustné úrovně znečištění ovzduší vyjádřená v jednotkách hmotnosti na jednotku objemu při normální teplotě a tlaku. (19)

3 Doprava

Doprava je účelný a zamýšlený pohyb dopravních prostředků po dopravních cestách. V následujících kapitolách se budeme věnovat k charakteristice dopravních tras, rozdělíme si zde způsoby dopravy a kategorie vozidel.

3.1 Charakteristika dopravních tras, dopravy a vozidel

Doprava se vyskytuje v mnoha formách, které lze charakterizovat na základě různých vlastností a potřeb z pohledu dopravní cesty, dopravních prostředků či obslužné dopravní infrastruktury. Existuje mnoho způsobů jak dopravu klasifikovat. Nejvíce používaným je sledovat prostředí v jakém se uskutečňuje. Lze ji také posuzovat podle předmětu přepravy (osobní nebo nákladní), počtu přepravovaných osob (individuální nebo hromadná), frekvence (pravidelná nebo nepravidelná), přepravní vzdálenosti (místní nebo regionální nebo dálková), polohy zdroje a cíle vůči geografickým jednotkám (meziměstská nebo mezinárodní nebo mezikontinentální), územního vztahu zdroje a cíle vůči analyzovanému území (vnitřní – vnější – tranzitní). Na obrázku 1 je znázorněna mapa dopravních tras v České republice. (1)



Obrázek 1 - Mapa dopravních tras v České republice

Zdroj: dopravniinfo.cz

3.2 Rozdělení dopravních tras

3.2.1 Dálnice

Je to pozemní komunikace určená pro rychlou dálkovou a mezistátní dopravu silničními motorovými vozidly, která je budována bezúrovňovými křížením s oddělenými místy napojení pro vjezd a výjezd a která má směrově oddělené jízdní pásy. Dálnice je přístupná pouze silničním motorovým vozidlům, jejichž nejvyšší povolená rychlost není nižší, než stanoví zvláštní předpis.

3.2.2 Silnice

Je veřejně přístupná pozemní komunikace určená k užití silničními a jinými vozidly a chodci. Silnice tvoří silniční síť. Silnice se podle svého určení a dopravního významu rozdělují do těchto tříd:

- Silnice 1. třídy

Je určena především pro dálkovou a mezinárodní dopravu. Může být vystavěna i jako rychlostní silnice pro motorová vozidla, ta je určena pro rychlou dopravu a je přístupná pouze silničním motorovým vozidlům, jejichž nejvyšší povolená rychlost není nižší, než stanový zvláštní předpis (obdobně jako u dálnice).

- Silnice 2. třídy

Je určena převážně pro dopravu mezi okresy.

- Silnice 3. třídy

Je určena k vzájemnému propojení obcí, nebo jejich spojení či napojení na ostatní pozemní komunikace.

3.2.3 Místní komunikace

je veřejně přístupná pozemní komunikace, která slouží převážně místní dopravě na území obce. Místní komunikace se dále rozdělují podle dopravního významu, určení a stavebně technického vybavení do čtyř tříd (místní komunikace 1. – 4. třídy).

3.2.4 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. (15)

3.3 Kategorie vozidel

Kategorie vozidel je podle § 2 odst. 8 zákona č. 56/2001 Sb. skupina vozidel se stejnými technickými podmínkami stanovenými prováděcí vyhláškou k zákonu č. 56/2001 Sb., tj. vyhláškou č. 341/2014, o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. Základními kategoriemi vozidel jsou:

1. **kategorie L** - motorová vozidla zpravidla s méně než čtyřmi koly, tj.:

a) mopedy, a to dvoukolové (LA), mopedy tříkolky nebo lehké čtyřkolky (LB),

b) motocykly, a to dvoukolové (LC) a motocykly s postranním vozíkem (LD),

c) motorové tříkolky nebo čtyřkolky (LE),

d) motokola (LM), tj. jízdní kola s trvale zabudovaným motorem s objemem válců do 50 cm3 a s maximální rychlostí do 25 km/h

2. **kategorie M** - motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu osob, tj.:

a) M1 - vozidla, která mají nejvýše osm míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, nebo víceúčelová vozidla,

b) M2 - vozidla, která mají více než osm míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, a jejichž nejvyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 5 000 kg.

c) M3 - vozidla, která mají více než osm míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, a jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 5 000 kg

3. **kategorie N** - motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu nákladů, tj.:

a) N1 - vozidlo, jehož největší přípustná hmotnost nepřevyšuje 3 500 kg,

b) N2 - vozidlo, jehož největší přípustná hmotnost převyšuje 3 500 kg, avšak nepřevyšuje 12 000 kg,

c) N3 - vozidlo, jehož největší přípustná hmotnost převyšuje 12 000 kg;

4. **kategorie O** - přípojná vozidla:

a) O1 - přípojná vozidla, jejichž největší přípustná hmotnost nepřevyšuje 750 kg,

b) O2 - přípojná vozidla, jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 750 kg, ale nepřevyšuje 3 500 kg,

c) O3 - přípojná vozidla, jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 3 500 kg, ale nepřevyšuje 10 000 kg,

d) O4 - přípojná vozidla, jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 10 000 kg,

e) OT1 - přípojná vozidla traktoru, jejichž největší přípustná hmotnost nepřevyšuje 1 500 kg,

f) OT2 - přípojná vozidla traktoru, jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 1 500 kg, ale nepřevyšuje 3 500 kg,

g) OT3 - přípojná vozidla traktoru, jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 3 500 kg, ale nepřevyšuje 6 000 kg,

h) OT4 - přípojná vozidla traktoru, jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 6 000 kg

5. **kategorie T** - traktory zemědělské nebo lesnické, přičemž kolové traktory se podle počtu náprav, rozchodu, hmotnosti a světlé výšky dělí do kategorií T1 až T4;

6. **kategorie S** - pracovní stroje:

a) Ss - pracovní stroj samojízdný je zvláštní vozidlo s vlastním zdrojem pohonu, konstrukčně a svým vybavením určené pouze pro vykonávání určitých pracovních činností. Pracovní stroj samojízdný není určený zpravidla pro přepravní činnost,

b) Sp - pracovní stroj přípojný je zvláštní vozidlo bez vlastního zdroje pohonu, konstrukčně a svým vybavením určené pouze pro vykonávání určitých pracovních činností. Pracovní stroj přípojný se připojuje k tažnému motorovému vozidlu, které je přizpůsobené pro jeho připojení. Pracovní stroj přípojný není určený zpravidla pro přepravní činnost. Pracovní stroje přípojné se dále dělí na:

- Sp1 - pracovní stroj přípojný s největší technicky přípustnou hmotností nepřevyšující 3 000 kg,

- Sp2 - pracovní stroj přípojný s technicky přípustnou hmotností převyšující 3 000 kg, avšak nepřevyšující 6 000 kg,

- Sp3 - pracovní stroj s technicky přípustnou hmotností převyšující 6 000 kg;

Víceúčelové vozidlo je vozidlo typem karoserie určené k přepravě osob a nákladu v jediném oddělení vozidla. Rozdělení vozidel podle typu karoserie a podmínky pro zařazení víceúčelového vozidla do kategorie vozidel M1 nebo N1 stanoví vyhláška č. 341/2002 Sb.

Při rozhodování o zařazení vozidla do kategorie M a N se považuje za místo k přepravě osob místo pro osobu sedící, ležící, stojící nebo místo s trvalými úchyty ukotvení sedadla, přičemž není rozhodující, zda sedadlo na tomto místě je nebo není umístěno.

Terénní vozidla jsou silniční motorová vozidla se zvýšenou průjezdností, která patří do kategorie M nebo N. V technickém průkazu se označují doplňkovým písmenem G. Vozidlo, které má v technickém průkazu uvedeno označení kategorie např. M1G je tedy osobní automobil v provedení terénní.

Historická vozidla a sportovní vozidla jsou vozidla, která jsou zapsána v registru historických a sportovních vozidel, přičemž historickému vozidlu je vydán průkaz historického vozidla a sportovnímu vozidlu průkaz sportovního vozidla. (18)

3.4 Druhy dopravy

Jednotlivé druhy dopravy se vyznačují souborem výhod a nevýhod, které ovlivňují jejich uplatnění. Doprava je činnost, kdy jakékoliv břemeno záměrně změní svou polohu na zemském povrchu, tj. dojde ke změně souřadnic globálního povrchového systému (GPS).

Dle charakteru dopravní trasy lze dopravu rozdělit:

1) Automobilovou dopravu
2) Kolejovou dopravu
3) Leteckou dopravu
4) Lodní dopravu
5) Prostou vodní dopravu (dané břemeno je unášeno volně vodou)
6) Lanové dráhy
7) Potrubní dopravu
8) Dopravu pomocí dopravníků

3.4.1 Silniční doprava

V současnosti hraje silniční doprava hlavní úlohu v přepravě osob i nákladů, zejména na krátké a středně dlouhé vzdálenosti. Oproti železnici má výhodu ve větší operativnosti a dostupnosti, nevýhodou je nižší stupeň organizace jejího provozu, vyšší negativní vliv na životní prostředí a hlavně nízká bezpečnost samotné dopravy. Přesto silniční dopravě patří rozhodující část přepravního trhu ve většině vyspělých zemí, hlavně v sektoru nákladní dopravy.

3.4.2 Železniční doprava

V případě železniční dopravy se často setkáváme s označením jako drážní doprava, ta zahrnuje do železniční dopravy také tramvajovou a trolejovou dopravu. Z dopravního hlediska je největší předností železniční dopravy rychlost a vysoká kapacita, takže se uplatňuje v osobní dopravě zejména v obsluze oblastí s vysokou hustotou zalidnění a v nákladní dopravě je nejefektivnější v přepravě hmotných substrátů, tedy například zemědělských produktů nebo surovin jako jsou dřevo, uhlí, kámen, železná ruda a stavební hmoty.

3.4.3 Vodní doprava

Plavba byla člověkem využívána už od nepaměti, proto z tohoto pohledu patří k nejstarším druhům dopravy vůbec. Nepotřebovala vybudovat zvláštní infrastrukturu, protože využívala přirozené dopravní cesty, které se staly osou dopravního systému. Ve vnitrozemí to byly řeky a jezera, v pobřežních oblastech moře. Dnes má nenahraditelnou roli v přepravě nákladů, zejména hromadných substrátů jako je železná ruda, uhlí nebo ropa. Z hlediska osobní dopravy zůstává v současnosti již pouze doplňkovou s výjimkou některých zemí třetího světa, slouží převážně jen k rekreačním účelům.

3.4.4 Letecká doprava

Je to vůbec nejmladší druh dopravy, z běžně užívaných, není delší než sto let. Velký rozvoj zasáhlo letectví na konci 50. a začátek 60. let minulého století. Letecká doprava se uplatňuje především v oblasti rychlé přepravy osob na velké vzdálenosti. Velmi špatně se prosazuje v přepravě nákladní, avšak s výjimkou přepravy pošty a malých kusových zásilek. Naproti tomu odlišnosti představují odlehlé regiony Sibiře, rovníkové a subsaharské Afriky a Jižní Ameriky, kde se dostatečné nevyvinul systém pozemních cest a letecká doprava tam tvoří základ dopravního systému.

3.4.5 Cyklistická a pěší doprava

Kolo je velmi vhodným dopravním prostředkem pro dopravu na kratší vzdálenosti (do 5 km) a dá se vhodně kombinovat s jinými druhy dopravy, hlavně dopravou železniční nebo MHD v systémech bike and ride. V některých zemích (Čína, Nizozemsko, Dánsko,…) má cyklistická doprava velký podíl na přepravní práci v místní dopravě. Cyklistická a pěší doprava má pozitivní důsledky na zdraví a fyzickou aktivitu. Má jen malé nároky na spotřebu neobnovitelných zdrojů, neprodukuje emisní zatížení ovzduší ani výrazný hluk.

3.4.6 Multimodální doprava

Základním principem multimodálních přeprav je spolupráce mezi jednotlivými druhy dopravy. Za multimodální se proto považují takové přepravy, které při přepravě k cíli využijí alespoň dva druhy dopravy. To umožňuje využívat pro každou část cesty nejvhodnější způsob dopravy z pohledu dopadů na zdraví a

životní prostředí, tedy ten environmentálně nejšetrnější. Například přeprava zboží na velkou vzdálenost mezi logistickými centry je zajištěna železnicí a lokální distribuce do cílového místa určení silniční dopravou. (1)

4 Dopady na životní prostředí

Z ovzduší se aerosol dostává do ostatních složek životního prostředí pomocí suché, nebo mokré atmosférické depozice. Platí, že čím má částice menší průměr, tím je déle v ovzduší. Částice velikosti 10µm a větší, sedimentují na zemský povrch během několika hodin, zatímco ty nejmenší částice (1µm a menší) mohou v ovzduší polétat i několik týdnů dokud nejsou odstraněny mokrou depozicí.

Pevné částice, které jsou obsaženy v atmosféře, negativně ovlivňují energetickou bilanci Země, protože sluneční záření rozprašují zpět do prostoru. Též ovlivňují podnebí svým účinkem na tvorbu oblaku. Jestliže je při tvorbě oblaku přítomno velké množství pevných částic, výsledný oblak bude tvořen převážně menšími kapkami. Tento výsledný oblak bude odrážet sluneční záření mnohem více, než oblak tvořený většími částicemi.

Jemné a hrubé aerosolové částice mají odlišné složení. Materiál zemské kůry (částice zvětralých hornin, půd, minerálů a prach) a bioaerosol tvoří většinu hmotnosti hrubého aerosolu. Naopak jemný aerosol tvoří převážně sírany, amonné soli, organický a elementární uhlík a některé kovy. Významnou složkou hrubého i jemného aerosolu jsou dusičnany. Prašný aerosol také slouží jako absorpční médium pro těkavé látky.

Na organismy působí aerosol mechanicky zaprášením. U zaprášených listů rostlin se snižuje jejich aktivní plocha, u živočichů se prach dostává do dýchacích cest.

4.1 Dopady na lidský organismus

Dlouhá doba přítomnosti částeček prachu v ovzduší zvyšuje míru vdechování těchto částic. Nebezpečnost polétavého prachu pro zdraví člověka závisí na zdroji a složení prachu. Dýchání sazí z tisíců dieselových motorů automobilů ve městě je kvůli vysokému obsahu rakovinotvorných látek mnohem nebezpečnější, než vdechnutí rozvířených zrníček půdy z pole během procházky přírodou. Dlouhodobé

vystavení vysokým koncentracím polétavého prachu poškozuje dýchací a srdeční ústrojí, zkracuje délku života a zvyšuje kojeneckou úmrtnost. (11)

Nemoci, které způsobuje nadměrné vdechování polétavého prachu

- astma
- plicní choroby
- rakovinu plic
- poškození nenarozených dětí již v prvním měsíci těhotenství
- častější onemocnění dýchacích cest u dětí
- ve vyšším věku zvyšuje počet onemocnění cukrovkou, vysokým krevním tlakem a různými srdečními onemocněními

Dlouhá doba přítomnosti částeček prachu v ovzduší zvyšuje míru vdechování těchto částic. Nebezpečnost polétavého prachu pro zdraví člověka závisí na zdroji a složení prachu. Dýchání sazí z tisíců dieselových motorů automobilů ve městě je kvůli vysokému obsahu rakovinotvorných látek mnohem nebezpečnější, než vdechnutí rozvířených zrn malých průměrů půdy z pole během procházky přírodou.

Částice větší, než 10 mikrometrů, se obvykle zachytí již na nosní sliznici, menší částečky, tedy právě PM_{10}, se usazují dále v průduškách. Při hlubším nádechu pak částice putují do vzdálenějších částí dýchacího ústrojí. Menší částice, $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$, mohou někdy putovat přímo až do plicních sklípků a jsou proto nejnebezpečnější. U nás se zatím ale naneštěstí koncentrace částic $PM_{2,5}$ ani odděleně neměří a nevyhodnocují, i když to doporučuje Světová zdravotnická organizace.

Prachové částice v průduškách a plicích škodí jednak samotným mechanickým zaprášením, stejně jako rostlinám škodí zaprášení listů, mnohem větším problémem je pak obsah jedovatých a rakovinotvorných látek v prachu, například arzenu, kadmia, chromu, niklu, olova nebo manganu.

Dlouhodobé vystavení vysokým koncentracím polétavého prachu poškozuje dýchací a srdeční ústrojí, zkracuje délku života a zvyšuje kojeneckou úmrtnost. (11)

5 Znečištění ovzduší

Znečištění ovzduší je chemický, fyzikální nebo biologický činitel, který mění přírodní vlastnosti zemské atmosféry. Je celosvětovou příčinou řady úmrtí a nemocí dýchacích cest, výskytu rakoviny a srdečních onemocnění. Mezi největší zdroje nečistot v ovzduší patří stacionární zdroje (teplárny, tepelné elektrárny i lokální topeniště v domech) a mobilní zdroje (především automobilová doprava, ale i železniční nebo lodní).

5.1 Celkové znečištění ovzduší

Většina škodlivých látek, která je v ovzduší rozptýlena se nachází ve výšce do 2 km. Při znečišťování ovzduší dochází k vnášení znečišťujících látek do atmosféry, což označujeme jako emise. Důsledek toho je znečištěné ovzduší, kdy jsou kontaminující látky pozměněny reakcemi a rozptýleny, takovýto stav označujeme jako imise. Imise působí škodlivě na zdraví lidí, organismů i majetek. Vyskytují se v přízemní vrstvě atmosféry. Dále se ovzduší dělí na lokální, regionální a globální.

5.1.1 Lokální znečištění ovzduší

Je to znečištění, které se soustředí na určitou lokalitu, nejčastěji o velikosti 1 – 10 km^2. Nejčastěji se jedná o stanovení výše škodlivin ve městech, nebo naopak v oblastech kde jsou zvláštní požadavky na ochranu ovzduší (národní parky, přírodní rezervace, chráněné krajinné oblasti). Výsledky těchto stanovení se porovnávají s imisními limity. V České republice výsledky zpracovává Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), který provozuje síť automatizovaných monitorovacích stanic (AMS). Na těchto monitorovacích stanicích je měřen obsah škodlivých látek v ovzduší, například oxidu siřičitého, oxidů dusíku, oxid uhelnatý a prašný aerosol. V některých vybraných lokalitách je také monitorován obsah ozonu a uhlovodíků v ovzduší.

5.1.2 Regionální znečištění ovzduší

Toto znečištění zaujímá celkovou rozlohu 100 km^2 až 1000 km^2. Stanice na měření regionálního znečištění se budují mimo dosah velkých producentů znečištění

či dle doporučení WHO. Provozovatelem těchto stanic u nás v České republice je opět ČHMÚ.

5.1.3 Globální znečištění ovzduší

Projevuje se především u látek dlouhodobě stálých, které se dostávají do ovzduší v souvislosti s antropogenní činností. Mezi tyto látky řadíme oxid uhličitý, halogen-metany a prachový aerosol. Při dalším hodnocení globálního znečištění musíme být obezřetní, protože některé škodlivé látky jsou v malé míře přirozenou složkou ovzduší. (1)

6 Metodika

6.1 Metodický postup

- Výběr měřených úseků, volba měřeného místa
- Samotné měření a sběr naměřených dat pomocí všech přístrojů
- Vyhodnocení sebraných dat
- Vypracování závěru

6.2 Postup a podmínky měření

Na začátku měření je nutné vybrat měřenou trasu, kde se bude provádět sběr dat. Zvolil jsem tři různé trasy, každá z nich představuje jednu ze tří tříd silnic (silnice 1. třídy, 2. třídy a 3. třídy). Na zvolení měřícího místa na každé trase byl kladen velký důraz, aby naměřené hodnoty vypovídaly o koncentraci prachových částic vzhledem k charakteru trasy. Před měřicím přístrojem nesmí být umístěna žádná překážka, která by negativně ovlivňovala výsledky měření. Přístroj byl umístěn v bezpečné vzdálenosti 5 metrů od krajnice vozovky ve výšce 1 metr nad povrchem vozovky.

Před každým měřením byla provedena kontrola rychlosti a směru větru. To bylo důležité pro sběr dat a jeho průběh. Bylo vybráno období pro měření, kdy se teplota pohybovala v rozmezí 20 – 30 ^{0}C a vlhkost byla 20 – 45%. Rychlost větru při měření nesměla překročit 2m*s^{-1}.

Po splnění všech těchto kritérií bylo provedeno měření. Měření probíhalo na simulovaném provozu, kdy se měřil průjezd jednoho, dvou, tří, čtyř, pěti vozidel za sebou při jednotných rychlostech. Rychlost projíždějících automobilů byla konstantní a to 50 km*h^{-1}. Takovéto měření probíhalo vždy na každé vybrané dopravní trase.

6.3 Použité měřicí přístroje

6.3.1 DustTRAK 8530

Pro měření prašnosti byl použit přístroj DustTRAK 8530 pro měření částic PM_{10}, $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$. Hned po ukončení měření lze naměřené hodnoty odečíst z displeje přístroje, hodnoty se navíc ihned ukládají do interní paměti přístroje.

Přístroj je přenosný a má zabudovanou vnitřní lithiovou baterii, která se musí před každým měřením nabít. Přístroj měří na principu odrazu laserového paprsku od částic v měřící buňce a ihned elektronicky vyhodnocuje výsledky. Rozsah měření daného přístroje je 0,001 – 150 $mg*m^{-3}$. Průtok vzduchu přístrojem je továrně nastaven na 3,0 $l*min^{-1}$ a lze jej v menu měnit. Hmotnost přístroje s jednou baterií je 2 kg. Pro další úkony či měnění nastavení přístroje je součástí balení návod, kde lze každou operaci nastudovat dle pokynů od výrobce. Vzhled přístroje je vidět na obrázku 2. (16)

Obrázek 2 - Přístroj k měření prachových částic DustTrak 8530

Zdroj: www.tsi.com

Ovládání:

- Pro spuštění je nutné zmáčknout tlačítko start
- Po uvedení přístroje do provozu se na jeho displeji objeví obrazovka START UP, následuje ji obrazovka s logem TSI.
- Pomocí prstů lze na LCD stisknout tlačítko Setup, kde lze aktivovat menu.
- V menu je nutné před každým měřením stisknout tlačítko Zero Cal, které provede kalibraci přístroje. Tento fakt je nutné před každým měřením

vždy opakovat. Při kalibraci nuly je nutné mít nasazený nulovací filtr, který je součástí balení.

- Začátek kalibrace se potvrdí stisknutím tlačítka start, po ukončení kalibrace se na obrazovce objeví Zero Cal Complete. Jestliže přístroj ukáže jakýkoliv jiný nápis, kalibrace se nezdařila a vše je nutné opakovat.
- Po ukončení kalibrace je nutné odstranit nulovací filtr. V tento moment má přístroj nakalibrovanou nulu a je připravený k použití.

6.3.2 Voltcraft VC 4 IN 1

Popis: Měřič životního prostředí 4 v 1. Zařízení na měření teploty, vlhkosti vzduchu, zvukové hladiny a osvětlení. Já jsem ho používal pouze pro zjištění teploty a vlhkosti vzduchu. Po stisknutí tlačítka start začne přístroj ihned měřit zvolenou veličinu. Veličiny se dají zvolit posunutím tlačítka na přední straně přístroje. Jak přístroj vypadá je vidět na obrázku 3.

Obsah balení: Čidlo typu K, senzor vlhkosti vzduchu, světla, zvuku (integrovaný), přepravní pouzdro, baterie 9 V

Vlastnosti: Max-Hold funkce, funkce automatického vypnutí, 4 – místný ukazatel na displeji (10)

Obrázek 3- Přístroj k měření životního prostředí Volcraft VC IN 1

Zdroj: www.volcraft.cz

6.3.3 Anemometr

Je to přístroj (Obrázek 4), který používáme k měření rychlosti větru a to v $m*s^{-1}$, $km*h^{-1}$, nebo mílích$*h^{-1}$. Rozsah měření u tohoto přístroje se pohybuje od 0,2 – 30 $m*s^{-1}$. Má automatické odpojení proudu, podsvícený LCD displej a pásek na nošení Přístroj je chráněný proti vodě, je napájený proudem pomocí jedné lithiové baterie 3V typu CR 2032. Jeho Rozměry jsou 98 x 39 x 17 mm a hmotnost 55 g. (17)

Obrázek 4 - Anemometr

Zdroj: merici-pristroje.eu

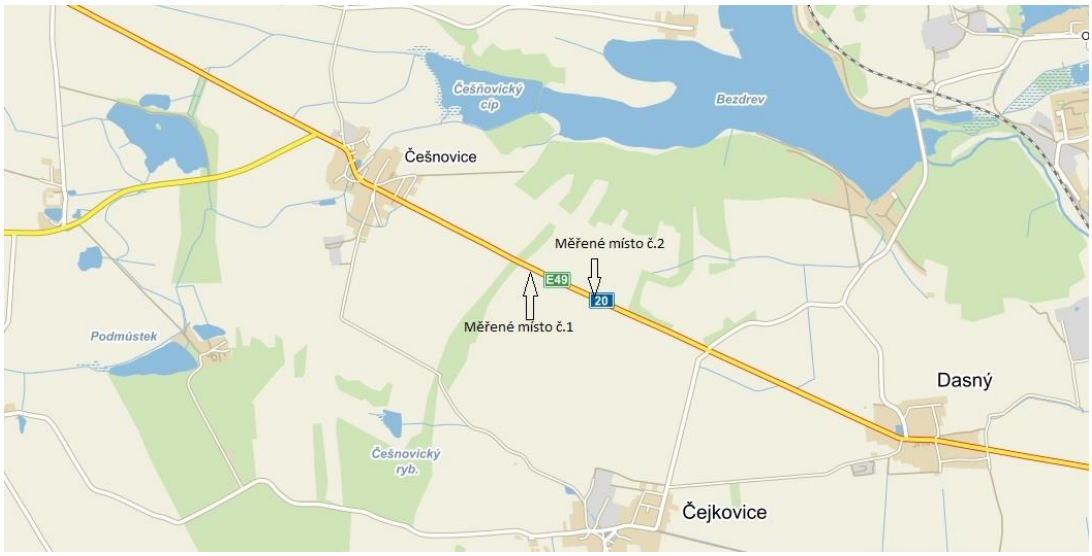
6.3.4 Další použité přístroje

Jelikož měření probíhalo na simulovaném provozu (k simulování provozu jsem se rozhodl z důvodu přesného měření) bylo použito 5 soukromých automobilů (Jeep Grand Cherokee, Citroen Jumper, Škoda Felicia, Ford Mondeo, Dacia Logan). Vozidla byla zvolena následovně z důvodu zastoupení každé skupiny osobních vozidel. Veškeré údaje z měření byly zpracovány v notebooku Dell v programu Microsoft Excel či Microsoft Word.

6.4 Vlastní měření

Měřené místo č. 1

Měřené místo se nachází na silnici číslo 20 (E49) linoucí se krajinou z Českých Budějovic směrem do Písku přesněji řečeno mezi obcemi Češnovice a Dasný. Na této komunikaci projíždějí převážně osobní automobily, autobusy a vozidla nákladní dopravy. Dle optického posouzení lze usoudit, že znečištění na vozovce je minimální, proto ve výsledku hrají velkou roli saze z výfukových plynů automobilů. Povrch vozovky je tvořen asfaltovou směsí s minimálním poškozením, vyjma krajnic, kde poškození může být většího rozsahu. Na obrázku 5 jsou znázorněna měřená místa na této silnici.



Obrázek 5 - Měřená místa na silnici 1. třídy

Zdroj: www.mapy.cz

Číslo silnice	20 (E49)
Teplota	23 ^{0}C
Směr větru	JV > SZ
Vlhkost	40,00%
Rychlost větru	2,0 m*s^{-1}

Tabulka 1 – Průměrné hodnoty koncentrace prachových částic v ovzduší naměřené na silnici 1. třídy po průjezdu rozdílného počtu vozidel (v mg*m-3)

Silnice 1. Třídy	1. měřící úsek		2. měřící úsek		3. měřící úsek	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
1 automobil	0,256	0,312	0,24	0,221	0,123	0,248
2 automobily	0,328	0,409	0,371	0,356	0,372	0,386
3 automobily	0,638	0,723	0,382	0,376	0,423	0,418
4 automobily	0,724	0,777	0,421	0,405	0,512	0,536
5 automobilů	0,648	0,818	0,386	0,412	0,617	0,641

Zdroj: Vlastní zpracování dat

Měřené místo č. 2

Měřené místo se nachází na silnici 2. třídy, která má označení 145. Silnice vedoucí z Češnovic směrem do Netolic je určena především pro osobní automobily, nákladní automobily, autobusy a zřídka kdy na ní lze vidět i vozidla zemědělské techniky. Na této silnici je vidět značnější znečištění, zejména pak na krajnicích leží zbytky štěrku a prachu. Povrch této vozovky je tvořen opět asfaltovou směsí s lehkým poškozením. Na obrázku 6 jsou znázorněna měřená místa na této silnici.

Obrázek 6 - Měřená místa na silnici 2. třídy

Zdroj: www.mapy.cz

Číslo silnice	145
Teplota	21 ^{0}C
Směr větru	JV > SZ
Vlhkost	35,00%
Rychlost větru	1,2 m*s^{-1}

Tabulka 2 – Průměrné hodnoty koncentrace prachových částic v ovzduší naměřené na silnici 2. třídy po průjezdu rozdílného počtu vozidel (v mg*m-3)

Silnice 2. Třídy	1. měřící úsek		2. měřící úsek		3. měřící úsek	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
1 automobil	0,557	0,673	0,423	0,685	0,432	0,683
2 automobily	0,671	0,732	0,587	0,713	0,921	0,876
3 automobily	1,66	1,73	1,14	1,88	1,73	1,86
4 automobily	3,01	3,285	2,863	3,142	3,164	2,854
5 automobilů	3,76	3,582	3,214	3,112	3,632	2,764

Zdroj: Vlastní zpracování dat

Měřené místo č. 3

Měřené místo se nachází na silnici číslo 14544. Tato silnice spojuje obec Břehov se silnicí druhé třídy č. 145. Již dle optického posouzení bylo vidět značné znečištění vozovky, kde leží různé frakce kameniva. Tato komunikace je určena zejména pro osobní automobily, zřídka kdy je pojížděna autobusy. Na této komunikaci je soustředěn velký pojezd zemědělské techniky, kvůli které je na silnici velké množství nečistot. Povrch vozovky je tvořen asfaltovou směsí s mírným poškozením, s výjimkou krajnic, kde díky pojezdu těžké techniky dochází k jejímu rozdrolení. Na obrázku 7 jsou znázorněna měřená místa na této silnici.

Obrázek 7 - Měřená místa na silnici 3. třídy

Zdroj: www.mapy.cz

Číslo silnice	14544
Teplota	22,4 ^{0}C
Směr větru	JV > SZ
Vlhkost	38,00%
Rychlost větru	1,5 m*s^{-1}

Tabulka 3 – Průměrné hodnoty koncentrace prachových částic v ovzduší naměřené na silnici 3. třídy po průjezdu rozdílného počtu vozidel (v mg*m-3)

Silnice 3. Třídy	1. měřící úsek		2. měřící úsek		3. měřící úsek	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
1 automobil	3,773	27,341	3,212	2,863	2,842	3,056
2 automobily	3,881	6,032	4,253	4,835	3,159	3,741
3 automobily	3,982	12,504	4,817	3,428	4,329	5,487
4 automobily	18,5	18,232	5,084	5,232	6,173	5,98
5 automobilů	21,3	22,098	6,021	6,123	7,429	7,011

Zdroj: Vlastní zpracování dat

7 Diskuze

Z téměř všech měření je patrné, že při průjezdu více automobilů za sebou je koncentrace polétavých částic v ovzduší vyšší. Dále je z naměřených hodnot zřejmé, že velkou roli v měření hraje stopa vozidla a velkou míru lze též přisoudit dané třídě silnice, s čímž souvisí úroveň znečištění. Při projetí blíže krajnici je míra poletavého prachu v ovzduší několikanásobně vyšší.

Z tabulky 1 vyplývá, že na silnici 1. třídy je nejmenší množství prachových částic z měřených tříd silnic, je to dáno převážně intenzitou provozu a rychlostmi, kterými vozidla všech kategorií projíždějí po vozovce. Při projetí více automobilů za sebou lze říci, že hodnoty koncentrace poletavých částic v ovzduší stoupají. Tento jev lze vysvětlit tím, že v ovzduší se nachází více prachových částic, které pocházejí ze spalovacích procesů z motorů automobilů.

Z tabulky 2 je patrné, že nejvyšší naměřené hodnoty byly zaznamenány při měření 5 automobilů projíždějících za sebou, přičemž vozidla držela stejnou stopu jízdy. Stopa byla taková, aby bylo možné minutí se s protijedoucím vozidlem. Nejvyšší naměřená hodnota byla 3,76 ($mg*m^{-3}$). Tato hodnota je několikanásobně vyšší, než nejvyšší hodnota naměřená na silnici 1. třídy. Je to z důvodu vyšší přítomnosti prachových částic, které jsou zde zaneseny povětrnostními podmínkami, či pojezdem zemědělské a jiné techniky.

Z tabulky 3 je zřejmé, že na silnici 3. třídy je nejvyšší množství prachových částic, ty jsou zde kvůli vyššímu pojezdu zemědělské techniky a následně menšímu provozu, tudíž nedojde k jejich rozptýlení vlivem rotujících kol projíždějících vozidel. Nejvyšší hodnota, která byla naměřena je 27,341 ($mg*m^{-3}$). Důvod proč je hodnota tak vysoká je, že automobil projel po nezpevněné krajnici, kde kola zvířila velké množství usazených prachových částic, tudíž přístroj byl ovlivněn prachovou stopou zvířených nečistot.

8 Závěr

Ke znečišťování ovzduší resuspendovanými částicemi dochází po celý rok. Intenzita znečištění se liší pouze podle ročního období a podle druhu komunikace kde probíhá následné měření obsahu polétavých částic.

Primárním zdrojem vzniku polétavého prachu z nespalovacích procesů jsou inertní materiály, které jsou používány k ošetření a udržování dopravních tras v zimních měsících. I přes následné čištění komunikací speciálními vozy se na krajnicích silnic objevuje posypový materiál. Dalším velmi významným zdrojem resuspendovaných částic je převážení sypkých materiálů v korbách nákladních automobilů. Je to z důvodů, že ne vždy je nákladový prostor zakryt plachtou nebo deskami. Při následnému pojezdu takovýchto souprav dochází k turbulencím na převáženém materiálu a ten je unášen vlivem větru na komunikaci. Toto se děje především na silnicích 1. a 2. třídy. Na těchto komunikacích dochází také k sedimentaci částic prachu vlivem zvýšené rychlosti větru, který na okolních zemědělských pozemcích do sebe vznese velké množství částic malých průměrů. Na silnicích 3. třídy dochází ke zvýšenému výskytu částic převážně z důvodu pojezdu zemědělské techniky, obzvláště v období sklizňových prací na zemědělských pozemcích. Velmi velké znečištění je vždy soustředěno k výjezdům ze zemědělských pozemků na komunikaci. Dochází tedy k odnášení zemědělské půdy na pneumatikách strojů na komunikace a také dochází k opadu půdy z podvozkových částí. Určitou část tvoří také sedimentující horniny, které na vozovku proudí vlivem vodní eroze a nesprávným odvodem vody z povrchu vozovek do svodných příkopů.

Zde po vysušení dojde k rozmělnění na částice malých průměrů. Při následném projetí vozidel přes tyto usazené částice dochází k jejich zvíření vlivem rotujících pojezdových kol. Často se také setkáváme s tímto problémem ve městech, kde vlivem stavební činnosti dojde k zanesení dopravních komunikací. Je velmi důležité těmto situacím zamezit a donutit stavební firmy k provedení zabezpečení staveniště tak, aby nedocházelo k vynášení velkého množství půdy na pneumatikách stavební techniky. Z těchto důvodů je velmi důležité odstraňovat vždy znečištění vozovky ihned po jeho vzniku, nejlépe však udělat taková opatření, aby se jeho výskyt eliminoval na minimum. Na obrázku 8 je tento jev dobře patrný.

Obrázek 8 - Příklad znečištění vozovky

Zdroj: mpmb.cz

8.1 Návrh řešení vedoucí ke snížení koncentrace polétavého prachu

8.1.1 Výsadba zeleně

Výsadba zeleně má velký význam pro omezování prašnosti. Zeleň působí jako tzv. vegetační kryt, který zachycuje prachové částice, které jsou již rozptýleny v ovzduší. Zeleň tak také omezuje jejich zvíření. Místa kde jsou soustředěny významné zdroje prašnosti například parkoviště, skládky, silnice, lomy, nebo stavební zařízení jako jsou například obalovny, či sklady sypkých stavebních materiálů je nutné ohradit zelení, která výrazně zamezí vzniku a šíření prašnosti.

Izolační zeleň

Samotná výsadba izolační zeleně zahrnuje výsadbu v blízkosti hlavních zdrojů prašnosti, tj. podél hlavních komunikací, v blízkosti obytných zón či budov zajišťující sociální zázemí (nemocnice, školy, úřady). Dále je nutné opatřit izolační zelení okolí, kde probíhá prašný provoz (skládky, lomy, obalovny apod.) a v okolí průmyslových provozů. Jak taková izolační zeleň vypadá je vidět na obrázku 9.

Obrázek 9 - Výsadba izolační zeleně

Zdroj: nadacecez.cz

Pro nejvyšší omezení prašnosti je nutné porost členit a to jak hloubkově tak i výškově. Je důležité vysadit porost ze smíšených dřevin (stromy a keře). Lze aplikovat i jinou formu, než jen výsadbu samostatně stojících dřevin. Velmi v oblibě je také systém popínavých rostlin, který se hojně využívá na protihlukových stěnách. Z hlediska životnosti dřevin je nutné volit druhy k tomu určené, které mají vysokou odolnost vůči městskému prostředí, výfukovým plynům automobilů a zároveň prokazují vysokou schopnost zachycovat prašnost. Jednotlivé druhy dřevin se liší vývojem listové biomasy, která určuje schopnost pohlcovat prachové částice.

Ochranné větrolamy

Primárně by tyto větrolamy měly být vysazeny podél silničních cest. Poskytují především ochranu proti větrné erozi do vzdálenosti deseti až dvacetinásobku své výšky v závislosti na orientaci vůči převládajícímu směru větru. Důležitá je také jeho ekologická funkce. Z lesnického hlediska větrolamy nepředstavují nijak hodnotné lesní porosty, obzvláště pak co se kvality dřeva týče. Roste zde však velký počet druhů měkkých i tvrdých lesních dřevin, které jsou různě odolné vůči klimatickým jevům. Dále větrolamy nabízejí místo k zabydlení ptáků,

kteří při hledání potravy snižují počty škůdců na zemědělských plochách (loví hlodavce a část škodlivého hmyzu). Vzhled větrolamu je vidět na obrázku 10.

Obrázek 10 – Větrolamy

Zdroj: www.seeddaily.com

Nejvhodnější druh větrolamu je tzv. větrolam polopropustný, skrze který může vzduch částečně procházet. Větrolamy nemusí být nutně rovný. Délka musí být 10x větší než je jeho výška z důvodu turbulencí, které vznikají na stranách větrolamu.

Mycí rampy kol

Nákladní vozidla, která vyjíždějí ze staveništ, štěrkoven či skládek na hlavní komunikace, mohou na svých pneumatikách zachytit až sedm kilogramů nečistot. Větší množství nákladních automobilů za den přemění vozovku v potenciální zdroj nebezpečí pro všechny účastníky silničního provozu. Tomu lze zabránit myčkami kol. Mycí rampy se vyrábějí jak mobilní tak stacionární, které se hodí například pro pevné umístění do provozu pískoven, štěrkoven atd. Mobilní mycí rampy se dají použít na staveništích, kde lze v závislosti průběhu stavby měnit jejich místo používání. Příklad mobilní mycí rampy je vidět na obrázku 11.

Obrázek 11 - Mycí rampy podvozků a kol pro automobily

Zdroj: stavební-technika.cz

8.1.2 Čištění komunikací

Čištění komunikací je důležité hlavně v obytných zónách, centrech měst a jejich okolí. Čištění pomocí strojních zařízení využívá toho, že stroj působí fyzikálně i chemicky na znečištěný povrch. Pomocí vhodného pracovního adaptéru odstraňuje z povrchu nečistoty, které se zde nacházejí. Druh nasazeného čistícího zařízení je závislý na požadované kvalitě čištěného povrchu a na velikostech sbíraných prachových částic. Příklad čištění komunikací je vidět na obrázku 12.

Obrázek 12 - Nákladní automobil s nástavbou a zařízením pro čištění komunikací

Zdroj: psas.cz

9 Seznam použité literatury

(1) Adamec, V. a kol.: Doprava, zdraví a životní prostředí. GRADA, Praha 2008

(2) Air quality guidelines for europe (Regionální publikace WHO, Evropská řada č. 23), (1987)

(3) Assessing Agroforestry's Advantages (2011) [online, cit. 2015-03-19], Dostupné z WWW:http://www.seeddaily.com/reports/Assessing_Agroforestry_Advantages_999.html

(4) Celjak, I.: Dopravní a manipulační zařízení. Interní učební text pro e-čtečky, ZF, JU v Č. Budějovicích, 2010

(5) Celjak, I.: Metodika měření hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě. ZF, JU v Č. Budějovicích, 2011

(6) Čištění a úklid venkovních ploch (2014) [online, cit. 2015-03-20] Dostupné z WWW: http://www.psas.cz/index.cfm/sluzby-firmam/odpady/komplexni-odpadove-hospodarstvi/c48cic5a1tc49bni-a-uklid-venkovnich-ploch-dlac5bedic48dske-prace-c5beivic48dne-prace-udrc5beba-zelenc49b/

(7) ČSN ISO 7708 Kvalita ovzduší – definice velikostních frakcí částic pro odběr vzorků k hodnocení zdravotních rizik, ČNI Praha 1998

(8) Látky znečišťující ovzduší (2010) [online, cit. 2014-12-10], Dostupné z WWW: http://www.cistenebe.cz/slovnicek-pojmu/223-prizemni-ozon-o3

(9) Látky znečišťující ovzduší (2013) [online, cit. 2014-12-10], Dostupné z WWW: http://www.ecmost.cz/clanky.php?page=znecistujici_latky

(10) Měřič životního prostředí 4 v 1 (2013) [online, cit. 2015-02-14], Dostupné z WWW: http://www.voltcraft.cz/meric-zivotniho-prostredi-4-v-1.k101040?icc=Search&icn=101040

(11) Miroslav Šuta: Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví. ZO ČSOP Veronica, 2010

(12) Myčky pneumatik pro nákladní automobily (2008) [online, cit. 2015-03-20], Dostupné z WWW: http://stavebni-technika.cz/clanky/mycky-pneumatik-pro-nakladni-vozidla

(13) Polétavý prach (PM10), (2012) [online, cit. 2014-11-22] Dostupné z WWW: http://www.irz.cz/node/85

(14) Polycyklické aromatické uhlovodíky (2013) [online, cit. 2015-01-18], Dostupné z WWW: http://arnika.org/polycyklicke-aromaticke-uhlovodiky-pahs

(15) Pozemní komunikace a jejich rozdělení (2012) [online, cit. 2014-12-20], Dostupné z WWW: http://www.rsd.cz/udrzba-komunikaci/rozdeleni-komunikaci-a-sprava

(16) TSI Aerosol monitor DustTrak 8530 (2014) [online, cit. 2015-02-13], Dostupné z WWW: http://tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Manuals/8530-8531-8532-DustTrak_II-6001893-web.pdf

(17) Větroměr ruční anemometr (2015) [online, cit. 2015-02-26], Dostupné z WWW: http://www.eshop-zemedelske-potreby.cz/vetromer-rucni-anemometr-agrotop/d-75415/

(18) Zákon č. 56/2001 Sb., § 2 odst. 8 zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích

(19) Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší § 4 [online, cit. 2015-01-25], Dostupné z WWW: http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/9f4906381b38f7f6c1257a94002ec4a0?OpenDocument

(20) Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích

10 Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 - Přístroj k měření prachových částic DustTrak 8530 29
Obrázek 2- Přístroj k měření životního prostředí Volcraft VC IN 1 30
Obrázek 3 - Anemometr 31
Obrázek 4 - Příklad znečištění vozovky 38
Obrázek 5 - Výsadba izolační zeleně 39
Obrázek 6 - Větrolamy 40
Obrázek 7 - Mycí rampy podvozků a kol pro automobily 41
Obrázek 8 - Nákladní automobil s nástavbou a zařízením pro čištění komunikací ... 41

11 Seznam použitých tabulek

Tabulka 1 – Průměrné hodnoty koncentrace prachových částic v ovzduší naměřené na silnici 1. třídy po průjezdu rozdílného počtu vozidel (v $mg*m^{-3}$) 33

Tabulka 2 – Průměrné hodnoty koncentrace prachových částic v ovzduší naměřené na silnici 2. třídy po průjezdu rozdílného počtu vozidel (v $mg*m^{-3}$) 34

Tabulka 3 – Průměrné hodnoty koncentrace prachových částic v ovzduší naměřené na silnici 3. třídy po průjezdu rozdílného počtu vozidel (v $mg*m^{-3}$) 35