

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zemědělská fakulta

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Zemědělská technika: obchod, servis a služby

Katedra: Zemědělská dopravní a manipulační technika

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Hodnocení hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě v  
závislosti na rychlosti jízdy vozidel**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ivo Celjak, CSc.

Autor bakalářské práce: Píšek David

České Budějovice, duben 2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: David PÍŠEK  
Osobní číslo: Z12202  
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 rychlosti jízdy vozidel  
Zadávací katedra: Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

### Zásady pro vypracování:

#### Cíl práce:

Cílem práce je získání informací o vlivu pohybu vozidel rozdílných kategorií v silniční dopravě na znečištění ovzduší resuspendovanými prachovými částicemi PM<sub>10</sub> a získání objektivních informací o skutečném vlivu rychlosti jízdy vozidel v silniční dopravě na znečištění ovzduší emisemi z nespalovacích procesů.

#### 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 kategorii vozidel pohybujících se na dopravní trase a na charakteru znečištění vozovek dopravních tras;
4. Měření hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě v závislosti na rychlosti jízdy dopravních zařízení a v závislosti na znečištění vozovky dopravní trasy;
5. Vypracování souhrnu poznatků na základě naměřených hodnot hmotnostní koncentrace polétavého prachu v závislosti na rychlosti jízdy dopravních zařízení a v závislosti na znečištění vozovky dopravní trasy.

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 polévatého 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;

Berkowicz, R., Winter, M.: Traffic pollution modelling and emission data, Atmospheric Environment, Vol. 21, Issue 4, April 2006, pages 454-460;


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 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2015

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

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

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

V Českých Budějovicích dne 10. 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 16. 4. 2015

.....

(jméno a příjmení)

## **Poděkování**

Touto cestou bych velmi rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Ivo Celjakovi, CSc. za cenné a užitečné rady, obětavost, ochotu, trpělivost a pomoc při zpracování této práce.

## **Abstrakt:**

Tato bakalářská práce se zabývá hodnocením hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě v závislosti na rychlosti jízdy vozidel. Z počátku je zde popsán polétavý prach, jeho typy, frakce a dopady na život člověka a životní prostředí. Dále se práce věnuje opatřením proti prašnosti, vlivům a dopadům dopravy na životní prostředí a s tím úzce spjatými evropskými emisními limity EURO. Součástí práce je také popis přístroje na měření DustTRAK II 8530 a jednotlivých měření prašnosti o velikosti frakce 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) při pohybu dvou vozidel s odlišnou hmotností na zvolených dopravních trasách. Naměřené hodnoty a jejich rozbor dokazují, že na velikost koncentrace prachových částic v ovzduší má vliv několik faktorů. Hlavními faktory jsou úroveň a charakter znečištění a typ dopravní trasy, intenzita provozu, rychlost projíždějících vozidel, zvolená stopa projetí vozidla v dopravním pruhu a rozmístění nečistot na vozovce.

**Klíčová slova:** polétavý prach; životní prostředí; DustTRAK II 8530;  $\text{PM}_{10}$ ; dopravní trasa; znečištěné ovzduší

## **Abstract:**

This thesis focuses on an evaluation of the mass concentration of airborne dust in road transport in relation to the speed of the vehicles. Initially described are airborne dust, its types, fractions and impacts on humans and living environment. Furthermore, the work devotes itself to the measures taken against dustiness, the effects and impacts of transport on living environment and the closely related EURO European emission limits. Part of the work also includes a description of the DustTRAK II 8530 measuring device and individual measurements of dustiness of fraction size 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) during the movement of two vehicles of different weights on selected transport routes. The values measured and their analysis show

that the size of the dust matter concentration in the atmosphere is affected by several factors. The main factors are the level and nature of pollution and the type of transport routes, the intensity of traffic, the speed of passing vehicles, the chosen track of passing vehicles in the traffic lane and the distribution of dirt on the road.

**Keywords:** airborne dust; living environment; DustTRAK II 8530; PM10; transport route; polluted air

# Obsah

0	Úvod.....	11
1	Polétavý prach.....	12
1.1	PM10 .....	12
1.2	PM2,5 .....	12
1.3	PM0,1 – 2,5 .....	13
1.4	Zdroje a základní charakteristiky prachu .....	13
1.5	Účinky prachu na lidský organismus .....	14
1.5.1	Reakce organismu na prašné částice. ....	15
1.6	Typy prachů.....	16
1.6.1	Fibrogenní prach .....	16
1.6.1	Infekční prach.....	16
1.6.1	Prachy toxické.....	16
1.6.1	Karcinogenní prachy .....	17
1.7	Základní definice pro hodnocení prachu .....	17
1.8	Negativní vliv na životní prostředí .....	17
1.9	Negativní látky v ovzduší.....	18
1.9.1	Polétavý prach.....	18
1.9.2	Oxid siřičitý SO <sub>2</sub> .....	18
1.9.3	Oxidy dusíku (oxid dusičitý NO <sub>2</sub> , oxid dusnatý NO) .....	19
1.9.4	Přízemní ozon.....	19
1.9.5	Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) .....	19
1.9.6	Oxid uhelnatý CO .....	20
1.9.7	Dioxiny.....	20
1.9.8	Polychlorované bifenyly PCB.....	20
1.9.9	Saze .....	20



1.10	Opatření pro omezení prašnosti .....	21
2	Doprava .....	24
2.1	Druhy dopravy .....	24
2.2	Energetická a surovinová náročnost dopravy .....	25
2.3	Alternativní paliva v dopravě .....	26
2.3.1	Typy alternativních paliv .....	26
2.4	Možnosti zmírnění negativních vlivů dopravy .....	27
2.5	Negativní přínos dopravy prostřednictvím dopravních zařízení .....	28
2.6	Evropské emisní limity .....	28
2.6.1	Vozidla pro silniční provoz .....	29
2.6.2	Kategorie motorových vozidel .....	29
2.7	Odpady z dopravy v podobě autovraků .....	31
2.8	Silniční doprava .....	31
2.9	Druhy vozidel .....	32
2.10	Silniční a dálniční síť ČR .....	33
2.11	Síť pozemních komunikací .....	34
2.11.1	Správa a údržba komunikací .....	35
2.12	Zahrnutí vlivu pohybujících se automobilů .....	35
2.12.1	Silové působení .....	36
2.12.2	Produkce kinetické energie turbulence .....	36
3	Metodika měření .....	37
3.1	Cíl práce .....	37
3.2	Metodický postup .....	37
3.3	Princip .....	38
3.4	Chyby při měření .....	38
3.5	Použité přístroje .....	39
3.5.1	Ruční anemometr .....	39

3.5.2	Měřič životního prostředí Voltcraft .....	40
3.5.3	DustTRAK II 8530.....	41
3.5.4	Pomůcky.....	41
3.6	Použité vozy .....	42
3.7	Měření s DustTRAK II 8530.....	42
3.8	Meteorologické podmínky při měření .....	43
3.9	Období měření .....	44
3.10	Místo měření č. 1 .....	44
3.11	Místo měření č. 2 .....	48
4	Závěr .....	54
	Použitá literatura .....	55
	Seznam tabulek .....	57
	Seznam obrázků .....	57

## 0 Úvod

Významným zdrojem znečištění ovzduší prachovými částicemi PM<sub>10</sub> kolem dopravních tras představuje zvíření prachových částic deponovaných na vozovce 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. Částice produkované automobilovou dopravou vznikají jak přímo při spalovacích procesech v automobilových motorech (tj. částice obsažené přímo ve výfukových plynech), tak mechanickým obrusem různých částí vozidel (pneumatiky, brzdové a spojivé obložení apod.), korozí karosérie nebo doprovodného zařízení (svodidla, dopravní značky) nebo resuspenzí prachových částic, které se nacházejí rozprostřené na vozovce. Na velikosti emisí částic z dopravy se podílí i posypové materiály a částice, které sedimentují na povrchu silnice z různých blízkých či vzdálených zdrojů a jsou následně resuspendovány provozem automobilů nebo větrem. Resuspenze v dopravě je proces, při němž se prachové částice původně deponované na vozovce dostávají zpět do vzduchu vlivem turbulence způsobené jízdou vozidel nebo působením větru. Resuspenze prostřednictvím automobilové dopravy závisí na specifických lokálních podmínkách, tj. povrchu silnice, rychlosti jízdy, hmotnosti automobilů a vlhkosti vzduchu. K iniciování vznosu prachových částic dochází za určitých příznivých okolností. Například při otáčení kol vozidla, turbulencí kolem rotujících částí vozidla a pohybem vzduchu za rychleji jedoucím vozidlem a podél vozidla, takže nejen na vozovce dopravní trasy, ale také v blízkém okolí dopravní trasy.

Požadavky na dopravu se v důsledku zvětšování trhů a zvyšování životní úrovně stále stupňují. Cena automobilů a jejich provozu se dostala na takovou úroveň, že se cestování automobilem stalo každodenní samozřejmostí řešící přepravu pro miliony lidí na celé planetě. Také zboží se dopravuje ve velkém množství na stále větší vzdálenosti.

Tyto skutečnosti způsobují velmi intenzivní provoz na pozemních komunikacích, jehož logickým důsledkem je silné dopravní zatížení nejen v místech křižovatek významných silničních tahů, ale také na místních pozemních komunikacích. Prognózy vývoje automobilového trhu naznačují, že trend zvyšování počtu automobilů na pozemních komunikacích bude pokračovat. Z toho důvodu je

třeba počítat i se zvyšujícím se imisním zatížením okolí pozemních komunikací. Je tedy nutné hledat nové nástroje, které pomohou správně posuzovat šíření znečišťujících látek a s jejich pomocí minimalizovat negativní důsledky. [5]

## **1 Polétavý prach**

Polétavý prach (PM z anglického názvu "particulate matter") je pojem pro mikročástice o velikosti několika mikrometrů ( $\mu\text{m}$ ). Běžně se rozlišují PM10, PM2,5 a PM1,0. Například PM10 označuje polétavý prach o velikosti 10 mikrometrů. Částice polétavého prachu se usazují v dýchacích cestách. Místo záchytu závisí na jejich velikosti. Větší částice se zachycují na chloupkách v nose a nezpůsobují větší potíže. Částice menší než 10  $\mu\text{m}$  (PM10) se mohou usazovat v průduškách a způsobovat zdravotní problémy.

Částice menší než 1  $\mu\text{m}$  mohou vstupovat přímo do plicních sklípků, proto jsou tyto částice nejnebezpečnější. Na částice polétavého prachu se vážou těžké organické látky (VOC – z anglického názvu volatile organic compounds), které pak v organismu působí toxicky.

Inhalace PM10 poškozuje hlavně kardiovaskulární a plicní systém. Dlouhodobá expozice snižuje délku dožití a zvyšuje kojeneckou úmrtnost. Může způsobovat chronickou bronchitidu a chronické plicní choroby. V důsledku absorpce organických látek s mutagenními a karcinogenními účinky může expozice PM10 způsobovat rakovinu plic. [11]

### **1.1 PM10**

Tyto částice menší než 10 mikrometrů v průměru jsou tak malé, že se mohou dostat do plic a způsobit vážné zdravotní problémy. Deset mikrometrů je menší než šířka jednoho lidského vlasu. [3]

### **1.2 PM2,5**

Částice menší než 2,5 mikrometru v průměru se nazývají "jemné" částice. Tyto částice jsou tak malé, že mohou být detekovány pouze s elektronovým

mikroskopem. Zdroje jemných částic zahrnují všechny typy hoření, včetně spalování pohonných hmot v motorech vozidel, spalování fosilních paliv v elektrárnách, produkty ze spalování dřeva v rodinných domech, lesní požáry, zemědělské pálení a některé průmyslové procesy. [8]

### **1.3 PM<sub>0,1</sub> – 2,5**

Frakce s velikostí až 2,5 mikrometru (PM<sub>2,5</sub>) se nazývají jemné. Částice, které jsou menší než 0,1 mikrometru, se nazývají velmi jemné nebo také ultrajemné částice. Přispívají pouze několika procenty k celkové hmotnosti, i když jsou nejpočetnější, což představuje více než 90% z počtu částic. [15]

### **1.4 Zdroje a základní charakteristiky prachu**

Disperzní systém kapalných a pevných částic suspendovaných v plynu se nazývá aerosol, podle skupenství částic se rozděluje aerosol na tuhý nebo kapalný. Prach je polydisperzní tuhý aerosol, který vzniká lidskou činností při mechanickém zpracování pevných materiálů (dobývání surovin, řezání, vrtání, broušení), při rozmělnovacích procesech (mletí, drcení), ale i bez zásahu, např. rozptýlením částic z neupraveného zemského povrchu vlivem proudění vzduchu, činností sopek, tvorbou aerosolu na mořském pobřeží. Velikost prašných částic je 1 až 100  $\mu\text{m}$ , částice větší než 30  $\mu\text{m}$  jsou označovány jako hrubý prach a v prostředí při běžných podmínkách rychle sedimentují. Při tepelných procesech (spalování organických látek) vzniká kouř s částicemi o velikosti 0,01 až 0,5  $\mu\text{m}$ , při chemických oxidačních procesech (svařování) se uvolňuje dým s částicemi o velikosti 0,1 až 1  $\mu\text{m}$ . V hygienické praxi se pod pojmem prach rozumí veškeré tuhé aerosoly. Látky biologického původu jako jsou pyly, spóry plísní a mikroorganismy, jejichž velikost se pohybuje v rozsahu velikosti částic prachu, se označují jako bioaerosol. [22]

Mezi nejvýznamnější antropogenní zdroje prachových částic patří:

- vysokoteplotní procesy, především spalovací
- cementárny, vápenky, lomy a těžba

- odnos částic větrem ze stavebních ploch a z ploch zbavených vegetace

Významným zdrojem prachových částic jsou automobily s dieslovými motory, které nemají katalyzátor nebo filtr pevných prachových částic a jejich výfukové plyny obsahují množství malých prachových částic vznikajících nedokonalým spalováním nafty.

Poléťavý prach vzniká téměř výhradně jako produkt lidské činnosti – při spalovacích procesech, tavení rud, ale také vlivem větrné eroze z půdy zbavené vegetačního krytu. Čím menší průměr částice má, tím déle zůstává v ovzduší.

V ČR je určen limit pro znečištění ovzduší pevnými částicemi (poléťavý prach). Denní imisní limit je  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Překročení tohoto limitu je tolerováno max. 35 dní v roce. Na některých místech ČR, např. Ostravsko, je limit překračován i přes 100 dní v roce. [11]

## 1.5 Účinky prachu na lidský organismus

Prach lze dělit podle různých kritérií, základní dělení je na toxický a netoxický prach. Podle původu lze rozdělit na skupiny prachu, od kterých se pak odvíjejí účinky na lidský organismus. Následné dělení prachu podle účinků je v předpisech používáno při hodnocení prašnosti v pracovním prostředí.

Z hlediska působení prachu na člověka se prachové částice dělí na:

- prachy s převážně nespecifickým účinkem [22]
  - baryt, cement, sádra, saze, půdní prachy, ocelářenská struska, oxidy železa [21]
- prachy s fibrogenním účinkem, které mohou být jednak s možným fibrogenním účinkem
  - slída, saze, talek, svářečské dýmy, bentonit
- nebo s převážně fibrogenním účinkem
  - křemen, kristobalit, tridymit nebo gama-oxid hlinitý [22]
- prachy s dráždivým účinkem (případně senzibilizujícím účinkem)

- *textilní* (bavlna, len, juta, syntetická textilní vlákna, kapok, sisal, hedvábí)
  - *minerální* (oxid vápenatý a hořečnatý, cement, uhličitany alkálií)
  - *živočišné* (srst, vlna, peří a jiné živočišné prachy)
  - *rostlinné* (obilný prach, prachy ze dřeva, káva, koření, tabák, čaj, mouka)
- minerální vláknité prachy
    - *přírodní* (azbest)
    - *umělá* (keramická vlákna, skleněná vlákna) [20]

Expozice prašných částic a jejich zdravotní účinky mohou mít různou formu. Styk pokožky s některými prachy, jako je většina organických prachů a některé anorganické a vláknité prachy, může způsobovat podráždění nebo alergické odezvy, zvláště u citlivých osob.

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  $\mu\text{m}$ ), menší částice pronikají hlouběji. Se zmenšující se velikostí částic pravděpodobnost průchodu do plicních sklípků stoupá, pro částice velikosti 3  $\mu\text{m}$  je tato pravděpodobnost vyšší než 50 %. Frakce prachu tvořená malými částicemi, které lze vdechnout až do plic, je z hlediska zdravotního rizika nejnebezpečnější.

### **1.5.1 Reakce organismu na prašné částice.**

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 přispívá ke vzniku chronického zánětu průdušek. Kromě mechanického působení těchto částic i jejich odstraňování způsobuje poranění pokožky nebo sliznic.

Nadměrné vdechování polévatého prachu způsobuje:

- 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

## **1.6 Typy prachů**

### **1.6.1 Fibrogenní prach**

Je schopen vyvolat tvorbu plicních fibróz, tj. zvýšené bujení vaziva v plicích. Za fibrogenní složku se považuje krystalický oxid křemičitý ve formě křemene, kristobalitu nebo tridymitu a také gama forma oxidu hlinitého. Účinek dráždivých prachů se nejčastěji projevuje mechanickým drážděním sliznic dýchacích cest, spojivek očí a pokožky, u citlivějších osob i alergickými reakcemi. Některé prachy, zvláště organického původu, vyvolávají přecitlivělost, projevující se např. jako průduškové astma.

### **1.6.1 Infekční prach**

Obsahuje choroboplodné zárodky zachycené na prašných částicích. Způsobuje vážná onemocnění, mezi ně patří i bakteriální a plísňové infekce způsobené bioaerosem.

### **1.6.1 Prachy toxické**

Kromě místního účinku na dýchací ústrojí způsobují i systematickou intoxikaci. Prachy obsahující toxické látky jsou absorbovány krví, což pak vede k nepříznivému vlivu na tkáně a orgány i vzdálených od místa vstupu škodliviny.



### 1.6.1 Karcinogenní prachy

Při vdechnutí lze vyvolat nádorová onemocnění u lidí, kteří jsou těmto prachům dlouhodobě vystaveni.

## 1.7 Základní definice pro hodnocení prachu

Kromě chemických, fyzikálních a biologických vlastností má velký význam, z hlediska ohrožení lidského zdraví, velikost částic prachu. Pro zhodnocení zdravotního rizika je důležitá skutečnost, jak hluboko se částice dostanou do dýchacího ústrojí. Proto byly definovány základní pojmy, které umožňují pochopení principů působení prachových částic.

*Aerodynamický průměr částice  $D$*  – průměr koule o hustotě  $1 \text{ g.cm}^{-3}$  se stejnou ustálenou rychlostí způsobenou gravitační silou v klidném ovzduší, jako má částice za obvyklých podmínek týkajících se teploty, tlaku a relativní vlhkosti.

*Vdechovatelná (inhalable) frakce* – hmotnostní frakce polétavého prachu, která je vdechnuta nosem a ústy.

*Thorakální (thoracic) frakce* – hmotnostní frakce vdechovaných částic pronikajících za hrtan.

*Respirabilní (respirable) frakce* – hmotnostní frakce vdechovaných částic, které pronikají do dýchacích cest, kde není řasinkový epitel.

*Dýchací zóna* – prostor v bezprostřední blízkosti úst a tváří, přesněji technicky definován jako polokulový prostor (obecně o poloměru 0,3 m) se středem v polovině spojnice obou uší a vymezený rovinou tváře procházející touto spojnici, vrcholem hlavy a ohryzkem. [22]

## 1.8 Negativní vliv na životní prostředí

Z ovzduší se aerosol dostává do ostatních složek životního prostředí pomocí suché nebo mokré atmosférické depozice. V principu platí, že čím menší průměr částice má, tím déle zůstane v ovzduší. Částice o velikosti přes  $10 \mu\text{m}$  sedimentují na zemský povrch v průběhu několika hodin, zatímco částice nejmenější (menší než  $1 \mu\text{m}$ ) mohou v atmosféře setrvávat týdny, než jsou mokrou depozicí odstraněny.

Částice jemného a hrubého aerosolu mají odlišné složení. Materiál zemské kůry (částice půd, zvětraných hornin a minerálů, prach) a bioaerosol tvoří většinu hmotnosti hrubého aerosolu, zatímco jemný aerosol je tvořen hlavně sírany, amonnými solemi, organickým a elementárním uhlíkem a některými kovy. Dusičnany jsou významnou složkou jak hrubého, tak jemného aerosolu. Prašný aerosol může také sloužit jako absorpční medium pro těkavé organické látky. Aerosol může působit na organismy mechanicky zaprášením. Zaprášení listů rostlin snižuje jejich aktivní plochu, u živočichů prach vstupuje do dýchacích cest. Dalším problémem je toxické působení látek obsažených v aerosolu.

Pevné částice v atmosféře ovlivňují energetickou bilanci Země, protože rozptylují sluneční záření zpět do prostoru. Podnebí ovlivňují tyto částice také svým účinkem na tvorbu oblaků. Jsou-li při tvorbě oblaků přítomny pevné částice ve velkém množství, bude výsledný oblak sestávat z velkého množství menších kapek. Takový oblak bude odrážet sluneční záření mnohem více, než oblak sestávající z částic větších. Vlivy na klima se však projevují spíše v regionálním měřítku. [6], [17]

## **1.9 Negativní látky v ovzduší**

### **1.9.1 Polétavý prach**

Tvoří většinou sírany, amonné soli, uhlík, některé kovy, dusičnany, případně i těkavé organické látky nebo polyaromatické uhlovodíky. [16]

### **1.9.2 Oxid siřičitý SO<sub>2</sub>**

Reaguje s chlorofylem (fotosyntetickým barvivem rostlin) a narušuje tak fotosyntézu. V ovzduší oxiduje se vzdušným kyslíkem za přítomnosti vody na kyselinu sírovou, která je spolu s kyselinou siřičitou příčinou kyselých dešťů. Hlavní podíl na jeho produkci má lidská činnost - zejména spalování fosilních paliv jak při průmyslových procesech, tak v domácích topeništích. Působí dráždivě na sliznice dýchacích cest. Podporuje záněty průdušek a astma.

### 1.9.3 Oxidy dusíku (oxid dusičitý NO<sub>2</sub>, oxid dusnatý NO)

Oxid dusičitý je společně s oxidy síry součástí takzvaných kyselých dešťů. Oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>) současně s kyslíkem a těkavými organickými látkami přispívá k tvorbě přízemního ozonu a vzniku tzv. fotochemického smogu. Primárním zdrojem oxidů dusíku jsou motorová vozidla. Další velkým zdrojem oxidů dusíku jsou emise spalin ze spalovacích procesů, především z velkých zdrojů. V plicích se oxid dusičitý dostává do krve, kde je přeměněn na dusitany a dusičnany. Dráždí také sliznice dýchacích cest.

### 1.9.4 Přízemní ozon

Na rozdíl od známého užitečného ozonu ve stratosféře je přízemní ozon zdraví nebezpečný. Vyskytuje se těsně nad zemí. Přízemní ozon vzniká složitou chemickou reakcí, za přítomnosti slunečního záření a vysoké koncentrace výfukových plynů z automobilů. Způsobuje dráždění dýchacích cest, podráždění očí a bolesti hlavy. U rostlin dochází k poškození listů. Podle ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav) přibližně 2,75 % populace bylo v průměru v hodnoceném období 2010–2012 vystaveno koncentracím přízemního ozonu překračujícím imisní limity pro ochranu lidského zdraví. [9]

### 1.9.5 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)

Do této skupiny se řadí přibližně 100 organických uhlovodíkových sloučenin. V prostředí přetrvávají velice dlouho (jsou tedy perzistentní), neboť odolávají přirozeným rozkladným procesům. Vznikají převážně při nedokonalém spalování organických látek (uhlí, olejů, nafty, benzinu a plastů) v nevhodných spalovacích zařízeních. Tyto sloučeniny mají mutagenní a karcinogenní vlastnosti, ohrožují zdravý vývoj lidského plodu, mohou způsobovat rakovinu, dráždí také oči, nos, krk a průdušky. Byly prokázány i negativní účinky na ledviny a játra. Mezi PAU znečišťující ovzduší patří například benzo(a)pyren (polycyklický aromatický uhlovodík s pěti benzenovými kruhy). Procento obyvatel, které bylo v roce 2012 vystaveno nadlimitní koncentraci benzo(a)pyrenu, je podle ČHMÚ odhadováno na 66,26 %. [9], [10]

### **1.9.6 Oxid uhelnatý CO**

Oxid uhelnatý je jednou z nejběžnějších a nejrozšířenějších látek znečišťujících ovzduší. Přijímáme ho pouze vdechováním. Vzniká nedokonalým spalováním uhlíkatých materiálů a jako produkt v některých průmyslových a biologických procesech. Oxid uhelnatý působí na srdce, cévní a nervový systém. Při jeho nízkých 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.

### **1.9.7 Dioxiny**

Dioxiny jsou látky nebezpečné i ve stopovém množství. Vznikají zejména při spalovacích procesech – ať už v průmyslu, automobilech či při pálení nejrůznějších materiálů. Zvláště nebezpečné je spalování odpadu obsahujícího chlоровané látky (např. PVC – Polyvinylchlorid). V prostředí přetrvávají velmi dlouho. Zvyšují pravděpodobnost onemocnění rakovinou a poškození vývoje plodu. Dioxiny patří mezi vůbec nejnebezpečnější látky znečišťující životní prostředí.

### **1.9.8 Polychlorované bifenyly PCB**

Vznikají jako nezamýšlené vedlejší produkty v řadě průmyslových výroby (např. v hutnictví, při spalování odpadů, v chemické výrobě různých sloučenin chlóru anebo ve spalovacích motorech automobilů při spalování olovnatého benzínu atd.). Expozice PCB ovlivňuje mozek, oči, srdce, imunitní systém, játra, ledviny, reprodukční systém a štítnou žlázu. Expozice těhotných žen může způsobovat snížení porodní váhy a neurologické poruchy dětí. [9]

### **1.9.9 Saze**

Saze je černá, uhlíkatá látka, vznikající při nedokonalém spalování paliv motorových vozidel, uhlí, olejů, dřeva atd. Dostává se do ovzduší v podobě jemných

částic a ulpívá na stěnách komínů nebo potrubí na odvod kouře. Saze způsobují obrovské škody na zdraví vzhledem k jejich velikosti a vlastnostem.

## 1.10 Opatření pro omezení prašnosti

### a) Úklid posypového materiálu

Toto opatření představuje významný potenciál pro snížení celkové prašnosti. Jedná se především o čištění komunikací a chodníků v nejkratším možném termínu po skončení zimní sezóny – vhodné by bylo začít s úklidem souběžně s odtáváním sněhu, nejpozději týden po roztátí sněhu. Rovněž v teplých obdobích zimy bez sněhové pokrývky (po roztátí sněhu) je vhodný úklid posypového materiálu z vozovek a chodníků.

Pro úklid posypového materiálu v obcích slouží např. víceúčelový komunální stroj, který je na obrázku 1.



Obrázek 1. Víceúčelový komunální stroj EGHOLM 2250

Zdroj: <http://www.stsprachatice.cz/viceucelovy-komunalni-stroj-egholm.html>

(staženo dne 14. 3. 2015)

## b) Skrápění povrchu vozovek

V obdobích sucha je vhodné provádět skrápění povrchu vozovek a splachování prachu. U komunikací první třídy by tato povinnost měla být delegována na Krajskou správu silnic odpovídající za stav a provoz silnic I. třídy. V místech výjezdu ze staveb nebo průmyslových areálů je pro snížení prašnosti vhodné pravidelné skrápění v obdobích sucha a výjezdy opatřit rošty pro čištění kol aut (tyto akce by měl realizovat provozovatel zdroje znečištění).

Pro skrápění povrchu vozovek slouží kropička (na obrázku 2) vybavená přední skrápěcí lištou a vzadu s tryskou pro vodní mlhu.



Obrázek 2. Kropička pro skrápění povrchu vozovek

Zdroj: <http://www.tsfm.cz/fotoalbum/aktuality/osvezovani-mesta/foto-img-2403-1/>  
(staženo dne 14. 3. 2015)

## c) Protierozní opatření

Vhodné protierozní opatření (zasakovací pásy apod.) by mělo zabránit, aby se po jarním tání a přivalových deštích nedostával na komunikace materiál z polí. Materiál, který se dostane z polí na komunikace, je nutné ihned odklidit. Vhodné krajinné úpravy (zakládání mezí a remízků) by měly zabránit větrné erozi a tím také zvyšování prašnosti přírodního původu.

d) Doplnění komunikací o zeleň

Zeleň kolem komunikací působí jako filtr pro snížení prašnosti. Jedná se zejména o výsadbu a údržbu vhodné a nealergizující zeleně u komunikací (na obrázku 3). Důležitým prvkem je také pravidelná úprava zeleně (sečení trávníků, ořez stromů a keřů apod.).



*Obrázek 3. Doplnění zeleně kolem komunikace*

Zdroj: <http://fotozavislost.cz/str/16/> (staženo dne 14. 3. 2015)

## 2 Doprava

Doprava je základním pilířem, na kterém stojí současná hospodářská politika. Zároveň ale ještě patří mezi její omezující faktory, neboť úroveň dopravního systému mnohé ekonomické procesy limituje.

S dopravou přímo souvisejí mnohé hospodářské procesy od dojíždění do práce, přes dodávky surovin a energií až po distribuci výrobků směrem ke spotřebitelům.

Nezastupitelnou úlohu má doprava také v sociální sféře. Umožňuje lidem spolu vzájemně komunikovat, setkávat se a vyměňovat své myšlenky. Doprava a zvyky při jejím využívání jednotlivcem jsou už od nepaměti určitým symbolem postavení ve společenské hierarchii. V moderní společnosti, která se snaží společenské bariéry překonávat, je jedním z hlavních principů rovný přístup k dopravě. Mnohé skupiny obyvatel, jako jsou tělesně postižení, senioři nebo obyvatelé s nízkými příjmy, mají svou pozici znevýhodněnou, což v důsledku může umocňovat jejich okrajové společenské postavení. Pro větší míru jejich integrace do společnosti, se jeví jako nezbytné, aby se přizpůsobil návrh dopravního systému také i jejich potřebám.

Protipólem nesporných přínosů dopravy zůstávají její negativní dopady na zdraví člověka a na stav životního prostředí. Výstavba a provoz dopravních sítí ovlivňují krajinu, rostliny i živočichy v ní žijící, podílí se na zhoršení životních podmínek ve městě, kde je exponována škodlivinami značná část obyvatel, což se negativně projevuje na jejich zdravotním stavu. V současnosti proto stojí doprava před nelehkým úkolem najít rovnováhu mezi nezbytným rozvojem, ekonomickými a společenskými přínosy na straně jedné a ochranou zdraví a životního prostředí člověka na straně druhé. [1]

### 2.1 Druhy dopravy

Dopravu lze rozdělit podle charakteru dopravní trasy na:

- Automobilovou silniční dopravu,
- kolejovou dopravu,
- lodní dopravu (říční a námořní),



- leteckou dopravu a dopravu vzduchem,
- dopravu pomocí rozmanitých dopravníků,
- vodní dopravu prostou (břemeno je unášeno vodou),
- lanové dráhy,
- potrubní dopravu,
- cyklistická doprava (břemeno se aktivně podílí na dopravě nebo s pomocí gravitace),
- potrubní doprava (shozy, gravitační skluzy, podtlak),
- pěší doprava (animální – lidská, zvířecí, ptactvem),
- multimodální doprava (spolupráce mezi několika druhy dopravy). [2]

## 2.2 Energetická a surovinová náročnost dopravy

Nárůst energetické potřeby sektoru dopravy je přímo úměrný vlivu na životní prostředí, který bezprostředně také souvisí se zdravotním stavem obyvatelstva, hospodářským růstem zemí, sociálními podmínkami, atd. Vliv spotřeby energie na životní prostředí lze rozdělit do dvou rovin. První rovinou je stálý růst spotřeby neobnovitelných fosilních zdrojů energie, který je v rozporu s principy udržitelného rozvoje. Druhým aspektem je zvyšující se zátěž životního prostředí, zejména ovzduší, z neustálého růstu spalovaného množství paliva. Emise jednoho z nejvýznamnějších skleníkových plynů oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> z dopravy jsou přímo úměrné spotřebě paliva, tedy energii, na rozdíl od ostatních emisí škodlivin.

Primárním palivem v dopravě a tedy zdrojem energie v dopravě, jsou automobilové benzíny a motorová nafta, jejichž výrobní surovinou je ropa. Dnešní světová spotřeba v sektoru dopravy dosahuje přibližně 40 % celkové světové spotřeby ropy. Tento podíl dopravy na spotřebě ropy bude podle světových odhadů neustále narůstat teoreticky až k devadesátiprocentnímu podílu v roce 2050. Zatímco spotřeba ropy v energetickém, obytném i komerčním sektoru bude klesat, v dopravě bude tento trend opačný. Obrovský nárůst spotřeby ropy v dopravním sektoru bude způsoben významným nárůstem světového počtu vozidel, který je předpokládán zejména v rozvojových zemích. Například v Číně v roce 1998 bylo na 1000 obyvatel registrováno 8,5 vozidel, což odpovídalo statisíce vlastnictví vozidla v USA v roce 1912. Dalším důvodem nárůstu spotřeby energie v dopravě je také nárůst

kilometrového proběhu vozidel. Na rozdíl od stabilně mírně stoupající spotřeby energie v dopravě ve vyspělých zemích lze očekávat prudký nárůst spotřeby energie v dopravě v rozvojových zemích, který bude mít jistý globální vliv na životní prostředí celé planety. [1]

## **2.3 Alternativní paliva v dopravě**

Naprostá většina automobilů dnes využívá ke svému pohonu motory spalující benzín nebo naftu. Tato paliva se vyrábějí z ropy a jejich spalováním vzniká velké množství různých druhů škodlivin. Existují však i jiné možnosti, jak pohánět dopravní prostředky. Jedním ze způsobů, jak dosáhnout ekologičtějšího provozu a menší zátěže životního prostředí, je použití alternativních paliv.

Alternativní paliva se dělí na plynná (LPG, CNG, vodík) a kapalná (biopaliva a jejich směsi). Způsob jejich získávání a zejména jejich vlastnosti, mající příznivý vliv na proces spalování a škodlivost jeho produktů – emisí, je předurčují k tomu být palivy budoucnosti. Jejich výhoda spočívá zejména v tom, že nepředstavují, až na výjimky, změnu technologie pohonu. Pomocí nenáročných úprav klasického spalovacího motoru, nebo dodatečnou instalací některých prvků, lze jednoduše dosáhnout omezení limitovaných emisí (oxid uhelnatý, uhlovodíky, oxidy dusíku, pevné částice, další znečišťující látky např. polyaromatické uhlovodíky – PAU) a skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého. Proto je podpora alternativních paliv jedním z pilířů udržitelné dopravy směřující k ekologicky i ekonomicky výhodnějším řešením. [23]

### **2.3.1 Typy alternativních paliv**

- Biopaliva,
- bioplyn,
- stlačený zemní plyn – CNG,
- zkapalněný zemní plyn – LNG,
- břidlicový plyn,
- vodík / palivové články,
- elektromobily,

- hybridní vozidla,
- zkapalněné uhlovodíkové plyny – LPG,
- metanol,
- dimetyleter – DME,
- syntetická paliva na bázi zemního plynu – GTL,
- syntetická paliva na bázi biomasy – BTL. [19]

## 2.4 Možnosti zmírnění negativních vlivů dopravy

V oblasti vlivů dopravy na zdraví a životní prostředí je prvořadým úkolem přijmout taková opatření, která by tyto vlivy odstranila nebo alespoň zmírnila. To je úkol nejen státu, ale i krajů, měst a obcí. Je nutno si uvědomit, že negativní dopady dopravy jsou výsledkem chování lidí a jejich každodenního rozhodování o tom, zda podniknou příslušnou cestu, s jakým cílem, jakým druhem dopravy a jakou trasou. Na toto rozhodování má vliv řada faktorů: především socioekonomická charakteristika obyvatel a jejich vztah k životnímu prostředí a také vlastnosti dostupných dopravních systémů (tj. cestovní čas, náklady, pohodlí, komfort a bezpečnost jednotlivých druhů dopravy). Z toho vyplývá další cíl opatření – ovlivnit dopravní chování obyvatel ve prospěch šetrnějších druhů dopravy.

Opatření lze rovněž rozdělit na nabídková – např. výstavba nových komunikací s bezpečnostními a ekologickými prvky, kvalitnější dopravní prostředky a řízení dopravních systémů – a poptávková, která by měla vést k omezení poptávky po škodlivých druzích dopravy. Mezi poptávková opatření patří zejména řízení mobility, zvyšování poplatků za parkování, omezení provozu aut v městských centrech, přiblížení zdrojů a cílů dopravy v rámci dopravního plánování apod.

Možnosti pro zmírnění:

- Opatření na komunikacích
  - ochrana před kontaminací vod a půdy (sedimentační nádrže)
  - opatření pro ochranu fauny (nadhody, úpravy křížení komunikace s vodním tokem, tunely, mosty, naváděcí oplocení),
- opatření na vozidlech

- zařízení pro úpravu spalin (třícestné řízené katalyzátory, oxidační katalyzátory, recirkulace výfukových plynů, lapače částic),
- legislativní opatření
  - emisní limity (zavedení evropských norem EURO 1–6)
  - ekonomické a daňové nástroje (zpoplatnění použití dopravní infrastruktury, slevy na silniční dani pro „čistší“ vozidla, spotřební daň z pohonných hmot),
- zlepšování kvality pohonných hmot
  - zákaz olovnatých benzínů, snižování obsahu síry v benzínu i v naftě. [1], [3]

## **2.5 Negativní přínos dopravy prostřednictvím dopravních zařízení**

- Znečištění ovzduší, vody a půdy (produkty spalování, maziva, opotřebení pneumatik),
- hluk kolem dopravních tras i v blízkém okolí,
- vibrace kolem dopravních tras způsobují škody na objektech,
- úrazy lidí podílejících se na dopravě i ostatních účastníků dopravy,
- zábor půdy (i produkční) pro výstavbu tras a příslušenství dopravních tras,
- omezení krajiny tvorby a ovlivnění ekosystémů,
- dopravní trasy tvoří bariéry pro volně migrující živočichy,
- nepředvídatelné časové ztráty vlivem nenadále kongesce provozu (vliv počasí),
- možnost teroristických útoků na soustředěné skupiny lidí (letadla, lodě, železnice),
- úmrtí živých organismů destruktivním působením dopravních zařízení (náráz, přejetí). [2]

## **2.6 Evropské emisní limity**

S neustálými se zvyšujícími ekologickými požadavky a nároky na spalovací motory a dopravní prostředky Evropská unie nařídila určené emisní normy pro spalovací motory. Cílem je snižovat škodlivé emise dopravních prostředků s uplatněním neustále přísnějších norem. Tato nařízení upravují emise uhlovodíků, oxidů dusíku, oxidu uhelnatého a mikroskopických pevných částic.

## 2.6.1 Vozidla pro silniční provoz

Zpracování emisních norem pro vozidla určená pro silniční provoz bylo provedeno do 6 kategorií označených EURO 1 až EURO 6.

Tyto normy efektivně snižují emise a zlepšují tak kvalitu ovzduší. Pro jejich účely jsou vozidla zařazena do kategorií, které jsou uvedeny v tabulce 1.

## 2.6.2 Kategorie motorových vozidel

Tabulka 1. Kategorie motorových vozidel [2], [18]

Kategorie	Popis
L	Motorová vozidla zpravidla s méně než čtyřmi koly.
M	Motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu osob.
M <sub>1</sub>	Vozidla, která mají nejvýše osm míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, nebo víceúčelová vozidla.
M <sub>2</sub>	Vozidla, která mají více než osm míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, a jejichž nejvyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 5 000 kg.
M <sub>3</sub>	Vozidla, která mají více než osm míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, a jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 5 000 kg.
N	Motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu nákladu.
N <sub>1</sub>	Vozidlo, jehož největší přípustná hmotnost nepřevyšuje 3 500 kg.
N <sub>2</sub>	Vozidlo, jehož největší přípustná hmotnost převyšuje 3 500 kg, avšak nepřevyšuje 12 000 kg.
N <sub>3</sub>	Vozidlo, jehož největší přípustná hmotnost převyšuje 12 000 kg.
O	Přípojná vozidla
O <sub>1</sub>	Přípojná vozidla, jejichž největší přípustná hmotnost nepřevyšuje 750 kg.
O <sub>2</sub>	Přípojná vozidla, jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 750 kg, ale nepřevyšuje 3 500 kg.
O <sub>3</sub>	Přípojná vozidla, jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 3 500 kg, ale nepřevyšuje 10 000 kg.
O <sub>4</sub>	Přípojná vozidla, jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 10 000 kg.
G	Terénní vozidla
T	Traktory zemědělské nebo lesnické

S	Pracovní stroje
R	Ostatní vozidla, která nelze zařadit do výše uvedených kategorií.

Emisní normy pro lehká užitková vozidla se vztahují na všechna vozidla kategorie M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, N<sub>1</sub> a N<sub>2</sub> s referenční hmotností nepřesahující 2610 kg. Předpisy EU zavádějí různé emisní limity pro vznětové (nafta) a zážehové (benzín, CNG, LPG, ethanol) motory. Vznětové motory mají přísnější normy emisí oxidu uhelnatého, ale jsou povoleny vyšší emise oxidů dusíku. Zážehové motory byly osvobozeny od emisí pevných částic normami prostřednictvím standardu Euro 4.

V roce 2000 byly standardy doplněny zavedením přísnějších pravidel ohledně paliv, které vyžadují minimální cetanové číslo nafty 51. Při porovnání emisních norem Euro 1-6 lze vidět postupné zpřísnování přípustných hodnot za účelem minimálního dopadu na ovzduší. Hodnoty norem Euro jsou uvedeny v tabulce 2 a 3. [12]

Tabulka 2. Hodnoty emisních limitů EURO pro vznětové motory [12]

Norma	Platnost	CO [g.km <sup>-1</sup> ]	Nox [g.km <sup>-1</sup> ]	HC [g.km <sup>-1</sup> ]	HC+NOx [g.km <sup>-1</sup> ]	PM [g.km <sup>-1</sup> ]
Euro 1	1992	2,72	-	-	0,97	0,14
Euro 2	1996	1,0	-	-	0,7	0,08
Euro 3	2000	0,64	0,50	-	0,56	0,05
Euro 4	2005	0,50	0,25	-	0,30	0,025
Euro 5	2011	0,50	0,18	-	0,23	0,005
Euro 6	2014	0,50	0,08	-	0,17	0,005

Tabulka 3. Hodnoty emisních limitů EURO pro zážehové motory [12]

Norma	Platnost	CO [g.km <sup>-1</sup> ]	Nox [g.km <sup>-1</sup> ]	HC [g.km <sup>-1</sup> ]	HC+NOx [g.km <sup>-1</sup> ]	PM [g.km <sup>-1</sup> ]
Euro 1	1992	2,72	-	-	0,97	-
Euro 2	1996	2,2	-	-	0,5	-
Euro 3	2000	2,3	0,15	0,20	-	-
Euro 4	2005	1,0	0,08	0,10	-	-
Euro 5	2011	1,0	0,06	0,10	-	0,005
Euro 6	2014	1,0	0,06	0,10	-	0,005

## 2.7 Odpady z dopravy v podobě autovraků

Produkcí velkého množství odpadů ve formě autovraků se stává jedním z prioritních problémů každé vyspělé společnosti. Autovraky jsou až z 80 % složeny z recyklovatelných materiálů využitelných jako druhotné suroviny, kterými jsou např. kovy nebo plasty. Na jejich skladbě se podílí také nebezpečné druhy odpadů, jako jsou např. olovené akumulátory, olejové filtry, brzdové a nemrznoucí kapaliny, součástky obsahující rtuť nebo brzdové destičky obsahující azbest, které mohou při nevhodném zacházení nebo úniku ohrozit životní prostředí.

V České republice se na řešení tohoto problému vztahuje Zákon č. 185/2001 Sb., který definuje autovrak jako každé úplné nebo neúplné motorové vozidlo, určené k provozu na pozemních komunikacích pro přepravu osob, zvířat nebo věcí, jež se stalo odpadem. Každý, kdo se ho zbavuje, je povinen jej předat pouze osobám provozujícím zařízení k využívání, odstraňování, sběru nebo výkupu autovraků. [2]

## 2.8 Silniční doprava

Silniční doprava je základním způsobem dopravy pro cestující i zboží. Dnes má např. Evropská unie téměř jedno vozidlo na každé dva obyvatele a silniční nákladní doprava představuje více než dvě třetiny celkové tonáže. Opatření Evropské unie se zaměřují v zásadě na kontrolu četných nákladů silniční dopravy. Rozvoj dopravy musí být v souladu s bezpečnostními požadavky i s ochranou životního prostředí. Kromě toho je předmětem evropské regulace celá řada dopravních aspektů, ať už se jedná o hospodářskou soutěž mezi provozovateli dopravy, přístup k profesi, pracovní podmínky nebo technické normy vozidel. [14]

V současnosti hraje silniční doprava hlavní úlohu v přepravě osob i nákladů, zejména na krátké a střední vzdálenosti. Oproti železnici má výhodu větší operativnosti a dostupnosti, nevýhodou je nižší stupeň organizace jejího provozu, vyšší negativní vliv na životní prostředí a zejména nízká bezpečnost dopravy. Přesto silniční dopravě patří rozhodující část přepravního trhu ve většině vyspělých zemí, hlavně v sektoru nákladní dopravy. Její pozice se dále upevňuje budováním kapacitních vícepruhových komunikací, které vytvářejí nové hlavní osy silniční sítě. V rozvojových zemích naopak převládá nedostatečná silniční síť, tvořená mnohde

komunikacemi s nezpevněným povrchem. Výstavba dálnic, vzhledem k jejich robustnosti a nízké přizpůsobivosti členitosti terénu, klade velké nároky na příznivé směrové a sklonové poměry, což zvyšuje zábor území, množství potřebných stavebních prací a tím i celkovou cenu.

Výstavba nových a zkapacitnění stávajících komunikací neprobíhá natolik rychle, aby stihla kopírovat růst množství automobilů, které současná silniční síť nezvládá v některých úsecích pojmout, čímž vznikají kongesce (dopravní zácpy). Prosté zahušťování sítě komunikací přináší jev zvaný dopravní indukce, což je zvýšení automobilové dopravy v důsledku zlepšení kvalitativních a kvantitativních parametrů dopravní sítě. Toto zvýšení se děje částečně na úkor veřejné dopravy a částečně v důsledku generování nové dopravy, která by vůbec nevznikla. [1]

## 2.9 Druhy vozidel

Silniční vozidla se rozdělují na tyto základní druhy:

- Motocykly,
- osobní automobily,
- autobusy,
- nákladní automobily,
- speciální vozidla,
- přípojná vozidla,
- ostatní silniční vozidla.

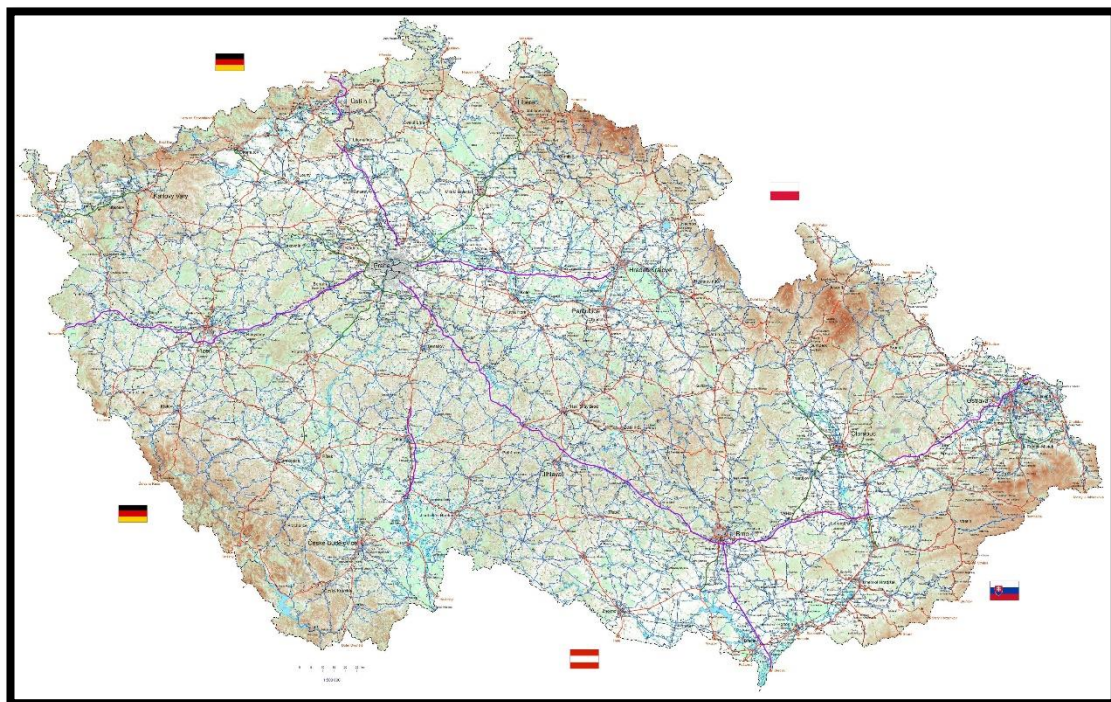
Zvláštní vozidla se rozdělují na tyto základní druhy:

- Zemědělské nebo lesnické traktory a jejich přípojná vozidla,
- pracovní stroje samojízdné,
- pracovní stroje přípojně,
- nemotorové pracovní stroje nebo nemotorová vozidla tažená nebo tlačena pěšky jdoucí osobou,
- vozíky pro invalidy s motorickým pohonem, pokud jejich šířka nebo délka přesahuje jeden metr, jejich konstrukční rychlost převyšuje  $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  nebo jejich maximální přípustná hmotnost převyšuje 450 kg.



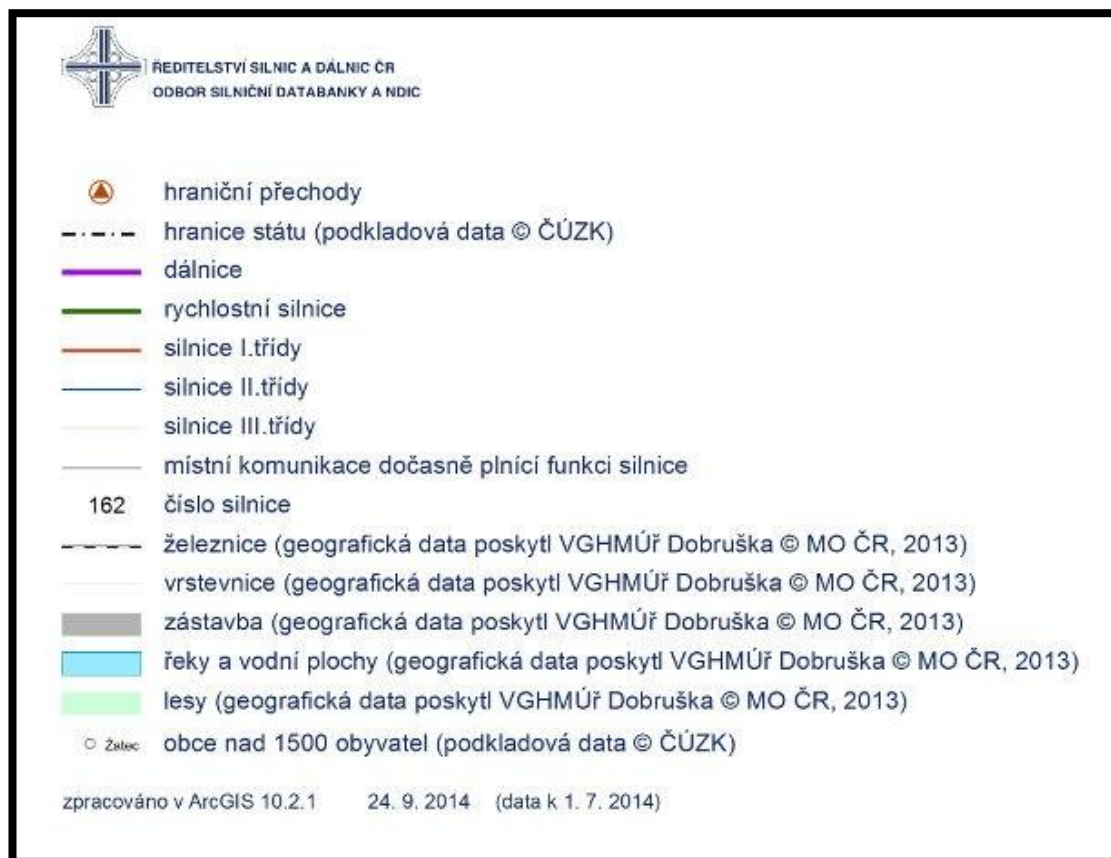
Zvláštním vozidlem se rozumí i mobilní stroj, průmyslové zařízení schopné přepravy nebo vozidlo bez karoserie, ve kterých je zabudován spalovací motor. [7]

## 2.10 Silniční a dálniční síť ČR



Obrázek 4. Silniční a dálniční síť ČR – mapa

Zdroj: [http://www.rsd.cz/sdb\\_intranet/sdb/img/mapy/cr\\_500vrst.jpg](http://www.rsd.cz/sdb_intranet/sdb/img/mapy/cr_500vrst.jpg), staženo dne 29. 12. 2014



Obrázek 5. Silniční a dálniční síť ČR – popis

Zdroj: [http://www.rsd.cz/sdb\\_intranet/sdb/img/mapy/cr\\_500vrst.jpg](http://www.rsd.cz/sdb_intranet/sdb/img/mapy/cr_500vrst.jpg), staženo dne 29. 12. 2014

## 2.11 Síť pozemních komunikací

Komplexní síť pozemních komunikací je tvořena:

- Dálnicemi,
- rychlostními silnicemi,
- silnicemi I. tříd
  - určeny zejména pro dálkovou a mezistátní dopravu,
- silnicemi II. tříd
  - určeny pro dopravu mezi okresy,
- silnicemi III. tříd
  - určeny k vzájemnému spojení obcí nebo jejich napojení na ostatní pozemní komunikace,
- místními komunikacemi ve městech a obcích,

- veřejně přístupnými účelovými komunikacemi.

### 2.11.1 Správa a údržba komunikací

Dálnice, silnice a místní komunikace jsou vlastněny, spravovány a udržovány různými organizacemi a institucemi, které jsou uvedeny v tabulce 4. [13]

Tabulka 4. Správa a údržba komunikací [13]

Typ komunikace	Vlastník	Správa a údržba	Silniční správní úřad
Dálnice	Stát	ŘSD ČR	MDČR
Rychlostní silnice	Stát	ŘSD ČR, krajské SÚS, smluvní firmy	MDČR
Silnice I. třídy	Stát	Krajské SÚS, smluvní firmy	Krajské úřady
Silnice II. třídy	Kraj	Krajské SÚS, smluvní firmy	Úřady obcí s rozšířenou působností
Silnice III. třídy	Kraj	Krajské SÚS, smluvní firmy	Úřady obcí s rozšířenou působností
Místní komunikace	Města a obce	Technické služby, smluvní firmy	Úřady obcí pověřené výkonem státní správy
Veřejně přístupné účelové komunikace	Privátní nebo veřejné osoby	Smluvní firmy	Úřady obcí pověřené výkonem státní správy

Vysvětlivky:

ŘSD – Ředitelství silnic a dálnic

SÚS – Správa a údržba silnic

MDČR – Ministerstvo dopravy České republiky

## 2.12 Zahrnutí vlivu pohybujících se automobilů

Rozptyl prachových částic je rozhodujícím způsobem ovlivněn aktuálním rychlostním polem vzduchu. Rychlostní pole je utvářeno působením větru

a v blízkosti komunikací se přidává vliv pohybujících se automobilů. Vliv automobilů je pro řešení prostoru nad vozovkou a v těsném okolí komunikace ve většině případů dominantní. Obzvláště v situaci, kdy je přirozené vymývání nedostatečné (bezvětrí), rozhoduje pohyb automobilů o rychlosti šíření znečišťujících látek. Vliv pohybujících se automobilů:

- silového působení automobilů na vzduch,
- produkce kinetické energie turbulence. [4]

### 2.12.1 Silové působení

Silové působení vzduchu na jedoucí automobil je popsáno odporovou silou

$$F_D^p = \frac{1}{2} \rho C_D A_p |U_\infty^p - U_{car}^p| (U_\infty^p - U_{car}^p), \quad (1)$$

kde  $\rho$  je hustota vzduchu,  $C_D$  je odporový součinitel,  $A_p$  je čelní plocha automobilu,  $U_\infty$  je rychlost nabíhajícího proudu vzduchu a  $U_{car}$  je rychlost jízdy automobilu.

Reakcí k odporové síle je síla, kterou těleso působí na vzduch. Toto působení je zahrnuto do výpočtu jako objemová síla působící v místech, kterými automobily projíždí. Pro jednotlivé objemové elementy je pak vypočtena síla nahrazující pohyb automobilů.

### 2.12.2 Produkce kinetické energie turbulence

Pohybující se objekty indukují ve svém okolí dodatečnou kinetickou energii turbulence. Turbulence vzniká převážně v úplavu za automobilem. Proto lze dodatečné zdroje zahrnout podél trajektorie automobilu, do paprsků kontrolních objemů využitých pro zdroje hybnosti. Pro výpočet produkce kinetické energie turbulence je uveden následující vztah

$$S_k = C_{car} \rho_\infty (U_{car} - U_\infty)^2 Q_{car}, \quad (2)$$

kde  $C_{car}$  je modelová konstanta (0,4),  $\rho_\infty$  je hustota vzduchu,  $Q_{car}$  označuje intenzitu dopravy,  $U_{car}$  rychlost jízdy automobilu,  $U_\infty$  rychlost proudu vzduchu. [5]

## **3 Metodika měření**

### **3.1 Cíl práce**

Cílem práce je získání informací o vlivu pohybu vozidel rozdílných kategorií v silniční dopravě na znečištění ovzduší resuspendovanými prachovými částicemi PM<sub>10</sub> na povrchu dopravní trasy a v jejím blízkém okolí a získání objektivních informací o skutečném vlivu rychlosti jízdy vozidel v silniční dopravě na znečištění ovzduší emisemi z nespalovacích procesů.

Významnou zátěž ovzduší představuje zvíření 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.

### **3.2 Metodický postup**

1. Rešerše z oblasti sledování úrovně znečištění ovzduší poletavým prachem;
2. Vypracování zásad pro provádění měření koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě;
3. Výběr míst na měření na dopravních trasách v závislosti na kategorii vozidel pohybujících se na dopravní trase a na charakteru znečištění vozovek dopravních tras;
4. Měření hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě v závislosti na rychlosti jízdy dopravních zařízení a v závislosti na znečištění vozovky dopravní trasy;

5. Vypracování souhrnu poznatků na základě naměřených hodnot hmotnostní koncentrace polévatého prachu v závislosti na rychlosti jízdy dopravních zařízení a v závislosti na znečištění vozovky dopravní trasy.

### 3.3 Princip

Podstatou metody je prosávání 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 prosáváním zkoumaného ovzduší přístrojem. Před odběrem je nutné provést kalibraci nuly. Průtoková rychlost musí být dodržena shodná po celou dobu odběru na hodnotě  $3,0 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ .

### 3.4 Chyby při 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 změní 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 měřícího přístroje, chybným nastavením přístroje nebo selháním v důsledku lidského faktoru.

Zvýšenou pozorností a pečlivou kontrolou měřicího postupu lze hrubým chybám předejít.

## 3.5 Použité přístroje

### 3.5.1 Ruční anemometr



Obrázek 6. Ruční anemometr

Přístroj pro měření síly větru v  $\text{mílích.h}^{-1}$ ,  $\text{km.h}^{-1}$ ,  $\text{m.s}^{-1}$  nebo v uzlech.

#### Parametry:

- Podsvícený LCD displej,
- automatické odpojení proudu,
- chráněný proti vodě,
- napájení proudem 1 x 3 V - lithiové baterie typ CR2032,
- rozměry (V x Š x H) 98 x 39 x 17 mm,
- rozsah měření  $0,2 - 30 \text{ m.s}^{-1}$ ,
- přesnost měření  $\pm 5 \%$ .

### 3.5.2 Měřič životního prostředí Voltcraft



Obrázek 7. Měřič životního prostředí Voltcraft

Tímto přístrojem lze změřit úroveň osvětlení, hladiny zvuku, teploty a vlhkost vzduchu. Spojuje všechno v jednom přístroji. Sensory pro světlo, teplotu a vlhkost jsou opatřeny propojovacím kabelem.

#### Parametry:

- Rozměry (Š x V x H) 85 x 85 x 30 mm,
- čidlo typu K s přesností 0,1 °C: -20 až +50 °C (interní), -20 až +750 °C (externí),
- senzor vlhkosti vzduchu, světla a zvuku je integrovaný,
- baterie 9 V,
- vlhkoměr: 25 až 95 % RH s přesností 0,1 %



### 3.5.3 DustTRAK II 8530



Obrázek 8. DustTRAK II 8530

Toto zařízení je určeno k měření prachových částic  $PM_{10}$ ,  $PM_4$  a  $PM_{2,5}$ . Podstatou metody je prosávání vzduchu zařízením s filtrem, na němž se zvolená velikostní frakce polétavého prachu kvantitativně zachytí. Vstupním zařízením je impaktor, který zachycuje částice odlučovaných frakcí prachu. Vzorek prachu je získán prosáváním zkoumaného ovzduší přístrojem. Před odběrem je nutné provést kalibraci nuly. Kalibrace nuly je třeba vykonat vždy před jednotlivým měřením a vyžaduje, aby byl nasazený nulovací filtr.

#### Postup kalibrace:

- Stlačit tlačítko *Zero Cal*,
- připojit nulovací filtr,
- stlačit tlačítko *Start* pro spuštění procesu nulování,
- objeví se odpočítávání 60 vteřin indikující čas zbývající do konce nulování,
- po ukončení odpočítávání se na obrazovce zobrazí *Zero Cal Complete*,
- odstranit nulovací filtr, přístroj má nakalibrovanou nulu a je připravený k použití.

### 3.5.4 Pomůcky

- GPS,

- pásmo,
- záznamník a psací potřeby.

### 3.6 Použité vozy

- Vůz Peugeot 307 2.0 HDI (váha: 1496 kg, výfuk umístěn na zadní části vozu vlevo ohnutý směrem k zemi),
- vůz Fiat Ducato 2.3 JTD (váha: 1975 kg, výfuk umístěn na levém boku vozu pod řidičem ohnutý směrem k zemi).

### 3.7 Měření s DustTRAK II 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.

- Dotykem stylusu nebo koncem prstu se aktivuje *Setup* a objeví se ovládací políčka svisle vlevo, na modré obrazovce se zobrazí údaje o měřicím přístroji;
- 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);
- 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*“;
- Odstraní se nulovací filtr
- 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.

### 3.8 Meteorologické podmínky při měření

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

- rychlost větru musí být nižší než  $2 m.s^{-1}$ ;
- 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  $\pm 60^\circ$  od spojnice měřicího 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.

V souladu s pokyny vedoucího práce.

### **3.9 Období měření**

Měření je vhodné provádět v měsíci březnu až říjnu. Obecné doporučení je provádět měření v pracovních dnech. V mém případě byl provoz vozidel uměle vyvolaný, takže měření bylo prováděno cíleně.

### **3.10 Místo měření č. 1**

Tento měřený úsek se nachází kousek za obcí Čejkovice směrem na obec Češňovice v okrese České Budějovice.

#### Informace o místě měření:

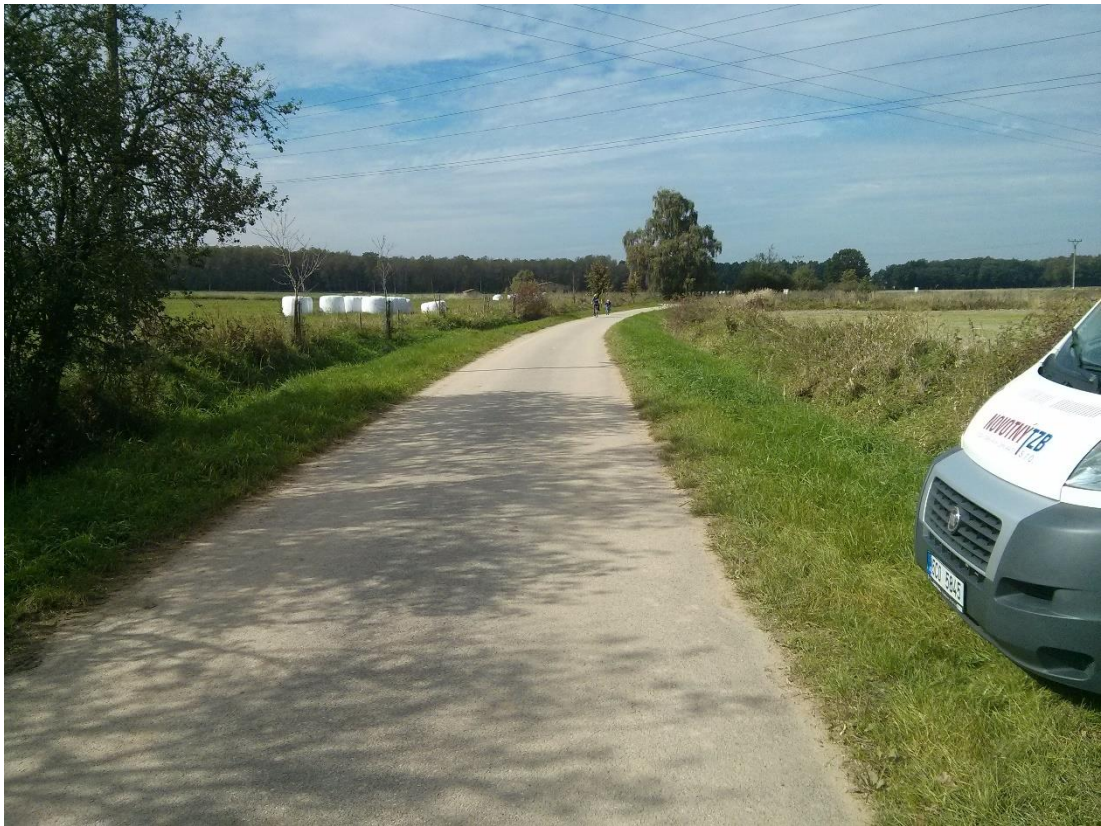
- Datum: 30. 9. 2014,
- den: úterý,
- čas měření: 13.05 hod,
- relativní vlhkost: 30,2 %,
- teplota: 29,5 °C,
- tlak: 1060 kPa,
- rychlost větru: 0,7 m.s<sup>-1</sup>,
- směr větru: jihozápad,
- GPS: 49.0169131 N, 14.3776325 E,
- kalibrační impaktor: 10 μm,
- vzdálenost mezi měřicími stanovišti: 50 m,
- silnice III. třídy.

Po změřeni meteorologických podmínek, odměření vzdáleností a vytvoření měřících bodů (na obrázku 5 vyznačeny čísla 1, 2, 3), kalibraci přístroje a domluvě s řidičem připravených vozů bylo zahájeno měření. Měření prašnosti probíhalo tak,

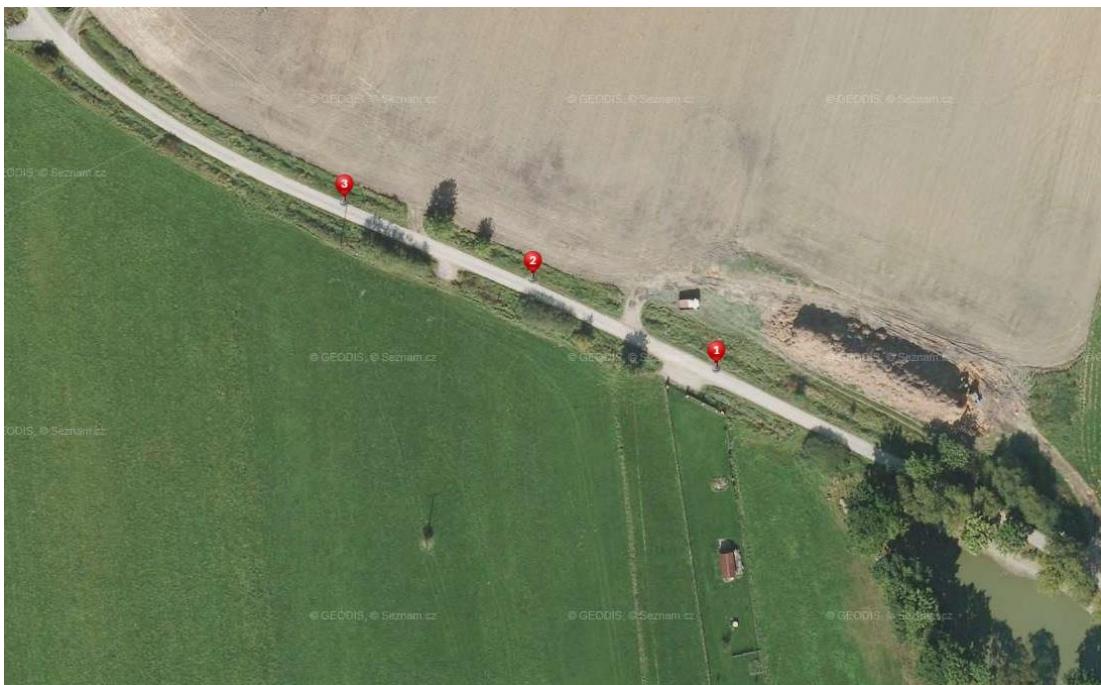
že řidič každým bodem v měřeném úseku projel s oběma vozy rychlostí 50, 60 a 70 km.h<sup>-1</sup>. Jednotlivou rychlostí se projelo 3x na každém bodě. Naměřené hodnoty byly ihned zapisovány do vytvořené tabulky v poznámkovém bloku, která byla přepsána do notebooku do tabulky 5. Z té pak byla vytvořena průměrná naměřená koncentrace prachu v ovzduší v každém měřícím bodě na měřeném úseku, která byla zaznamenána do tabulky 6.



*Obrázek 9. Snímek č. 1 z druhého měřícího bodu na měřícím úseku č. 1*



Obrázek 10. Snímek č. 2 z druhého měřicího bodu na měřicím úseku č. 1



Obrázek 11. Měřicí úsek č. 1

Zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

Tabulka 5. Naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší v měřeném úseku č. 1

Měřicí bod	Naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší [mg.m <sup>-3</sup> ]									Model vozidla
	1			2			3			
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	
Rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]										
<b>50</b>	0,225	0,083	0,163	0,084	0,105	0,079	0,072	0,122	0,104	<b>Fiat</b>
	0,183	0,158	0,093	0,115	0,036	0,054	0,212	0,048	0,079	<b>Peugeot</b>
<b>60</b>	1,240	0,089	0,112	0,061	0,386	0,293	0,090	0,093	0,072	<b>Fiat</b>
	0,246	0,104	0,155	0,022	0,070	0,057	0,359	0,107	0,032	<b>Peugeot</b>
<b>70</b>	0,078	0,276	0,043	0,281	0,206	0,163	0,084	0,211	0,377	<b>Fiat</b>
	0,073	0,115	0,108	0,118	0,107	0,192	0,237	0,171	0,037	<b>Peugeot</b>

Tabulka 6. Průměrná naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší v měřeném úseku č. 1

Měřicí bod	Průměrná naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší [mg.m <sup>-3</sup> ]			Model vozidla
	1.	2.	3.	
<b>Rychlost [km.h<sup>-1</sup>]</b>				
<b>50</b>	0,157	0,089	0,099	<b>Fiat</b>
	0,145	0,068	0,113	<b>Peugeot</b>
<b>60</b>	0,480	0,247	0,085	<b>Fiat</b>
	0,168	0,050	0,166	<b>Peugeot</b>
<b>70</b>	0,132	0,217	0,224	<b>Fiat</b>
	0,099	0,139	0,148	<b>Peugeot</b>

### 3.11 Místo měření č. 2

Tento měřený úsek se také nachází kousek za Čejkovicemi směrem na Češňovice v okrese České Budějovice, avšak o 1200 m dál.

#### Informace o místu měření:

- Datum: 30. 9. 2014,
- den: úterý,
- čas měření: 15.35 hod,
- relativní vlhkost: 30,8 %,
- teplota: 28,9 °C,
- tlak: 1067 kPa,
- rychlost větru: 1,3 m.s<sup>-1</sup>,
- směr větru: sever,
- GPS: 49.0230222 N, 14.3670786 E,
- kalibrační impaktor: 10 µm,
- vzdálenost mezi měřicími stanovišti: 50 m,
- silnice III. třídy.



Po dojetí na místo jsem opět změřil meteorologické podmínky, odměřil vzdálenosti a vytvořil měřící body (na obrázku 8 vyznačeny čísly 1, 2, 3), kalibroval přístroj, domluvil se s řidičem a začal měřit. Měření a zápis naměřených hodnot probíhal stejně jako na úseku č. 1, tedy zapisování do poznámkového bloku. Naměřené hodnoty jsem zaznamenal do tabulky 7. Z naměřených hodnot jsem určil průměrnou naměřenou prašnost, která je zaznamenána v tabulce 8.

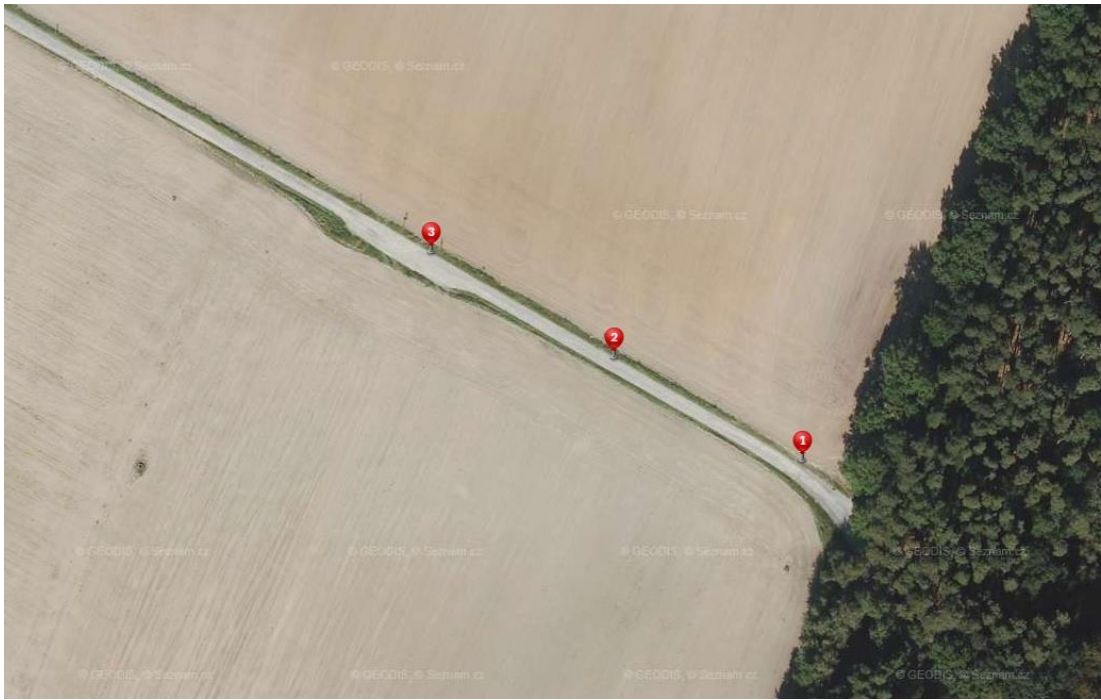


*Obrázek 12. Snímek č. 1 z prvního měřícího bodu na měřícím úseku č. 2*

Na obrázku 12 lze vidět zvolený měřící bod č. 1 na měřeném úseku č. 2 u zabahněného vjezdu na pole. Z tohoto důvodu jsou naměřené hodnoty podstatně vyšší než na úseku č. 1.



*Obrázek 13. Snímek č. 2 na měřený úsek č. 2*



Obrázek 14. Měřený úsek č. 2

Zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

Tabulka 7. Naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší v měřeném úseku č. 2

	Naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší [mg.m <sup>-3</sup> ]									
Měřicí bod	1			2			3			Model vozidla
Měření	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	
Rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]										
<b>50</b>	3,14	9,11	8,32	6,12	10,50	10,22	2,60	6,38	2,19	<b>Fiat</b>
	13,80	20,46	7,14	17,3	24,76	12,10	1,08	8,73	6,40	<b>Peugeot</b>
<b>60</b>	10,50	8,41	16,60	33,40	12,22	2,14	6,83	10,70	18,13	<b>Fiat</b>
	22,70	30,21	19,80	8,51	17,40	11,32	9,21	4,40	13,35	<b>Peugeot</b>
<b>70</b>	40,60	18,63	62,30	72,30	20,80	8,42	7,14	2,60	20,82	<b>Fiat</b>
	58,24	45,20	53,80	31,17	16,90	18,67	31,80	18,23	5,43	<b>Peugeot</b>

Tabulka 8. Průměrná naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší v měřeném úseku č. 2.

Měřicí bod	Průměrná naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší [mg.m <sup>-3</sup> ]			Model vozidla
	1.	2.	3.	
<b>Rychlost [km.h<sup>-1</sup>]</b>				
<b>50</b>	6,856	8,947	3,723	<b>Fiat</b>
	13,823	18,053	5,403	<b>Peugeot</b>
<b>60</b>	11,837	15,92	11,886	<b>Fiat</b>
	24,236	12,410	8,987	<b>Peugeot</b>
<b>70</b>	40,510	33,840	10,187	<b>Fiat</b>
	52,413	22,247	18,487	<b>Peugeot</b>

## 4 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo změření hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě v závislosti na rychlosti jízdy. V mém případě byl provoz vozidel uměle vyvolaný, takže měření bylo prováděno cíleně. Na dvou zvolených trasách, kde podmínky pro měření byly odlišné, jsem měřil hmotnostní koncentraci polétavého prachu při projetí dvou rozdílných vozidel třemi různými rychlostmi. Tyto dvě trasy byly pro mé cílené měření vyhovující, jelikož vozovky jsou velice málo využívané. Celé měření probíhalo s impaktorem o velikosti 10  $\mu\text{m}$ .

Na prvním úseku, který lze vidět na obrázcích 9 a 10 je vidět, že měřená komunikace byla udržovaná a ze stran částečně kryta zelení, což působí jako filtr pro prašné částice. Hodnoty z jednotlivého měřeného průjezdu vozidla z tohoto důvodu byly poměrně nízké a jsou zaznamenané v tabulce 5.

Na druhém úseku, který je patrný na obrázcích 12 a 13 je vidět, že tato měřená komunikace nebyla nijak udržovaná, nebyla nijak kryta zelení a byly na ní vedeny výjezdy z pole. To zapříčinilo větší usazení půdního materiálu a prašných částic na vozovku. Byla zde téměř dvojnásobná rychlost proudění větru ( $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), která zapříčinila větší odchylky při měření, než na prvním úseku s poloviční rychlostí větru ( $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Vzhledem těmto faktům byly naměřené hodnoty vyšší, což je patrné z tabulky 7.

Závěrem lze konstatovat, že celková koncentrace prachových částic záleží především na rychlosti vozidel a to zpravidla v poměru čím vyšší rychlost, tím je vyšší koncentrace prachových částic v ovzduší. Koncentrace prachových částic v ovzduší také závisí na úrovni znečištění vozovky. Velkou roli při měření koncentrace polétavého prachu mají také povětrnostní podmínky. Těmi jsou rychlost a směr větru, relativní vlhkost, teplota a tlak. Základním předpokladem pro měření je, aby se před dnem měření a během něho nevyskytovaly žádné srážky a silnice byla suchá, což v mém případě platilo. Dalšími faktory ovlivňující měření je také kategorie vozidla, četnost a výskyt zeleně kolem měřené komunikace.

## Použitá literatura

- [1] Adamec, V. a kol.: *Doprava, zdraví a životní prostředí*, GRADA, Praha 2008, 160s
- [2] Celjak, I.: *Dopravní a manipulační zařízení*, interní učební text pro e-čtečky, ZF, JU v Č.Budějovicích, 2010, 112 s.
- [3] Hnilicová, H., Hůnová, I., Maznová, J., Vlček, O.: *Zlepšení metod hodnocení znečištění ovzduší částicemi PM<sub>10</sub> na území České republiky*, Občanské sdružení ochrana kvality ovzduší, 2009
- [4] Pospíšil, J.: *Numerické modelování transportu suspendovaných částic generovaných silniční dopravou*, VUTIUM, Brno 2007, 25s
- [5] Pospíšil, J.: *Řešení rozptylu emisí produkovaných automobily v městské zástavbě*, VUT, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, 2003, 26s
- [6] Villanyi, V.: *Air Pollution*, Sciyo, Indie 2010, 378s
- [7] Zákon 56/2001 o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích
- [8] <http://www.airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.particle>, staženo dne 27. 12. 2014
- [9] <http://arnika.org/latky-znecistujici-ovzdusi>, staženo dne 27. 12. 2014
- [10] <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/3-benzoapyren?gclid=CL-vwvDm6MICFUT3wgodcRIATQ>, staženo dne 27. 12. 2014
- [11] <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/13-poletavy-prach-pm10-pm25-pm10?gclid=CMerr-q85sICFWSWtAodaU8AtQ>, staženo dne 27. 12. 2014
- [12] <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>, staženo dne 28. 12. 2014
- [13] <http://www.dopravniinfo.cz/sit-pozemnich-komunikaci>, staženo dne 29. 12. 2014
- [14] [http://europa.eu/legislation\\_summaries/transport/road\\_transport/index\\_cs.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/transport/road_transport/index_cs.htm), staženo dne 28. 12. 2014
- [15] <http://www.greenfacts.org/en/particulate-matter-pm/level-2/01-presentation.htm>, staženo dne 27. 12. 2014
- [16] <http://hluk.eps.cz/hluk/emise/poletavy-prach---neviditelna-hrozba/>, staženo 27. 12. 2014

- [17] [http://www.irz.cz/repository/latky/poletavy\\_prach.pdf](http://www.irz.cz/repository/latky/poletavy_prach.pdf), staženo dne 27. 12. 2014
- [18] [http://www.mp-bagr.cz/pujcovna/kategorie\\_vozidel.htm](http://www.mp-bagr.cz/pujcovna/kategorie_vozidel.htm), staženo dne 28. 12. 2014
- [19] [http://www.petroleum.cz/upload/ap\\_2006\\_02.pdf](http://www.petroleum.cz/upload/ap_2006_02.pdf), staženo dne 28. 12. 2014
- [20] <http://www.pevi.cz/zajimavosti-z-oboru/prasnost-na-pracovisti-i.html>,  
staženo dne 27. 12. 2014
- [21] [http://www.rovs.cz/download/nv361\\_2007/361\\_2007\\_priloha\\_3.pdf?v=2](http://www.rovs.cz/download/nv361_2007/361_2007_priloha_3.pdf?v=2),  
staženo dne 27. 12. 2014
- [22] <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>, staženo  
dne 27. 12. 2014
- [23] [http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=alternativni\\_paliva&site=doprava](http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=alternativni_paliva&site=doprava),  
staženo 27. 12. 2014



## Seznam tabulek

Tabulka 1. Kategorie motorových vozidel [2], [18] .....	29
Tabulka 2. Hodnoty emisních limitů EURO pro vznětové motory [12].....	30
Tabulka 3. Hodnoty emisních limitů EURO pro zážehové motory [12] .....	30
Tabulka 4. Správa a údržba komunikací [13] .....	35
Tabulka 5. Naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší v měřeném úseku č. 1.....	47
Tabulka 6. Průměrná naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší v měřeném úseku č. 1.....	48
Tabulka 7. Naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší v měřeném úseku č. 2.....	52
Tabulka 8. Průměrná naměřená koncentrace prachových částic v ovzduší v měřeném úseku č. 2.....	53

## Seznam obrázků

Obrázek 1. Víceúčelový komunální stroj EGHOLM 2250.....	21
Obrázek 2. Kropička pro skrápění povrchu vozovek.....	22
Obrázek 3. Doplnění zeleně kolem komunikace.....	23
Obrázek 4. Silniční a dálniční síť ČR – mapa.....	33
Obrázek 5. Silniční a dálniční síť ČR – popis.....	34
Obrázek 6. Ruční anemometr.....	39
Obrázek 7. Měřič životního prostředí Voltcraft.....	40
Obrázek 8. DustTRAK II 8530 .....	41
Obrázek 9. Snímek č. 1 z druhého měřicího bodu na měřícím úseku č. 1 .....	45
Obrázek 10. Snímek č. 2 z druhého měřicího bodu na měřícím úseku č. 1 .....	46
Obrázek 11. Měřicí úsek č. 1 .....	46
Obrázek 12. Snímek č. 1 z prvního měřicího bodu na měřícím úseku č. 2.....	49
Obrázek 13. Snímek č. 2 na měřený úsek č. 2 .....	50
Obrázek 14. Měřený úsek č. 2.....	51