

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 – Zemědělství

Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika: obchod, servis a služby

Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Rozbor negativních externalit silniční dopravy

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ivo Celjak, CSc.

Autor bakalářské práce: Vít Bartůšek

České Budějovice, 2018

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zemědělská fakulta
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vít BARTÚŠEK**
Osobní číslo: **Z16097**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **ZDTb-17 - specializace Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Rozbor negativních externalit silniční dopravy**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky**

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

Cíl práce:

Cílem práce je provedení studia vybraných externalit pozemních dopravních zařízení v lidském prostředí. Provést hlubší rozbor tří vybraných externalit.

Metodický postup:

1. Rešerše z oblasti externalit silniční dopravy.
2. Provedení analýzy hlavních faktorů, které významně ovlivňují lidskou společnost.
3. Na základě provedených analýz a zjištěných dat vypracovat souhrn poznatků o úrovni negativních vlivů pozemní dopravy na lidskou společnost.

Rozsah grafických prací: obrázky, fotografie, grafy dle potřeby

Rozsah pracovní zprávy: 60 - 80 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Adamec, V. a kol.: *Doprava, zdraví a životní prostředí*, GRADA, Praha 2008, 160 s.; Celjak, I.: *Ovlivnění fidičů emisemi prachových částic ze spalovacích a nespalovacích procesů*, *Komunální technika*, 2/2015, roč. IX, s. 50-43, ISSN 1802-2391.; Celjak, I.: *Externality silniční dopravy v obcích*, *Komunální technika*, 11/2015, roč. IX, s. 14-18, ISSN 1802-2391; Dufek, J., Huzlík, J.: *Metodika pro stanovení emisní zátěže látek znečišťujících ovzduší v České republice*, Brno, Centrum dopravního výzkumu, 2001, 21 s.; Havránek, J. a kol.: *Hluk a zdraví*. Avicenum, Praha, 1990, 280 s. ISBN 80-201-0020-2; 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; Krzyzanowsky, M., Kuna-Dibbert, B.: *Health effects of transport-related air pollution*. Copenhagen, WHO Europe, 2005, ISBN 92-890-1373-7, 205 p; Nový, R.: *Hluk a chvění*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1995, s. 16-17. ISBN 80-01-01306-5; Martuzzi, M., Galasi, C., Ostro, B.: *Health Impact Assessment of Air Pollution in the Eight Major Italian Cities*, Roma, WHO, 2002, 61 p; Smetana, C. a kol.: *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*, Praha, Sdělovací technika 1998, s. 54-57. ISBN 80-901936-2-5; Šuta, M., Bencko, V.: *Zdravotní rizika znečištění ovzduší nejvýznamnějšími automobilovými emisemi*, *Praktický lékař*, 1998, roč. 78, č. 6 a 10, ISSN 0032-6739; *Národní akční plán čisté mobility*, říjen 2015, Ministerstvo průmyslu a obchodu; *Metodika výpočtu emisí CO₂ motorových vozidel podle U. S. Environmental Protection Agency*; *Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, § 4 odst. 2; Vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší § 3 odst. 5.*

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ivo Celjak, CSc.

Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: 4. ledna 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2019


prof. Ing. Miroslav Šech, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA ©
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní středisko
Číslo úlohy: 1994, 878 04 Česká Budějovice


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

V Českých Budějovicích dne 21. února 2018

Prohlášení autora

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

.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval svému vedoucímu Ing. Ivo Celjakovi, CSc. za odborné vedení, vstřícný přístup, cenné rady a čas strávený při konzultacích mé bakalářské práce.

Abstrakt

První část této práce pojednává a seznamuje v podobě rešerše s pojmy týkající se silniční dopravy. Vysvětluje, jak se rozdělují negativní externality silniční dopravy. Dále pak stručně popisuje jednotlivé externality. Vybrané externality jsou tu popsány více dopodrobna.

Druhá část práce je pak zaměřena na provedené měření hladiny hluku a koncentrace polétavého prachu PM_{10} v pěti vybraných lokalitách. Zahrnuje metodický postup vlastního měření. Uvádí se zde jak zjištěné hodnoty měřených veličin, tak i další okolnosti nezbytné pro doplnění měření jako jsou: charakter dopravní trasy, druh a počet dopravních zařízení prostředí a počasí. Zkoumá se zde i jejich působení na lidské zdraví.

V následující diskusi jsou vyhodnoceny naměřené hodnoty sledovaných externalit ovlivňujících lidskou společnost. Naměřené hodnoty jsou zde dány do souvislostí a porovnány s očekáváními výsledky uváděnými ve zkoumané literatuře a se stanovenými limity.

V závěru práce jsou shrnuty negativní externality s uvedenými možnostmi a doporučeními pro zmírnění či úplné odstranění jejich dopadu na lidskou společnost a životní prostředí.

Klíčová slova: Silniční oprava; externality, životní prostředí, znečištění ovzduší, hluk; lidské zdraví

Abstract

The first part of this thesis, the recherche form, focuses on vocabulary connected with traffic. The work explains how are divided negative externalities traffic. The next part briefly describes single externalities.

The second part of the thesis deals with made measurement of surface noise and concentration of flying dust PM_{10} in five chosen locations. It contains methodical process of my own measurement. This part presents detected values of the measurement as well as the other essential conditions as for instance the character of the traffic line, the type and number of traffic facilities, the environment and the weather. Here are also examine their effects on human health.

The next discourse appraises the measured values of followed externalities which influence human society. The measured values are in connection and comparison to expected results which are mentioned in the studied literature.

The last part of the thesis sums up the negative externalities and the opportunities how to reduce or to remove it's impact on human society and the environment.

Keywords: road transport; externalities; environment; air pollution; noise; human health

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Literární rešerše.....	12
2.1	Silniční doprava.....	12
2.1.1	Silniční motorová vozidla	12
2.1.2	Pozemní komunikace	14
2.2	Negativní externality silniční dopavy	15
2.2.1	Poškození životního prostředí ztrátami nebezpečných nákladů a únikem pohonných hmot při nehodách	16
2.2.2	Vliv dopravních tras na krajinu.....	16
2.2.3	Smrt domácích zvířat a divoké zvěře vlivem kolizí s dopravními zařízeními.....	16
2.2.4	Omezení pohybu lidí v okolí frekventovaných dopravních tras	17
2.2.5	Negativní světelné účinky, způsobené vozidly, kolem dopravních tras 17	
2.2.6	Výstavba nových dopravních tras	17
2.3	Znečištění ovzduší	17
2.3.1	Zdroje znečištění	18
2.3.2	Prachové částice	19
2.3.3	Rozdělení prachových částic na dopravní trase	20
2.3.4	Plynné látky znečišťující ovzduší vznikající při spalovacích procesech automobilů	22
2.3.5	Emisní normy EURO	24
2.3.6	Imisní limity a maximální počet jejich překročení	25
2.4	Hluk	27
2.4.1	Základní veličiny.....	28
2.4.2	Limity hluku.....	30
2.4.3	Fyziologická akustika – sluch	31

2.4.4	Decibelová stupnice v akustice	33
2.4.5	Šíření zvuku v reálném plynném prostředí	34
2.4.6	Hluk dopravních prostředků.....	35
2.4.7	Prostředky ochrany před hlukem	37
2.4.8	Vibrace	38
3	Cíl práce	39
4	Metodika zpracování práce	40
5	Vlastní práce.....	41
5.1	Použité přístroje pro měření	41
5.2	Dílčí metodika měření hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě.....	41
5.2.1	Cíl měření koncentrace prachových částic v ovzduší	41
5.2.2	Princip měření	42
5.2.3	Místa měření v zastavěném i nezastavěném území.....	42
5.2.4	Zjišťované a udávané údaje	42
5.2.5	Doba měření	43
5.2.6	Dopravní údaje	43
5.2.7	Dopravně – inženýrské údaje	43
5.3	Dílčí metodika měření hluku v silniční dopravě	43
5.3.1	Cíl měření hluku silniční dopravy.....	43
5.3.2	Měření	44
5.4	Vlastní měření	46
5.4.1	Čechova ulice, Benešov	46
5.4.2	Nová pražská ulice, Benešov	49
5.4.3	E 55, Benešov	52
5.4.4	Východní obchvat Benešova.....	55
5.4.5	Vlašimská ulice, Benešov	58

5.5	Poškození zdraví vlivem prachu a hluku.....	61
5.5.1	Poškození zdraví vlivem hluku	61
5.5.2	Poškození zdraví vlivem prachu	63
6	Diskuse.....	65
7	Závěr	68
8	Seznam použité literatury.....	71
9	Seznam obrázků	76
10	Seznam tabulek	78
11	Seznam zkratek	79

1 Úvod

Silniční doprava je v současné době jedna z nejvíce využívaných a rozvíjejících se způsobů přepravy osob, materiálu a zboží. Se vzrůstajícím významem tohoto způsobu přepravy však roste i hustota dopravních cest a počet dopravních prostředků. Z těchto důvodů narůstá i negativní zátěž na přírodu a lidskou společnost.

Tyto vlivy, které nepůsobí jen přímo na účastníky přepravy, ale i na lidi, kteří se silniční dopravy přímo neúčastní, označujeme jako externality silniční dopravy. Negativní externality silniční dopravy jsou pak takové externality, které způsobují škody na majetku jiných osob, nižší finanční výnosy jiných subjektů, nepohodlí a omezení svobody lidí a negativně působí na životní prostředí a zdraví lidí. Mezi tyto nežádoucí jevy můžeme zařadit všechny nepříjemné až zdraví a život ohrožující důsledky silniční dopravy jako jsou např.: hluk emitovaný silniční dopravou a s ním související vibrace, znečištění ovzduší skleníkovými plyny a poléťavými prachovými částicemi, srážky divoké zvěře s dopravními prostředky, omezení pohybu lidí v okolí frekventovaných dopravních tras atp.

Snahou dnešní společnosti je tyto negativní dopady silniční dopravy, pokud možno odstranit nebo alespoň snižovat na přijatelnou úroveň.

Tématem této práce je tedy seznámení s danou problematikou týkající se negativních externalit silniční dopravy. Provedení rešerše na témata související se silniční dopravou a jejími negativními dopady na lidskou společnost a životní prostředí. Dále pak provedení analýzy hlavních faktorů silniční dopravy, které významně negativně ovlivňují lidskou společnost. Provedení měření vybraných faktorů, zkoumání jejich ovlivňování lidského zdraví a návrh na jejich zmírnění či odstranění.

2 Literární rešerše

2.1 Silniční doprava

Silniční dopravu můžeme charakterizovat jako činnost spjatou s cílevědomým přemísťováním osob nebo hmotných předmětů (nákladů), v různých objemových, časových a prostorových souvislostech s použitím různých dopravních prostředků a technologií. V dnešní době se v dopravě klade důraz na bezpečnost, rychlost, hospodárnost a u osobní přepravy také na pohodlnost a kulturnost (ZELENÝ, 2000). Doprava je definována jako záměrná činnost spočívající v přemísťování věcí nebo osob. Tato činnost se uskutečňuje pomocí dopravního prostředku po dopravních trasách v čase a prostoru (TICHÁ, 2007).

Silniční dopravy a její výkony rostou rychleji než ostatní druhy dopravy. Dochází však k přetížení silničních sítí. Kapacita silniční infrastruktury je přetěžována zejména v místech, kde dochází ke koncentraci obyvatelstva, ekonomických aktivit a kde existuje určité prostorové omezení. Řešení této vzniklé situace je však velmi obtížné. S tím, jak roste výkon silniční dopravy, rostou i ekologická zatížení prostředí a ostatní negativní vlivy dopravy. Hlavní příčinou přetěžování silniční infrastruktury je nadměrná a uměle zvyšovaná poptávka po zboží a suboptimální rozhodování uživatelů silniční infrastruktury (ZELENÝ, 2000).

2.1.1 Silniční motorová vozidla

Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích definuje silniční vozidlo jako motorové nebo nemotorové vozidlo, které je vyrobené za účelem provozu na pozemních komunikacích pro přepravu osob, zvířat nebo věcí (zákon č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, 2001).

Základní kategorie vozidel

Silniční vozidla a zvláštní vozidla se rozdělují na jednotlivé druhy a kategorie. Rozeznáváme tyto základní druhy:

- Motocykly
- Osobní automobily
- Autobusy
- Nákladní automobily
- Přípojná vozidla

- Ostatní silniční vozidla
- Vozidla zvláštního určení a speciální vozidla
 - Zemědělské nebo lesnické traktory a jejich přípojná vozidla
 - Pracovní stroje samojízdné,
 - Pracovní stroje přípojně a výměnné tažené stroje,
 - 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 km.h⁻¹ nebo jejich maximální přípustná hmotnost převyšuje 450 kg, (zákon č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, 2001).

Tyto druhy vozidel se pak podle přílohy zákona č. 56/2001 Sb. vymezují do 7 základních kategorií vozidel:

- L, Motorová vozidla zpravidla s méně než čtyřmi koly.
- M, Motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu osob.
- N, Motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu nákladů.
- O, Přípojná vozidla.
- S, Pracovní stroje.
- T, Traktory zemědělské nebo lesnické.
- R, Ostatní vozidla, která nelze zařadit do výše uvedených kategorií (zákon č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, 2001).

Počty, nárůst a pokles počtů silničních motorových vozidel v ČR

V roce 2017 vzrostl počet registrovaných motorových vozidel o 3,9 %. O zhruba stejné procento vzrostl i celkový počet všech vozidel na téměř 7,9 milionů. Z tohoto počtu bylo k 1.1.2018 registrováno 5 538 222 osobních automobilů. Nejvíce automobilů je starší 10 let a to 60 %, starší 5 let je pak 80 % osobních vozů.

Počet nákladních vozů vzrostl o více než 3 %. Starších jak 10 let jich je necelých 52 %. Dále vzrostl počet mikrobusů a autobusů také o 3 % a počet motocyklů o necelých 5 %. Jediná významná kategorie vozidel, u které meziročně poklesl počet registrovaných kusů, byly silniční tahače a to o 8 % (MDČR, 2018).

2.1.2 Pozemní komunikace

Pozemní komunikace se dělí na tyto kategorie:

- Dálnice
- Silnice
- Místní komunikace
- Účelová komunikace

Silnice se podle svého určení a dopravního významu rozdělují do těchto tříd:

- Silnice I. třídy, která je určena zejména pro dálkovou a mezistátní dopravu
- Silnice II. třídy, která je určena pro dopravu mezi okresy
- Silnice III. třídy, která je určena k vzájemnému spojení obcí nebo jejich napojení na ostatní pozemní komunikace

Místní komunikace se rozdělují podle dopravního významu, určení a stavebně technického vybavení do těchto tříd:

- Místní komunikace I. třídy
- Místní komunikace II. třídy, kterou je dopravně významná sběrná komunikace s omezením přímého připojení sousedních nemovitostí
- Místní komunikace III. třídy, kterou je obslužná komunikace
- Místní komunikace IV. třídy, kterou je komunikace nepřístupná provozu silničních motorových vozidel nebo na které je umožněn smíšený provoz (Zákon č. 13/1997 sb. o pozemních komunikacích).

Pozemní komunikace jsou v ČR využívány nerovnoměrně. Intenzita dopravy na dálnicích a některých silnicích I. třídy dosahuje v dopravní špičce kapacitních možností nebo je dokonce přesahuje (vznikají kongesce). Naopak kapacita silnic nižších tříd je plně využita jen zřídka kdy v důsledku určitých okolností (EISLER, 2006).

Hustota provozovaných dálnic v ČR je značně nižší, než je v ostatních vyspělých zemích Evropy. Po silnicích I. třídy je v současné době realizováno 43,2 % výkonů silniční dopravy v republice. Tyto silnice však svým vybavením, uspořádáním a stavem vozovek i mostů neodpovídají vzrůstajícím potřebám zejména nákladní silniční dopravy. Velkým problémem u silnic I. tříd je jejich nedostatečná únosnost. Okolo 58 % silnic I. třídy nedosahuje potřebné únosnosti (ČIHÁK A KOL., 2013).

2.2 Negativní externality silniční dopravy

Za negativní externality automobilové dopravy lze považovat všechny jevy, které vytvářejí nepohodlí a strádání lidem, společnosti, ale i zvířatům, které se přímo neúčastní provozu na dopravních komunikacích. Při těchto externalitách vznikají nehrazené škody na majetku, zásah do krajiny. Dále pak externality ovlivňují život lesní a polní zvěře a negativně působí na životní prostředí.

Jako negativní externality silniční dopravy považujeme:

- Znečištění ovzduší prachovými částicemi a emisemi ze spalovacích procesů
- Hluk, který pochází z dopravy
- Vibrace, které mohou poškozovat a ovlivňovat stavby okolo dopravní trasy
- Poškození životního prostředí způsobeného ztrátami nebezpečných nákladů a únikem pohonných hmot při nehodách
- Vliv dopravních tras na ráz krajiny
- Smrt domácích zvířat a divoké zvěře vlivem kolizí s dopravními prostředky
- Omezení pohybu lidí v okolí frekventovaných dopravních tras
- Negativní světelné účinky, způsobené vozidly, kolem dopravních tras
- Výstavbu nových dopravních tras (CELJAK, 2015).

2.2.1 Poškození životního prostředí ztrátami nebezpečných nákladů a únikem pohonných hmot při nehodách

Znečištění půd a vod nebezpečnými látkami se děje buďto přímým anebo nepřímým způsobem. K přímému způsobu znečištění povrchových a podzemních vod dochází vlivem nezabezpečení nebezpečných nákladů na korbách a formou havárií, při nichž dochází k úniku škodlivých látek. Nepřímé znečišťování vod je více časté. Dochází k němu při odtékání srážkových vod z povrchu vozovky do volné přírody. Srážkové vody s sebou unášejí ropné produkty a chemické látky vyskytující se na dopravní trase. Při styku těchto chemických látek s horninami dochází k fyzikálním a biologickým procesům. Ropné látky se odbourávají a půda se samovolně regeneruje. Tento proces však trvá i řadu let (CELJAK, 2015).

2.2.2 Vliv dopravních tras na krajinu

Dopravními trasami může být narušen volný pohyb lidí v přírodě. Svodnými příkopy je v krajině pozměněn vodní režim. Přírodní biotopy jsou dopravními trasami rozdělovány a ohraničeny, což může mít za následek ohrožení nebo dokonce vymizení některých citlivějších druhů (CELJAK, 2015).

2.2.3 Smrt domácích zvířat a divoké zvěře vlivem kolizí s dopravními zařízeními

Domácí zvířata jsou řešena v zákoně o provozu na pozemních komunikacích v § 60, odst. (11) který ukládá vlastníkům nebo držitelům domácích zvířat povinnost zabránit volný pohyb těchto zvířat po pozemních komunikacích. Proto se o negativní externalitu jedná pouze v případě, kdy bylo domácí zvíře na vozítku, sraženo na komunikaci, za doprovodu majitele nebo majitelem jinak vedeno (CELJAK, 2015).

Srážky s divokou zvěří jsou rok od roku častější. V průměru je za jeden měsíc sraženo okolo 1000 kusů divoké zvěře (CDV, 2018). V roce 2017 se zvýšil počet střetů vozidel se zvěří o 15 % na 12 043 případů. Jedná se o čtvrtý nejčastější typ dopravní nehody. Většina hlášených srážek a to 80 až 90 % je se srnčí zvěří. Skutečné počty sražené zvěře jsou však vyšší, než uvádějí policejní statistiky. Dle očekávání se v následujících pěti letech počty srážek se zvěří nesníží vzhledem k narůstající hustotě dopravy, rychlosti jízdy vozidel a zvyšování počtu zvěře v našich honitbách (KUŠTA, 2018).

2.2.4 Omezení pohybu lidí v okolí frekventovaných dopravních tras

Pokud se lidé pohybují pěšky přes dopravní trasu, může je tento úkon zdržet, pokud čekají u přechodu pro chodce, až vozidla zastaví, nebo u semaforu, až jim semafor rozsvícením zeleného světla umožní přechod frekventované dopravní trasy. Lidé s tím musejí počítat a stanovit si dostačující časovou rezervu, v opačném případě mohou na požadované místo dorazit se zpožděním což je shodně jako navýšení času na přesun negativní externalita (CELJAK, 2015).

2.2.5 Negativní světelné účinky, způsobené vozidly, kolem dopravních tras

Tato negativní externalita se projevuje zejména v nočních hodinách, kdy automobily na dopravní trase svítí svými světly do zahrad, oken rodinných domů a bytů při odbočování, průjezdu zatáčkou, překonávání nadjezdů, výjezdu z podjezdů a přejíždění železničních přejezdů. Tento jev pak negativně působí na kvalitu spánku a pohodu při uskutečňování běžných domácích činností (CELJAK, 2015).

2.2.6 Výstavba nových dopravních tras

Z důvodu výstavby nových dopravních tras jsou lidé nuceni změnit své zažité návyky pohybu v prostředí. Lidé se v některých případech obtížněji dostávají na své pozemky (pole, louky, zahrady, rybníky). Tyto nové trasy sice způsobí strádání některým lidem, ale z pohledu společnosti jsou pro životy lidí přínosné (CELJAK, 2015).

2.3 Znečištění ovzduší

Znečištěním ovzduší se rozumí stav, kdy se v ovzduší vyskytují látky, které při určité koncentraci nebo po určité době působení mohou u člověk narušit pocity pohody a také mohou ohrozit nebo poškodit zdraví lidí, ale i jiných živých organismů a neživou část přírody, či lidské výrobky (KALAČ, 2010). Jiná definice říká, že znečištění ovzduší lze považovat za stav, kdy se různé cizorodé a často toxické látky vyskytují v ovzduší v takovém množství, jež je neúnosné a převyšuje nejvýše přípustné koncentrace (BECKO A SYMON, 1988).

Zemská atmosféra je stále více vystavována antropogennímu znečištění. Nejčastějšími látkami emitovanými do ovzduší jsou oxid uhličitý, oxid uhelnatý, oxidy dusíku, oxid siřičitý, různé těkavé organické sloučeniny a prašný aerosol (BEDNÁŘ, 2009). Znečištění ovzduší je jeden z faktorů, který má vliv na lidské zdraví. Může se projevovat vyskytnutím nebo zhoršením subjektivních obtíží nebo také objektivních

poruch zdraví, tyto potíže mohou vznikat při vystavování se škodlivinám v ovzduší a vstřebáváním dýchacím ústrojím (ČHMÚ, 2016).

Jedním z nejobvyklejších negativních důsledků lidských činností je znečištění ovzduší. Toto jednání patří k nejvýznamnějším ohrožením životního prostředí. U nás v České republice, se tento problém bere velmi na vědomí, proto jsme o kvalitě ovzduší spolehlivě a pravidelně informováni. Pozornost je nejvíce zaměřena na velká města, kde lze předpokládat největší znečištění a kde žije nejvíce lidí. Občané jsou informováni především o koncentracích tří zásadních škodlivin: prachu PM₁₀, oxidu dusíku a oxidu siřičitého (MOLDAN, 1997).

2.3.1 Zdroje znečištění

Látky znečišťující ovzduší se do něj dostávají z emisních zdrojů nejrůznějších typů (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Tyto zdroje pak lze dělit podle různých kritérií. Jedno ze způsobů dělení může být podle původu zdroje. Původ zdroje je pak přirozený nebo antropogenní (BRANIŠ A HŮNOVÁ 2009).

Přirozené zdroje

Přirozené zdroje lze definovat jako ty aktivity, které jsou přírodního charakteru a nezpůsobil je člověk svou činností (KURFÜRST, 1982). Mezi přírodní zdroje řadíme vulkanickou činnost, bakteriální činnost, písečné a prašné bouře atp. (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

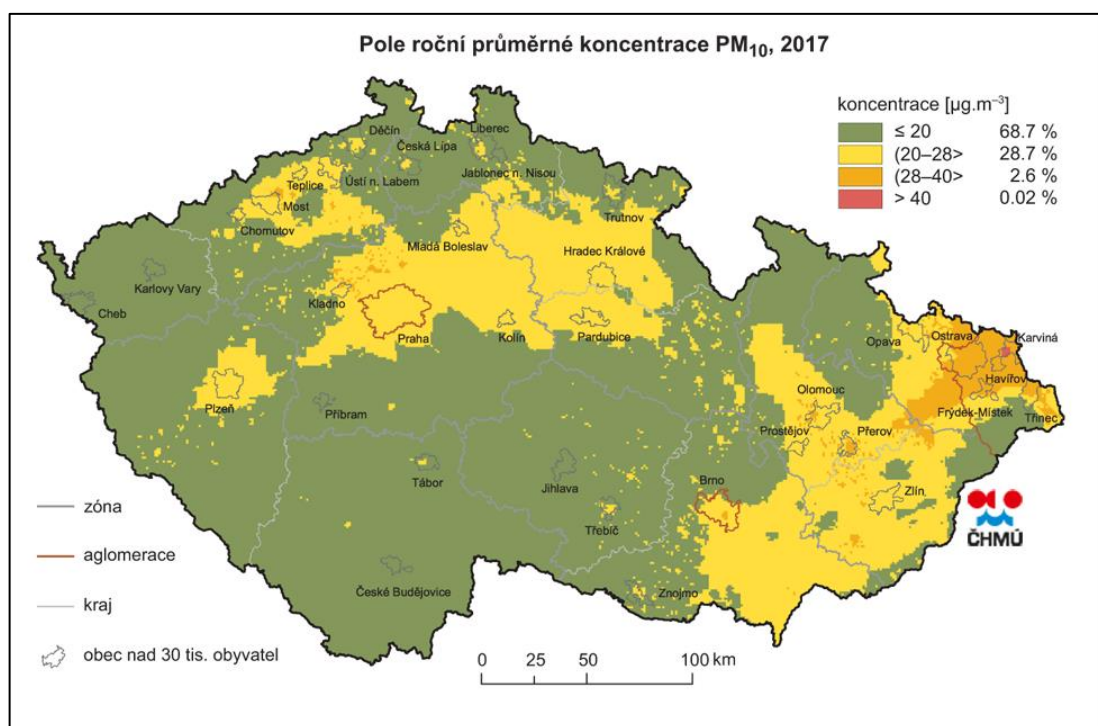
Antropogenní zdroje

V současné době se, v souvislosti s ekologickou problematikou, společnost velmi zabývá znečištěním ovzduší antropogenního původu. Toto znečištění vzniká působením člověka. Mezi zdroje tohoto původu se řadí důlní a průmyslová činnost, zemědělství, vytápění budov, doprava a likvidace odpadu (BRANIŠ A HŮNOVÁ 2009). Antropogenní emise mají zpravidla větší dopad na zdraví lidí než emise z přírodních zdrojů, protože mají mnohem vyšší specifické emisní toky. V důsledku tohoto jsou koncentrace škodlivin mnohem vyšší v oblastech, kde se pohybuje velké množství lidí a kde dohází k intenzivní lidské činnosti oproti oblastem, které jsou zdrojům antropogenního znečištění vzdálené a odlehlé (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

2.3.2 Prachové částice

Směsi organických a anorganických látek, jenž vstupují do atmosféry, buďto následkem lidské činnosti, nebo také vlivem přírodních pochodů, označujeme jako prachové částice. Prachové částice se vyskytují ve velkém rozpětí velikosti a podle tvaru a složení je možné je rozdělit do čtyř hlavních skupin, a to na minerální částice, popílek, saze a ostatní. S ohledem na charakter a vlastnosti je možné je rozdělit podle jejich velikosti, tvaru, povrchu a jejich hustoty (CELJAK, 2015).

Na území, kde jsou pravidelně překračovány limitní hodnoty PM_{10} v naší republice, žije více než 25 % populace. Celá řada studií poukazuje na přímou souvislost mezi nárůstem koncentrací prachových částic a zvýšením zdravotních rizik populace. Limitní koncentrace se nejčastěji překračují v Moravskoslezském kraji, Ústeckém kraji, Olomouckém kraji, Středočeském kraji a v Praze, viz obrázek č. 1. Přičemž stanice, na kterých jsou pravidelně překračovány limity pro 24hodinové koncentrace jsou z více jak jedné pětiny klasifikovány jako stanice dopravní.



Obrázek 1 - Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} , 2017

(Zdroj:

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/Obsah_CZ.ht

ml, 2017)

Dopravní stanice pak mají v součtu ještě větší podíl při překračování ročního imisního limitu. Z měření pak vyplývá, že stanice ovlivněné dopravou měří o mnoho větší koncentrace PM_{10} v jarních měsících, oproti ostatním stanicím, které neovlivňuje silniční doprava (HORÁLEK, 2003).

2.3.3 Rozdělení prachových částic na dopravní trase

Podle charakteru a způsobu vzniku rozdělujeme prachové částice do skupin na prachové částice resuspendované na dopravní trase pohybem vozidel, prachové částice mající původ mimo dopravní trasu a prachové částice vznikající spalovacími procesy vozidel pohybujících se na dopravní trase (CELJAK, 2015).

Prachové částice resuspendované na dopravní trase pohybem vozidel

Tento způsob vzniku znečištění ovzduší je zdrojem zejména prachových částic PM_{10} . Tyto částice se vlivem pohybu kol, pohybem vzduchu za vozidlem, podél vozidla a turbulencemi kolem rotujících částí vozidla víří a dostávají se do ovzduší. Resuspendované částice PM_{10} jsou složeny z prachových částic z vozovky dopravní trasy z jejího blízkého okolí, které se zde shromažďují v důsledku silniční dopravy, z materiálů, jimiž je tvořena silnice, z větrné či vodní eroze a z atmosférické depozice. Jejich množství je regulováno buďto svévolně odplavováním při deštích, nebo resuspenzí a jejich odletem mimo vozovku, nebo cíleně při údržbě a čištění vozovek (CELJAK, 2015).

Prachové částice mající původ mimo dopravní trasu

Vlivem působení lidské činnosti v blízkosti dopravních tras se může produkovat nezanedbatelné množství prachových částic, které se pak dostávají do prostoru dopravní trasy. Mezi tyto nejčastější původce patří zemědělská činnost (setí, sklizeň, posklizňová příprava apod.), stavební činnost, těžební průmysl a spalovací procesy fosilních paliv. Tyto zdroje jsou lokálního původu a znečišťují své blízké okolí. Dalšími zdroji polétavých částic s původem mimo dopravní trasu, jsou traviny a dřeviny, které v určitém ročním období vypouštějí do ovzduší pyly (CELJAK, 2015).

Prachové částice vznikající spalovacími procesy vozidel pohybujících se na dopravní trase

Nejvýznamnějšími zdroji prachových částic na dopravních trasách jsou vznětové motory vozidel. Při spalování paliva ve spalovacím prostoru vznikají prachové částice,

nazývané saze. Jejich množství závisí na konstrukci motoru, charakteru a kvalitě paliva a na způsobu jízdy a velikosti zátěže motoru. Tato kritéria jsou zásadní pro množství prachových částic, které spalovací motor produkuje. Množství prachových částic produkovaných spalovacími motory, může být u různých motorů a dopravních prostředků velmi odlišné.

Prachové částice, které jsou vyprodukovány spalovacími motory, jsou ze dvou třetin vyprodukovány vznětovými motory. Jako technické řešení se používají filtry pevných částic (DPF). Ty dokáží z výfukových plynů odstranit 80 až 95 % prachových částic.

DPF je keramická vložka ve výfuku zachycující pevné částice (saze) v kanálcích, jimiž výfukové plyny procházejí. Saze se zachytávají během jízdy ve městě. Mimo město se pak samočinně saze spálí na popel, který zůstává přítomen ve filtru. Ke spálení dochází buďto vstříknutím nafty do výfuku anebo elektrickým ohřevem síta filtru až na 600 °C což je zápalná teplota pro spálení sazí. Různé typy filtrů potřebují být vyměněny nebo renomovány po 100 až 200 tisících ujetých kilometrech. V současné době se již používají filtry, u kterých není výměna nebo údržba nutná.

Moderní osobní automobily se vznětovým motorem mají ve výbavě filtr pevných částic, což jim umožňuje splnění emisních norem, které jsou uvedeny v legislativě většiny států (CELJAK, 2015). Některé státy zavádějí emisní zóny, ve kterých jsou limity pro vypouštěné prachové částice ještě nižší. Limitní hodnoty PM pro naftové motory jsou: EU 1: 180 mg.km⁻¹, EU 2: 80 mg.km⁻¹, EU 3: 50 mg.km⁻¹, EU 4: 25 mg.km⁻¹, EU 5: 5 mg.km⁻¹, EU 6: 5 mg.km⁻¹ (SAJDL, 2012).

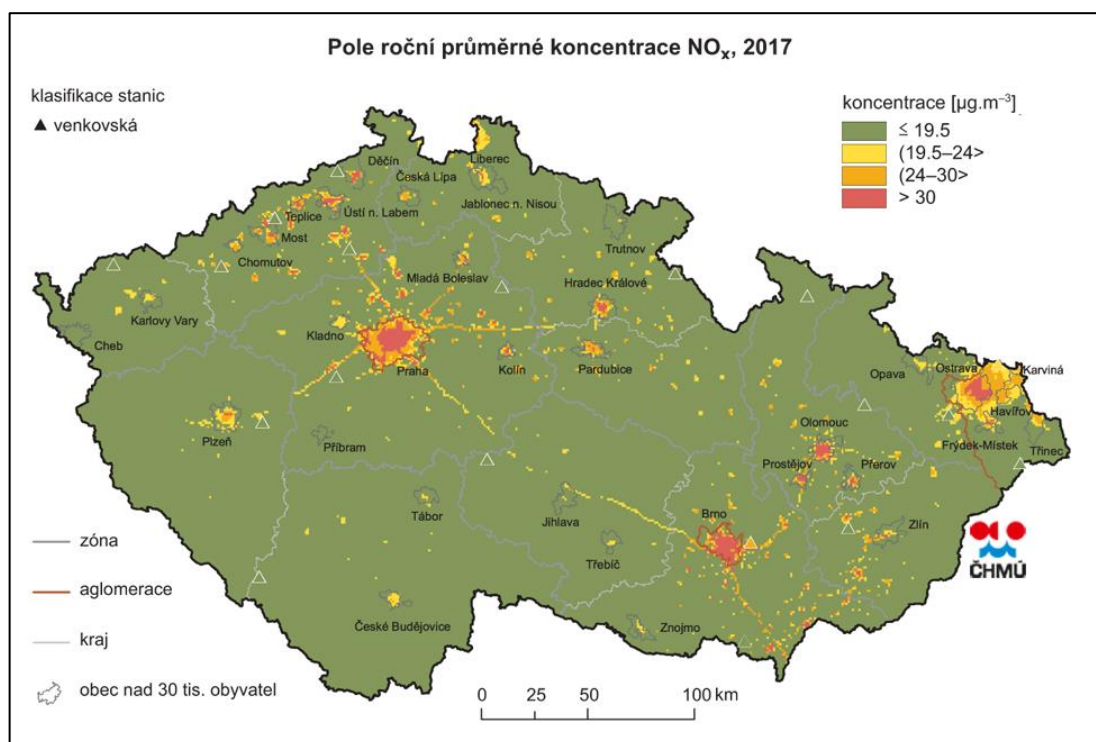
U nákladních automobilů se vznětovými motory není technicky možné snižovat množství pevných částic a současně oxidy dusíku NO_x. Pokud dojde ke vstříku paliva dlouho před tím, než píst dosáhne horní úvratě, tak se produkce NO_x na základě vysokých teplot velmi zvyšuje. Při vstříku paliva v okamžiku, kdy je píst blíže horní úvratě, tak vzhledem k nedokonalému spalování vzniká více pevných částic. Proto se v prvním případě musí výfukové plyny čistit od oxidů dusíku selektivní katalytickou redukcí (SCR). Ta spočívá v tom, že oxidační katalyzátor přeměňuje saze, uhlovodík a oxid uhelnatý na vodu a CO₂. Vstříkovaním kapaliny AdBlue se

sníží množství nežádoucích oxidů dusíku, které jsou přeměněny na dusík v nezávadném množství (CELJAK, 2015).

2.3.4 Plynné látky znečišťující ovzduší vznikající při spalovacích procesech automobilů

Oxidy dusíku

Nejvíce škodlivý vliv pro životní prostředí mají oxid dusnatý NO a oxid dusičitý NO₂. Tyto dvě sloučeniny kyslíku a dusíku se označují společným názvem oxidy dusíku NO_x (BENCKO A SYMON, 1988). NO_x mohou způsobit mírné až těžké záněty dýchacích cest, pokud je lidský organismus vystaven vysoké koncentraci oxidů dusíku mohou tyto látky způsobit plicní edém a dokonce i smrt (ŠUTA A BENCKO, 1998). Pro tyto oxidy jsou stanoveny imisní limity pro ochranu zdraví lidí a pro ochranu ekosystémů a vegetace. Tyto limity jsou v blízkosti frekventovaných komunikací v dopravní špičce a také v centrech měst soustavně překračovány, viz obrázek č. 2 (POLÁŠKOVÁ 2011).



Obrázek 2 - Pole roční průměrné koncentrace NO_x, 2017

(Zdroj:

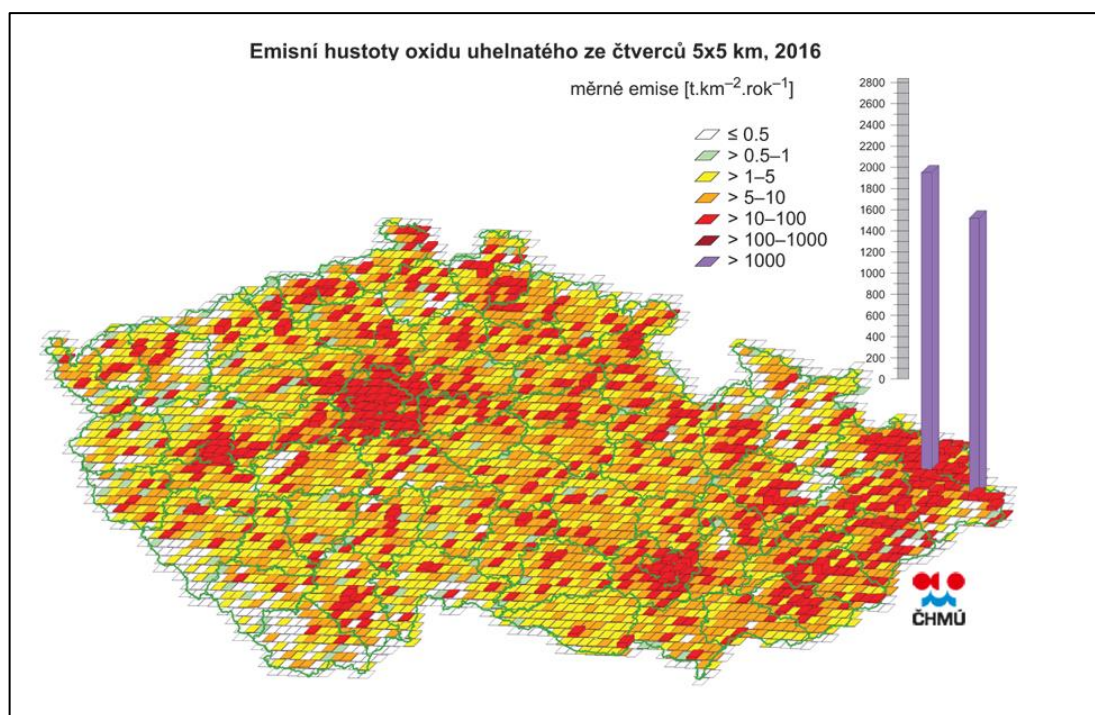
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/Obsah_CZ.html, 2017)

Oxid dusnatý vzniká při spalování vzduchu reakcí mezi kyslíkem a dusíkem. Určitý podíl vzniká i oxidací dusíku z paliva (PŘIBIL, 2009). Množství vzniklého NO závisí na mechanismu spalování paliva, vlhkosti vzduchu přiváděného do motoru a také na tlaku ve spalovacím prostoru (SOUKUP, 1985). Jako hlavní zdroj se označuje zejména silniční doprava, nezanedbatelný podíl má i doprava vodní a letecká a také spalovací procesy stacionárních zdrojů. Oxid dusičitý, vzniklý přímo spalováním, má podíl oproti ostatním NO_x menší než 10 %. Na světě se za rok působením lidské činnosti vyprodukuje přibližně 100 milionů tun NO_x (KALACĚ, 2010). Oxid dusičitý je dráždivý plyn, který je při vdechnutí z 80 až 90 % pohlcován hlenem dýchacích cest. Není příliš rozpustný ve vodě, a tak horní cesty dýchací jsou schopny zadržet jen malé množství tohoto plynu. NO₂ se pak dostává do krve (ŠUTA, 2008).

Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý se velmi rychle dokáže vstřebat v plicích a dostat do krve. V krvi se pak váže na červené barvivo hemoglobin, čímž snižuje schopnost krve vázat kyslík. Dále zabraňuje již navázanému kyslíku se uvolnit, a tak ještě více zhoršuje zásobování tkání kyslíkem. Nejvíce postiženy jsou orgány vysoce závislé na kyslíku, zejména pak srdce, centrální nervová soustava (CNS) a vyvíjející se plod v těle matky (ŠUTA, 2008).

CO vzniká ve spalovacím motoru v mezních podmínkách dokonalého a nedokonalého spalování, když stěny spalovacího prostoru nedosahují dostatečné teploty (SOUKUP, 1985). Emisní hustotu oxidu uhelnatého můžeme vidět na obrázku č. 3.



Obrázek 3 - Emisní hustoty oxidu uhelnatého ze čtverců 5x5 km v roce 2016

(Zdroj:

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/IV8_CO_CZ.html, 2016)

Uhlovodíky

Jsou to látky, jenž vznikají při nedokonalém spalování ve spalovacím motoru. Uhlovodíky vznikají více u dieselových motorů. Dalším zdrojem je výroba koksu, topení uhlím a cigaretový kouř. Uhlovodíky jsou absorbovány v plicích, ale také v trávicím traktu a jsou karcinogenní (ŠUTA, 2008). Dvě studie prováděné mezi pracovníky exponovanými automobilovým emisím zjistily, že lidé zaměstnaní jako řidiči kamionů měli o 50 % vyšší riziko rakoviny močového měchýře (ŠUTA A BENCKO, 1998). Na tvorbu uhlovodíků v motoru má vliv řada faktorů. Do ovzduší se dostávají i odpařováním paliva z nádrže. U uhlovodíků, které vznikají spalováním paliva, se jedná převážně o uhlovodíky s nejvýše čtyřmi uhlíky (nitroparafiny a aldehydy). Nespálené uhlovodíky mají ve výfukových plynech podíl asi 0,05 % (SOUKUP, 1985).

2.3.5 Emisní normy EURO

Pojmem EURO je označována závazná emisní norma, která stanovuje limitní hodnoty pro výfukové exhalace osobních automobilů. Účelem této normy je omezit množství

oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO_x) a pevných částic (PM). Hodnoty jsou uváděny v gramech na ujetý kilometr, viz tabulka č. 1.

Tabulka 1 - Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO

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

benzínové motory, naftové motory

* 0,90 pro motory s přímým vstřikováním paliva

** 0,10 pro motory s přímým vstřikováním paliva

(Zdroj: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>, 2012)

Zavedení nové EURO normy není jednorázová akce. Nově zavedenou normu musí splňovat pouze automobily, které jsou teprve uváděny na trh. Pro emisní normu EURO 6 byl stanoven termín 1. 9. 2014 a zavedení normy EURO 7 je v plánu na rok 2020. Starší vozidla nejsou novými normami zatím většinou omezeny, jen do některých měst v Evropě mají automobily, které dosahují některé nižší emisní normy zakázaný vjezd (SAJD, 2012).

2.3.6 Imisní limity a maximální počet jejich překročení

Imisní limity jsou určeny podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. a vyhlášky o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, viz tabulka č. 2.

Maximální denní osmihodinová koncentrace se stanoví posouzením osmihodinových klouzavých průměrů počítaných z hodinových údajů aktualizovaných každou hodinu. Každý osmihodinový průměr se přiřadí ke dni, ve kterém končí, to znamená, že první výpočet je proveden z osmihodinových

koncentrací během periody 17:00 předešlého dne a 01:00 daného dne. Poslední výpočet pro daný den se provede pro periodu od 16:00 do 24:00 hodin (ČHMÚ, 2012).

Tabulka 2 - Imisní limity pro ochranu zdraví a maximální počet jejich překročení

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]		Imisní limit [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO ₂	1 hodina	—	—	350 max. 24x za rok
	24 hodin	50 max. 3x za rok	75 max. 3x za rok	125 max. 3x za rok
NO ₂	1 hodina	100 max. 18x za rok	140 max. 18x za rok	200 max. 18x za rok
	kalendářní rok	26	32	40
PM ₁₀	24 hodin	25 max. 35x za rok	35 max. 35x za rok	50 max. 35x za rok
	kalendářní rok	20	28	40
PM _{2,5}	kalendářní rok	12	17	25
Pb	kalendářní rok	0,25	0,35	0,5
CO	maximální denní 8hod. klouzavý průměr	5 000	7 000	10 000
Benzen	kalendářní rok	2	3,5	5

(Zdroj: ČHMÚ, 2012)

2.4 Hluk

Většina zvuků v dnešní době, které jsou předmětem inženýrského zájmu, jsou nechtěné a nežádoucí akustické signály, jež se nazývají hlukem. Zvuky a hluk generované stroji různého typu, jsou ve vyspělých státech intenzivně zkoumány. Ve většině těchto zemích škodlivé působení hluku na člověka vedlo k opatřením, z nichž vzniklo množství zákonů, norem a předpisů, které mají chránit obyvatele před

nadměrným hlukem na pracovišti a v oblasti komunální hygieny. Pro ochranu lidí před hlukem v ČR je platný předpis č. 37/77, který je na dobré a srovnatelné úrovni s předpisy ostatních členských států Evropské unie (NOVÝ, 1995).

Za hluk se považuje jakýkoli zvuk, který ruší lidi při práci, a i při odpočinku, může se projevit nepříjemně, někdy až škodlivě (ZDRAŽIL, 1984).

Hluk je vedle hmatatelnějších zdrojů znečišťování ovzduší a vod jedním z dalších nebezpečí v přijatelném životním prostředí. Následky dlouhodobého působení nízkých hladin hluku nebo i krátké a intenzivní působení hluku může být zařazeno pod všeobecný pojem – neurovegetativní dystonie (SMETANA, 1998). Hlukem se nazývá nepříjemný a rušivý zvuk. Z fyzikálního hlediska jsou jevy hluk a zvuk obdobné, stejně jako vibrace (LAURENT, 1975).

Je známo již od středověku, že hluk o vysokých zvukových hladinách, může vést, po nějaké době, až k hluchotě. Většina Evropských států již přijala ztrátu sluchu v zaměstnání, jako nemoc z povolání. Nejen hluk v zaměstnání, ale také hluk z okolního prostředí, kam se řadí hluk z dopravy, může mít nežádoucí účinky, včetně poškození sluchu. Pro řadu lidí žijících ve městech, je v současné době hluk způsobený dopravou velkým problémem, protože narušuje jinak klidné a tiché prostředí sídlišť a parků (HAVRÁNEK, 1990).

Se vzrůstající technizací života lidí roste i hlučnost v životním prostředí takovým způsobem, že v mnoha případech nejen překračuje hranici zdravotní únosnosti, ale v nemálo případech se stává nekontrolovatelným a technicko–ekonomicky neřešitelným problémem, který nejde udržet pod přijatelnou, i když zdravotní únosnost překračující hranici (SMETANA, 1998).

2.4.1 Základní veličiny

Akustický tlak – p [Pa]

Když se v plynném prostředí šíří podélné vlny, tak vyvolávají vznik míst se zhuštěným a se zředěným počtem částic. Toto zhuštění a zředění se projevuje tlakovými změnami. Šíří-li se plynným prostředím zvuk, superponuje se na barometrický tlak, časově proměnný tlak, nazývaný akustický tlak (ZDRAŽIL, 1984).

Akustický tlak vyjadřuje odchylky normální klidové hodnoty barometrického tlaku (NĚMEČEK, 1998). Je to střídavý tlak, superponovaný barometrickému tlaku

při šíření zvuku (LAURENT, 1975). Akustický tlak je skalární veličina s charakterem vlnění a je nejdůležitější veličinou pro měření hluku, neboť přístroje pro měření akustického tlaku jsou jednodušší, levnější, a proto i rozšířenější než přístroje pro měření akustické rychlosti. Barometrický tlak se pohybuje okolo 10^5 Pa, Akustický tlak pak v rozmezí $2 \cdot 10^{-5}$ až $2 \cdot 10^2$ Pa (NĚMEČEK, 1998).

Z hlediska matematického zápisu je akustický tlak totožný s průběhem akustické výchylky a akustické rychlosti. Proto pro harmonický signál je možný psát výraz: $p = p_0 \cos \omega \left(\tau - \frac{x}{c} \right)$ (NOVÝ, 1995).

Nej slabší vnímatelné zvuky lidským uchem mají hodnotu akustického tlaku asi $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Pro měření akustického tlaku se v praxi využívá zvukoměr, ve kterém se zvuk převádí na elektrické vlnění (LAURENT, 1975).

Akustická rychlost – \vec{u} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Někdy označována jako částicová rychlost. Akustickou rychlostí se rozumí rychlost částice v prostředí vlivem akustického tlaku pohybující se kolem své rovnovážné polohy. Akustická rychlost je vektor, fyzikálně rovnocenný akustickému tlaku a má charakter vlnění. Pro svou složitost měření se v praxi neměří. V pásmu mezi prahem slyšitelnosti a prahem bolestivosti nabývá hodnot od $5 \cdot 10^{-8}$ až $1,6 \cdot 10^{-1}$ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. v normálním prostředí je poměr mezi akustickou rychlostí a akustickým tlakem stálý:

$$\frac{p}{|u|} = \rho c$$

kde: ρ = hustota prostředí [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

c = rychlost zvuku v prostředí [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Součin ρc se nazývá akustický odpor prostředí. Ve vzduchu o 20 °C a 1016 hPa nabývá hodnoty $416,2$ $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$ (NĚMEČEK, 1998).

Velikost akustické rychlosti je o mnoho řádů nižší než rychlost šíření zvuku. Je to rychlost, s jakou kmitají jednotlivé částičky prostředí, při šíření akustické vlny (NOVÝ, 1995).

Akustickou rychlostí se rozumí rychlost, kterou kmitají částice v prostředí okolo svých rovnovážných poloh. Jedná se o veličinu střídavou, v případě zvuku má sinusový průběh (ZDRAŽIL, 1984).

Intenzita zvuku – \vec{I} [W.m⁻²]

Je měřítkem akustické energie, která prochází plochou kolmou ke směru šíření zvukové vlny. Intenzita zvuku se vypočte vztahem: $\vec{I} = p \cdot \vec{u}$

Intenzita zvuku je vektorová veličina s charakterem vlnění. Intenzita zvuku se pohybuje v rozmezí od 10⁻¹² do 10³ W.m². Intenzita zvuku je důležitá při identifikaci zdrojů hluku a také pro stanovení akustického výkonu (NĚMEČEK, 1998).

Intenzita hluku je střední hodnotou měrného akustického výkonu. Většinou přístrojů v akustice se měří akustický tlak a intenzita zvuku se poté dopočítává podle vzorce (NOVÝ, 1995).

Akustický výkon – W [W]

Je měřítkem celkové zvukové energie, která prochází plochou. Akustický výkon je dán integrálem skalárního součinu, tedy vzorcem: $W = \int_{(S)} \vec{I} \cdot \vec{dS}$

Kde: \vec{dS} = vektor o velikosti $|dS|$ ležící ve směru normály na plochu

S = plocha, na které stanovujeme akustický výkon

Akustický výkon je skalární veličina s charakterem vlnění. V praxi se stanovuje jako střední hodnota, za určitý časový úsek. Akustický výkon je významná veličina, podávající informaci o celkové akustické energii, kterou vyzařuje strojní zařízení nebo jeho část. Pro určitý konkrétní zdroj hluku, při daných parametrech je konstantní (NĚMEČEK, 1998).

2.4.2 Limity hluku

Limitní hodnoty pro hluk vznikající na pozemních komunikacích jsou stanoveny v Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, viz tabulka č. 3 (MVCR, 2011).

Ochranu lidí a jejich zdraví před hlukem, vibracemi atp. řeší § 30–34 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví (MVCR, 2000).

Tabulka 3 - Limity hluku pro pozemní komunikace a dráhy

Pozemní komunikace a dráhy	Doba dne	L_{Aeg,T} [dB]
Dálnice, silnice I. a II.tř., místní komunikace I. a II.tř. a tramvajové a trolejbusové dráhy vedené po silnicích I. a II. tř. a místních komunikacích I. a II. tř.	Denní	65
	Noční	55
Silnice III. tř, komunikace III.tř., účelové komunikace a tramvajové a trolejbusové dráhy vedené po silnicích III. tř. a místních komunikacích III. tř.	Denní	60
	Noční	50
Železniční, speciální a tramvajové dráhy v ochranném pásmu dráhy	Denní	65
	Noční	60
Železniční dráhy mimo ochranné pásmo dráhy	Denní	60
	Noční	55

(Zdroj, MVCR, 2011)

2.4.3 Fyziologická akustika – sluch

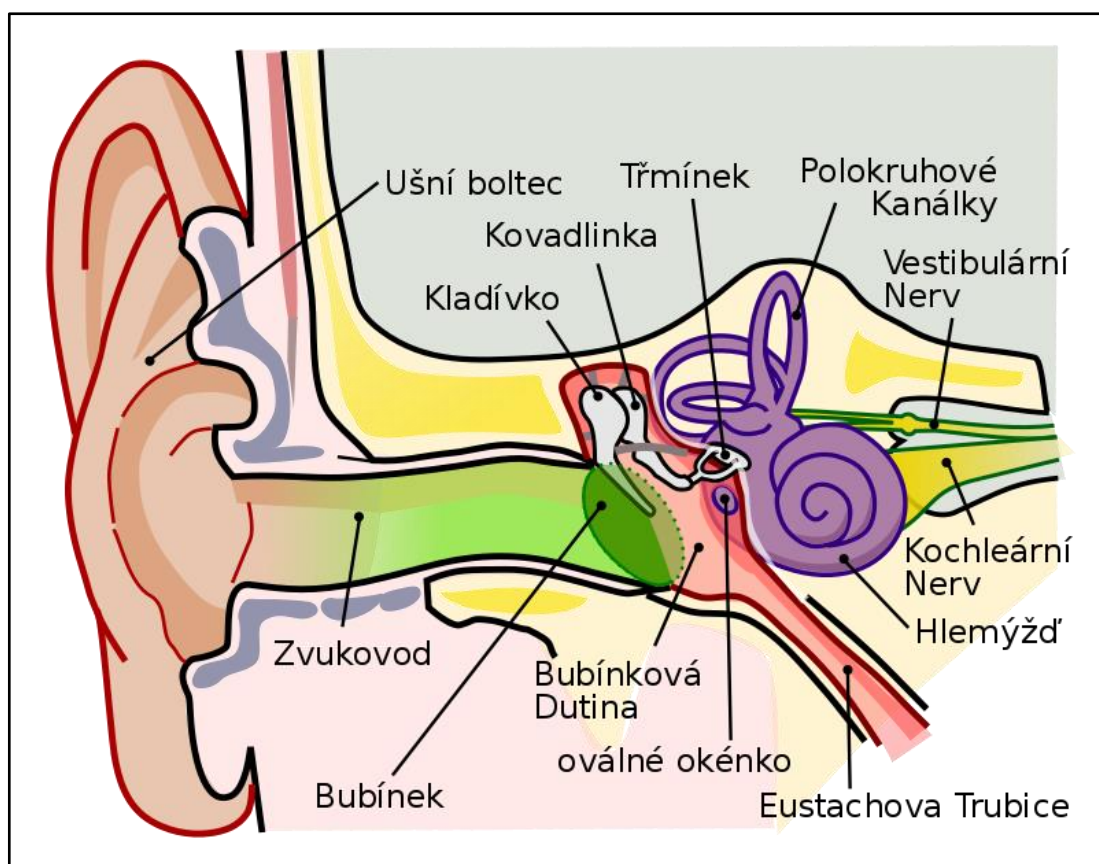
Sluchový orgán reaguje na zvukové podmínky z okolí, ty pak předává mozkovému analyzátoru. Výsledkem je pak sluchový vjem nazývaný hlasitost (SMETANA, 1998).

Funkce a činnost nervů v lidském uchu se řídí jinými zákonitostmi, než přenos zvuku neživím prostředím, proto se ve zvukových vjemech objevují úkazy, které nemají fyzikální obdoby. Proto mezi objektivními a subjektivními akustickými veličinami neexistují přímé závislosti a není mezi nimi přímá úměrnost (NOVÝ, 1995).

Sluchový orgán

Sluchový orgán se skládá ze tří částí. Zevní ucho, které zachycuje, koncentruje a předává zvuk do středního ucha. Zevní ucho se skládá z boltce, zvukovodu a bubínku. Střední ucho, které zesiluje a přenáší zvuk přeměněný na chvění zevním uchem k vnitřnímu uchu. Střední ucho je tvořeno bubínkovou dutinou, ve které jsou sluchové kůstky a středoušní svaly. Vnitřní ucho mění mechanické kmity na specifické nervové impulzy. Ty pak vysílá do sluchového analyzátoru v mozkové kůře. Vnitřní ucho se skládá z blanitého hlemýždě, v němž je uložen sluchový receptor, tzv. Cortiho orgán, viz obrázek č. 4 (DYLEVSKÝ, 2009).

Zvuk postupuje uchem tak, že nejdříve jsou zvukové vlny zachyceny ušním boltcem. Tlaková vlna poté postupuje k bubínku zevním zvukovodem. Membrána bubínku se pod nápořem zhuštěných zvukových vln prohýbá do prostoru středního ucha. Energie zvuku se dále převádí středním uchem díky soustavě sluchových kůstek na membránu oválného okénka ve vnitřním uchu. Oválné okénko rozechvěje perilymfu v kostěném hlemýždi. Kostěný hlemýžď obsahuje vlásky, které při ohybu vyvolávají podráždění receptorových buněk. Mechanický podnět se takto převádí na smyslové podráždění vedené hlavovým nervem sluchového centra, které se nachází ve spánkovém laloku mozkové kůry (NOVOTNÝ, HRUŠKA, 1995).



Obrázek 4 - Stavba ucha

(Zdroj: ROKYTA, Richard. Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4867-2.)

Vnímání zvuku

Lidské ucho je schopno vnímat zvukové vlny o frekvencích 20 až 20 000 Hz. Nejcitlivěji však vnímá tóny okolo 1 000 až 3 000 Hz. Zvířata mají většinou rozsah vnímání zvukových vln posunutý k vyšším frekvencím.

Další základní vlastnost zvuku je pak amplituda, která udává hlasitost neboli sílu zvuku (NOVOTNÝ, HRUŠKA, 1995).

Vliv hluku na sluch a zdraví

Dlouhodobé působení hluku na člověka může vyústit až k několika závažným problémům, jako je: problém s koncentrací, únava, nejistota a ztráta sebedůvěry, podrážděnost, snížení pracovní výkonnosti, problém v mezilidských vztazích a další stresové reakce, problém s učením, s agresivitou, anebo obecný problém ve společenském chování (HAVRÁNEK. 1990).

2.4.4 Decibelová stupnice v akustice

Lze prokázat, že existuje logaritmická závislost mezi objektivními akustickými veličinami a mezi subjektivním vnímáním zvuku člověkem. Proto byl v technické akustice zaveden pojem hladina jednotlivých akustických veličin. Tato hladina má veličinu: decibel [dB] (NOVÝ, 1995).

V průběhu času byly stanoveny křivky hladin stejné hlasitosti. Často se znázorňují typickými zdroji hluku v obvyklé pozorovací vzdálenosti, viz tabulka č. 4. Nejnížší křivka je prahová křivka slyšitelnosti s hodnotou 0 dB. Pokud zvuk dosáhne hladiny asi 125 dB, dá se hovořit o prahu bolestivosti, poněvadž lidský organizmus takto silný zvuk začne vnímat jako bolest. Tyto normalizované křivky platí pro jedince s normálně a zdravě fungujícím sluchovým orgánem (SMETANA, 1998).

Tabulka 4 - Akustický výkon a jeho hladina

Vyzářený akustický výkon [W]	Hladina akustického výkonu [dB]	Typické zdroje hluku v obvyklé pozorovací vzdálenosti
10^{-9}	30	Velmi tichý šepot
10^{-6}	60	Malý ventilátor
10^{-5}	70	Běžně mluvící člověk
10^{-4}	80	Domácí zařízení-vysavač
10^{-3}	90	Axiální ventilátor (cca 50 m ³ .h ⁻¹)
10^{-2}	100	Tkalcovský stav
10^1	110	Automobil na dálnici (80 km.h ⁻¹)
1	120	Hlučící rozhlasový přijímač
10	130	Klavír
10^2	140	Velká sbíječka
10^3	150	75členný orchestr, varhany, malý letecký motor
10^4	160	Čtyřmotorový vrtulový letoun
10^5	170	Vojenský proudový letecký motor
10^6	180	Velký raketový motor

(Zdroj: SMETANA, 1998)

2.4.5 Šíření zvuku v reálném plynném prostředí

V přízemní vrstvě atmosféry závisí šíření hluku na několika obecných i specifických faktorech prostředí. Vlivem vzdušného prostoru jsou určovány obecné faktory.

Specifické faktory jsou pak určovány existencí budov ve městech, zelených pásů a různých jiných útvarů, které stojí v cestě zvukovým vlnám (LAURENT, 1975).

V reálném prostředí nedochází ke ztrátám a poklesu akustických veličin pouze rozptylem akustické energie do prostoru vlivem zvětšující se vzdálenosti, nýbrž přichází i určité ztráty při přenosu energie. Jednou ze ztrát je například přeměna akustické energie na teplo vlivem nevratných změn.

V silniční dopravě ale i jiných oblastech se lze setkat s:

- Útlumem vlivem absorpce ve vzduchu

- Útlumem vlivem mlhy, deště nebo sněhu
- Útlumem vlivem větru, teplotních gradientů, atmosférické turbulence, přízemního efektu
- Útlumem vlivem překážek

Útlumu vlivem překážek se pak hojně využívá při snížení hluku v blízkosti dopravních cest (NOVÝ, 1995).

2.4.6 Hluk dopravních prostředků

Při výzkumu městských hluků se ukázalo, že nejrušivější a zároveň nejrozšířenější jsou hluky městské dopravy. Dokonce i v průmyslových rajonech, je dominující hluk z dopravy (LAURENT, 1975).

V moderních městech převažují hluky, jejichž zdrojem jsou dopravní prostředky. Zvláště velký problém s hlukem je v blízkosti dopravních magistrál, velkých křižovatek, výpadových silnic a jiných míst s hustou automobilovou dopravou.

Hladinu akustického tlaku u jednotlivých dopravních prostředků ovlivňuje několik zásadních faktorů:

- Mechanický výkon motoru
- Rychlost vozidla
- Režim práce motoru
- Technický stav vozidla
- Kvalita vozovky
- Okolní zástavba
- Povětrnostní podmínky atd.

V běžném provozu pak nejvíce ovlivňuje hluk z dopravy počet vozidel, jejich rychlost, počet nákladních automobilů a jejich hmotnost.

Při zvýšení rychlosti jízdy na dvojnásobek se zvýší hladina akustického tlaku o 8 až 10 dB. Přibližnou závislost hladiny akustického tlaku na rychlosti u osobních automobilů lze vyjádřit pomocí vzorce: $L_{ap}=50+0,25v_0$

Kde: L_{ap} [dB] = hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 7,5 m od osy vozovky

V_0 [km/h] = rychlost pohybu osobního automobilu

Dopravní hluk je poměrně velmi náhodně proměnná veličina, neboť rychlost jednotlivých vozidel a skladba dopravního proudu jsou také velmi náhodné a proměnné. Proto se pro jeho hodnocení používá ekvivalentní hladina akustického tlaku A (NOVÝ, 1995).

Hlavní zdroje vnějšího hluku u automobilu

U většiny, v současné době provozovaných automobilů (osobních, nákladních a autobusů), lze identifikovat několik zásadních zdrojů hluku při jízdě v městském provozu.

Velkým zdrojem hluku je spalovací motor. Je to zdroj hluku aerodynamického původu (zvláště spalovací proces u nepřepřehovaných dieselových motorů), mechanického původu (vymezování vřelí, rázy v klikovém, pístovém či ventilovém mechanismu a v pohonech řetězy či ozubenými koly), pak také původu hydraulického (vstřikování paliva, pohon ventilátorů atp.) (ZDRAŽIL, 1984).

Při určité vyšší rychlosti má velký podíl na hluku, hluk aerodynamický. Ten vzniká prouděním vzduchu a turbulencí okolo karoserie a podvozku vozů. Při zvýšení rychlosti jízdy se zvyšuje i hodnota vydávaného zvuku. Dále je velikost zvuku závislá na velikosti a provedení čelní plochy vozidla, provedení karoserie vozidla, charakteru přepravovaného nákladu a také na využívaných přepravních prostředcích (plachty, pytle, vaky, palety, kontejnery) (CELJAK, 2015).

Výfukový systém je dalším významným zdrojem hluku. Zdroj bývá z pravidla aerodynamické buzení při výdechu systému, nazývaný jako hluk vyústky. Dalším zdrojem hluku je pak i povrch tlumičů a potrubí. Hluk zde vzniká z důvodu vnitřního přetlakového působení pulsací plynů nebo také přenosem chvění z motoru přes vazby potrubí.

Problematika systému sání je podobná výfukovému systému. Zde však naopak působí podtlak. Další zdroje hluku u sání vzduchu jako objemy čističe a volba vyústění v bezprašné zóně jsou nepodstatné svým vydávaným hlukem.

Při spuštění chladicích systémů, zvláště ventilátorů, které vyvolávají „sirénový“ hluk a obtokové šумы na překážkách při nedořešené aerodynamice při velkých rychlostech vzduchu, může docházet k emisi hluku.

Intenzita hluku vyvolávaného pneumatikami závisí na dezénu pneumatiky, mikrostruktúře a makrostruktúře vozovky. Na mokré vozovce hluk výrazně stoupá. Se zvyšující se rychlostí roste i hluk, při rychlostech nad 60 až 70 km.h⁻¹ se stává hluk z pneumatik nejvýznamnějším hlukem automobilu. U vozidel s větším počtem pneumatik (dvojmontáže a zdvojené nápravy) nebo u použití pneumatik do terénu, je tento hluk zásadní už při nižších rychlostech (ZDRAŽIL, 1984). Použitím tzv. tichých pneumatik snížíme hluk až o 5 dB. Existují také tiché asfalty, které dokáží snížit hluk o 3 až 12 dB (CELJAK, 2015).

Převodovky, rozvodovky a hnací hřídele jakožto systém přenosu hnacího momentu není rozhodujícím zdrojem hluku (ZDRAŽIL, 1984).

Jedna z možností, jak řešit otázku hlučnosti ve městech, je elektromobilita. Toto řešení je významné hlavně při rychlostech do 30 až 50 km.h⁻¹, kdy na celkové hlučnosti nemá valivý a aerodynamický hluk takový podíl. Nízká hlučnost elektromobilů může být ale i jejich nevýhodou, protože jejich nehlučné motory a tichý provoz může způsobovat problémy ostatním účastníkům silničního provozu. Proto Evropská unie přichystala novou legislativu, v níž se ukládá, že od roku 2019 budou výrobci povinni do svých elektromobilů instalovat akustický varovný systém (AVAS) (MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2015).

2.4.7 Prostředky ochrany před hlukem

Nejpřirozenější ochrana před městským hlukem je oddálení objektů od zdroje hluku. Tato ochrana funguje pouze na principu útlumu zvuku třením molekul vzduchu a vlivu sférické distribuce zvukových vln. Mezi objektem a zdrojem hluku se tedy nenacházejí žádné překážky. U tohoto případu se sníží hladina akustického tlaku o 3 dB u lineárního zdroje při každém zdvojnásobení vzdálenosti. Z toho je patrné, že tento způsob ochrany není vždy aplikovatelný. Lze aplikovat pouze u dopravních tras s nižší

intenzitou provozu a nižší hladinou hluku ne vyšší než 70 dB nebo u dálničních tras a podobných silnicích, které není nutné přibližovat k městské zástavbě.

V případech, kde není možno dostatečně oddálit frekventovanou dopravní trasu od zástavby, je nutné hluk tlumit jinými prostředky, případně jejich kombinací. Může se využít zelených pásů se stromy a keři, opěrných a protihlukových stěn, náspů, výkopů, neobytných budov ve funkci bariér atp. Tato opatření mají za úkol zabránit volnému šíření zvukových vln, jejich rozptylem, pohlcováním odrazem a difrakcí (LAURENT, 1975).

2.4.8 Vibrace

Vibrace jsou z fyzikálního hlediska obdobný jev jako zvuk a hluk (LAURENT, 1975).

Vibrace jsou pohyb pružného tělesa nebo prostředí, jednotlivé body těles a prostředí kmitají okolo své rovnovážné polohy (SMETANA, 1998).

Lze je charakterizovat jako mechanické kmitání, které se šíří v pružném tělese nebo v prostředí. Vibrace vznikají při jízdě vozidla a působí jak na samotné vozidlo, tak i na dopravní trasu a okolní zástavbu. (ŠKAPA, 2000).

Frekvenční pás vibrací způsobených dopravou je nejčastěji v rozmezí 50 až 100 Hz. Jedná se o kmity s pravidelným i s náhodným charakterem.

Vibrace tvořené dopravou působí negativně na životní prostředí:

- Neblahým vlivem na člověka, při dlouhodobém působení, mohou mít vliv i na zdraví jedince
- Změnou chování živočichů pohybujících se v okolí dopravních tras
- Na vnitřní změnu v materiálech objektů. Dochází k postupnému snižování pevnosti, což má za následek snížení životnosti objektů, v některých případech může vést i ke zhroucení staveb (KOLÁB, 1999).

3 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je provedení studia vybraných negativních externalit pozemních dopravních zařízení v lidském prostředí. Seznámení se s negativními vlivy silniční dopravy, jako je například hluk vydávaný dopravními prostředky, a s ním související vibrace, znečištění ovzduší skleníkovými plyny a polévatými prachovými částicemi, srážky divoké zvěře s dopravními prostředky, omezení pohybu lidí v okolí frekventovaných dopravních tras atp.

Dalším cílem této práce je návrh možných opatření, jak odstranit, či alespoň zmírnit, negativní dopady silniční dopravy na lidskou společnost.

Významným cílem je pak provedení analýzy vybraných negativních externalit ve vybraném městě v závislosti na charakteru dopravní trasy, druhu a počtu dopravních zařízení, prostředí a počasí a zkoumání jejich účinků na lidské zdraví.

4 Metodika zpracování práce

Práce začíná seznámením s pojmy jako je silniční doprava, silniční motorová vozidla a negativní externalita silniční dopravy. Poté je z této oblasti sepsána rešerše. V této části práce bude provedena analýza hlavních negativních faktorů silniční dopravy, které významně ovlivňují lidskou společnost.

Ve druhé části práce bude provedeno měření koncentrace poletavého prachu a měření hladiny hluku v pěti vybraných lokalitách. Budou zde sledovány i další jevy, které jsou nezbytné pro doplnění měření, jako jsou: charakter dopravní trasy, druh a počet dopravních zařízení prostředí a počasí. Dále budou zkoumány jejich účinky na lidské zdraví.

Na základě provedeného měření a zjištěných dat bude vypracován souhrn poznatků o úrovni negativních vlivů pozemní dopravy na lidskou společnost a budou navrženy možné varianty řešení pro zmírnění těchto negativních externalit.

5 Vlastní práce

5.1 Použité přístroje pro měření

Pro měření byly použity přístroje:

Přístroj pro měření prachových částic DustTRak 8530

Přístroj pro měření hluku Voltcraft sl-100

5.2 Dílčí metodika měření hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě

Měření bylo provedeno v souladu s Metodikou měření prachových částic v dopravě, zpracované na ZF, Jihočeské univerzity v Č. Budějovicích, která je dostupná na BAT centru. Přednostně byly měřeny prachové částice velikosti 10 mikrometrů (PM₁₀)

Postup měření s použitím přístroje pro měření prachových částic DustTRack 8530 spočívá ve stanovení hmotnostní koncentrace respirabilní, nebo vdechovatelné frakce polétavého prachu v ovzduší. Respirabilní frakce, je hmotnostní frakce vdechovaných částic vzduchu, které jsou schopny proniknout do částí dýchacích cest, kde již není řasovitý epitel, jako jsou průdušky, průdušinky a zejména plicní sklípky. Vdechovatelnou frakcí je pak souhrn částic poletavého prachu ve vzduchu, které je člověk schopen vdechnout nosem, či ústy. Koncentrace prachových částí se měří v mg.m⁻³.

5.2.1 Cíl měření koncentrace prachových částic v ovzduší

Cílem tohoto měření je získat objektivní informace o skutečném působení a vlivu pohybu automobilů v silniční dopravě na znečištění ovzduší emisemi z nespalovacích procesů. Cílem je zjištění míry zátěže pro ovzduší způsobené zviřením prachových částic, které jsou deponované na vozovce.

Na vozovce se vyskytuje vozovkový prach tvořený částicemi zejména větších frakcí geologického původu z okolní půdy, částicemi zbylých ze zimních posypů, částicemi vznikající při abrazi vozovky, částicemi z opotřebovávaných částí vozidel, jako jsou pneumatiky, brzdové a spojkové obložení atd, a také částicemi pocházejících z úletů sybkých břemen, jenž převážejí nákladní automobily (CELJAK, 2011).

5.2.2 Princip měření

Metoda měření spočívá v prosévání vzduchu filtrem, v němž se kvantitativně zachytí zvolená velikostní frakce prachových částic. Vstupní zařízení se nazývá impaktor. Vzorek prachu se získá prosátím vzduchu přístrojem na zkoumaném místě. Vždy před odběrem je nutné provést kalibraci nulové hodnoty (CELJAK, 2011).

5.2.3 Místa měření v zastavěném i nezastavěném území

Měří se ve vzdálenosti 4,8 nebo 12 metrů, kolmo od osy bližšího okraje vozovky. Měřicí přístroj se umístí na stabilní základnu do výšky 175 ± 20 cm nad úrovní povrchu vozovky.

U měření v úseku silnice, kde je vozovka oboustranně obestavěna a není možné měřit ve větší vzdálenosti, se měří ve vzdálenosti 2 metry od obvodové stěny budovy.

Polohu měřicích míst je vhodné doložit vyznačeným bodem na mapě, GPS souřadnicemi a fotodokumentací (CELJAK, 2011).

5.2.4 Zjišťované a udávané údaje

- Kvalita povrchu silnice
- Rychlost jízdy vozidel
- Závislost na určité kategorii vozidel
- Intenzita provozu
- Úroveň znečištění vozovky
- Roční období
- Meteorologické podmínky při měření (rychlost a směr větru, teplota vzduchu, tlak vzduchu, vlhkost vzduchu) (CELJAK, 2011)

Meteorologické podmínky při měření

Při delším měření musejí být meteorologické podmínky kontrolovány a zaznamenávány průběžně, např. v hodinových intervalech. Meteorologické podmínky musí vyhovovat stanoveným podmínkám po celou dobu měření. Musí splňovat:

- Rychlost větru nižší než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Okolní teplota v rozmezí $+ 10$ až $+ 30$ °C
- Součin teploty vzduchu a relativní vlhkosti vyšší než 500

- Měření nesmí být prováděno za podmínek teplotní inverze
- Měření nesmí probíhat za mlhy
- Silnice musí být suchá a nesmí se vyskytovat žádné srážky (CELJAK, 2011)

5.2.5 Doba měření

Je doporučeno měřit v měsících od března až do října. Den by se měl volit od úterý do čtvrtka, ne však o svátcích, pokud není stanoven požadavek např. na měření rekreačního provozu (CELJAK, 2011).

5.2.6 Dopravní údaje

Intenzita provozu se vyjádří počtem vozidel, které projíždějí měřeným úsekem dopravní komunikace za určitý čas. V České republice se na pozemních komunikacích pohybují podle legislativy kategorie vozidel M, N, L, S, R. Pro účely měření je žádoucí rozlišovat a zaznamenávat tyto různé kategorie vozidel (CELJAK, 2011).

5.2.7 Dopravně – inženýrské údaje

Měřené úseky pozemní komunikace je nutné jednoznačně charakterizovat jejich sklonem, kvalitou povrchu vozovky, způsobem a intervaly čištění, způsobem, jakým na nich vznikají prachové částice (CELJAK, 2011).

5.3 Dílčí metodika měření hluku v silniční dopravě

Metodika měření hluku silniční dopravy má za úkol sjednotit měřicí postupy pro stanovení hlukové zátěže způsobené silniční dopravou působící na lidi a území. Výsledky měření jsou ekvivalentní hladiny akustického tlaku A [dB] (SMETANA, 1998).

5.3.1 Cíl měření hluku silniční dopravy

Cílem při měření hluku silniční dopravy je zjistit a získat objektivní informace o tom, jaký má skutečný vliv a podíl silniční doprava na akustickou situaci v dané lokalitě. Tyto informace jsou pak nezbytné pro:

- Hodnocení současné situace
- Urbanistické řešení území
- Projektování změny, významu a kategorie dopravní trasy

- Navrhování protihlukových opatření
- Hodnocení protihlukových opatření (SMETANA, 1998).

5.3.2 Měření

Místa měření v zastavěném území

Pokud měříme na oboustranně zastavěné komunikaci, přednostně vybíráme místa ve vzdálenosti 2 m, nejméně však 1 m od fasády sousedící souvislé zástavby. Na rovném úseku a bez stoupání měříme na té straně komunikace, kde je vzdálenost od dopravního pruhu menší. Pokud měříme ve stoupání, volíme přednostně stranu stoupajícího pruhu.

Při měření na oboustranně zastavěných komunikacích, volíme také přednostně místa, jež jsou ve vzdálenosti nejvíce 2 m a nejméně 1 m od fasády přilehlé nesouvislé zástavby, nebo také na hranici pozemku. Na rovném úseku a bez stoupání měříme na té straně komunikace, kde je vzdálenost od dopravního pruhu menší. Pokud měříme ve stoupání, volíme přednostně stranu stoupajícího pruhu.

Měříme-li u jednostranně obestavěných komunikací, vybíráme přednostně místa, jež jsou ve vzdálenosti nejlépe 2 m a nejméně 1 m od fasády přiléhající souvislé zástavby. Na straně neobestavěné pak měříme ve vzdálenosti 25 m od osy nám nejbližšího dopravního pruhu dané komunikace.

Měříme-li u jednostranně obestavěných komunikací s nesouvislou zástavbou, vybíráme přednostně místa, jež jsou ve vzdálenosti nejlépe 2 m a nejméně 1 m od fasády přiléhající souvislé zástavby. Na straně neobestavěné pak měříme ve vzdálenosti 25 m od osy nám nejbližšího dopravního pruhu dané komunikace (SMETANA, 1998).

Místa měření v nezastavěném území

Lze měřit na obou stranách komunikace, a to ve vzdálenosti 7,5 m nebo 25 m od osy krajního jízdního pruhu. Podle účelu měření volíme jednu nebo obě vzdálenosti (SMETANA, 1998).

Počet měřících míst

Každý měřený úsek musí být popsán výsledky alespoň z jednoho místa měření (SMETANA, 1998).

Situování měřicího mikrofonu

Měřicí mikrofón se umísťuje ve výšce 1,5 m nad terénem. Nasměruje se ke komunikaci směrem, který udává výrobce. Nejčastěji však tak, aby osa nejvyšší citlivosti mikrofónu byla kolmo na podélnou osu komunikace a rovnoběžně k povrchu terénu. Neboli tak, aby rovina membrány byla rovnoběžně k dráze vozidel pochybujících se po komunikaci (SMETANA, 1998).

Doba měření

Obecně platí, že den před a po měření nemá být dnem kdy je pracovní klid. Tedy přednostně se volí úterý, středa nebo čtvrtek. Při zjišťování např. rekreační dopravy se však může měřit i jiné dny. Doporučené měsíce pro měření jsou březen až červen, září a říjen, pokud předmětem měření není sledování hlučnosti provozu s jiných měsících než uvedených.

Měření za deště, sněžení a silnějším větrem je nežádoucí. Přesáhne-li rychlost větru $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je nutno použít kryt proti větru. Pokud vítr překročí rychlost $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ jsou výsledky s největší pravděpodobností zkreslené a nelze dosáhnout požadované přesnosti měření (SMETANA, 1998).

Zjišťované a udávané údaje

Akustické údaje:

- Základním a nejdůležitějším údajem je ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB].

Neakustické údaje:

- Topografické údaje zahrnující přesný popis měřicího místa. Vhodné doplnit náčrtem či fotografiemi. Poloha mikrofónu. Popis druhu a kvality povrchu vozovky.
- Dopravní údaje zahrnující počet vozidel. Vozidla by se měla rozčleňovat nejméně do dvou kategorií, a to na osobní a nákladní vozidla. Dále je výhodné sledovat a zaznamenávat průměrnou rychlost projíždějících vozidel.

- Zaznamenávají se i klimatické údaje jako údaj o teplotě vzduchu, rychlosti větru, atmosférickém tlaku atp.
- Přístroje použité pro měření.
- Datum měření, doba měření a osoba odpovědná za správnost provedeného měření a za úplnost uváděných údajů (SMETANA, 1998).

5.4 Vlastní měření

5.4.1 Čechova ulice, Benešov

Datum a čas: 10. 10. 2018, 7:00 – 8:00

49.7865194N, 14.6922494E

Kvalita povrchu silnice: mírně znečištěný asfaltový povrch, s vyšším výskytem prachových příměsí na krajnicích vozovky

Maximální povolená rychlost: 40 km.h⁻¹

Vzdálenost měřicího místa od vozovky: 8 m

Tabulka 5 - Meteorologické podmínky v době měření, Čechova ulice, Benešov

Teplota vzduchu	Vlhkost vzduchu	Tlak vzduchu	Oblačnost	Vítr	Sníh
14 °C	42 %	1019 hPa	jasno	1,8 m.s ⁻¹	-

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Tabulka 6 - Počet projíždějících vozidel v době měření, Čechova ulice, Benešov

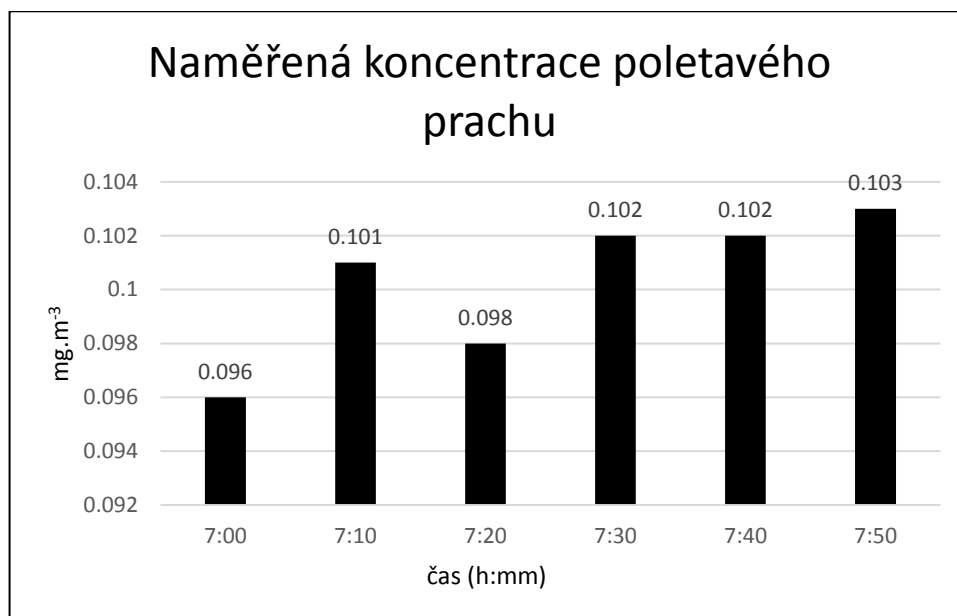
Druh vozidla *	Počet vozidel
M	18
O	834
N	48
A	0
K	6
celkem	906

* M – motocykl, O – osobní automobil, N – nákladní automobil, A – Autobus, K – nákladní souprava

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Koncentrace poletavého prachu:

- Minimální: 0,089 mg.m⁻³
- Maximální: 0,125 mg.m⁻³
- Průměrná: 0,100 mg.m⁻³

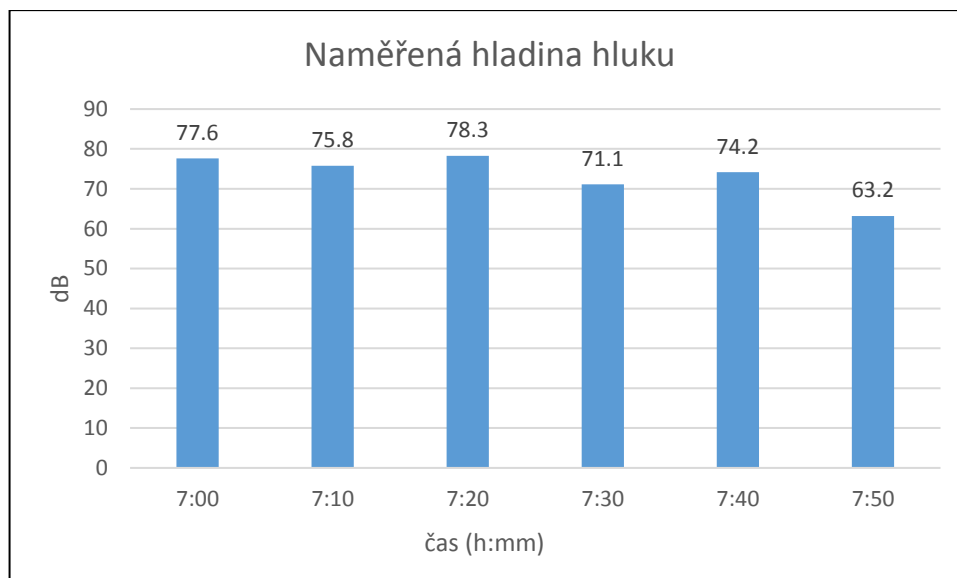


Obrázek 5 – Graf naměřené koncentrace poletavého prachu, Čechova ulice, Benešov

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Naměřená hladina hluku:

- Minimální: 63,2 dB
- Maximální: 78,3 dB
- Průměrná: 73,4 dB



Obrázek 6 – Graf naměřené hladiny hluku, Čechova ulice, Benešov

(Zdroj: Vít Bartůšek)



Obrázek 7 - Identifikace měření, Čechova ulice, Benešov

(Zdroj: www.mapy.cz)



Obrázek 8 - Fotodokumentace, Čechova ulice, Benešov

(Zdroj: Vít Bartůšek)

5.4.2 Nová pražská ulice, Benešov

Datum a čas: 10. 10. 2018, 9:00 – 10:00

49.7865614N, 14.6873625E

Kvalita povrchu silnice: mírně znečištěný asfaltový povrch, s nízkým výskytem prachových příměsí na krajnicích vozovky

Maximální povolená rychlost: 40 km.h⁻¹

Vzdálenost měřicího místa od vozovky: 8 m

Tabulka 7 - Meteorologické podmínky v době měření, Nová pražská ulice, Benešov

Teplota vzduchu	Vlhkost vzduchu	Tlak vzduchu	Oblačnost	Vítr	Sníh
16 °C	40 %	1016 hPa	skoro jasno	1,9 m.s ⁻¹	-

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Tabulka 8 - Počet projíždějících vozidel v době měření, Nová pražská ulice, Benešov

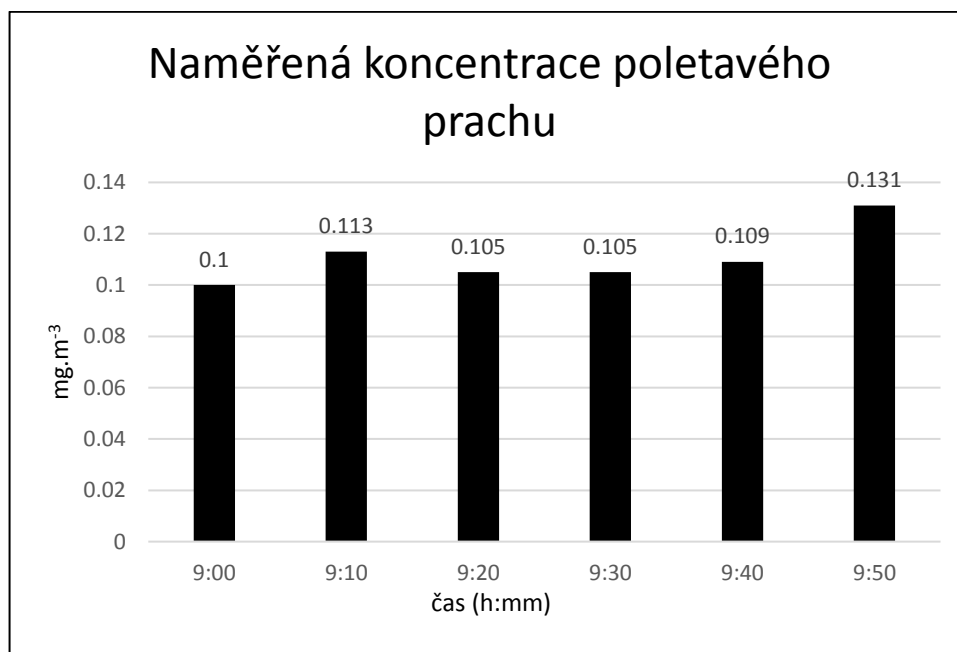
Druh vozidla	Počet vozidel
M	0
O	894
N	108
A	12
K	30
celkem	1044

* M – motocykl, O – osobní automobil, N – nákladní automobil, A – Autobus, K – nákladní souprava

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Koncentrace poletavého prachu:

- Minimální: 0,089 mg.m⁻³
- Maximální: 0,148 mg.m⁻³
- Průměrná: 0,111 mg.m⁻³

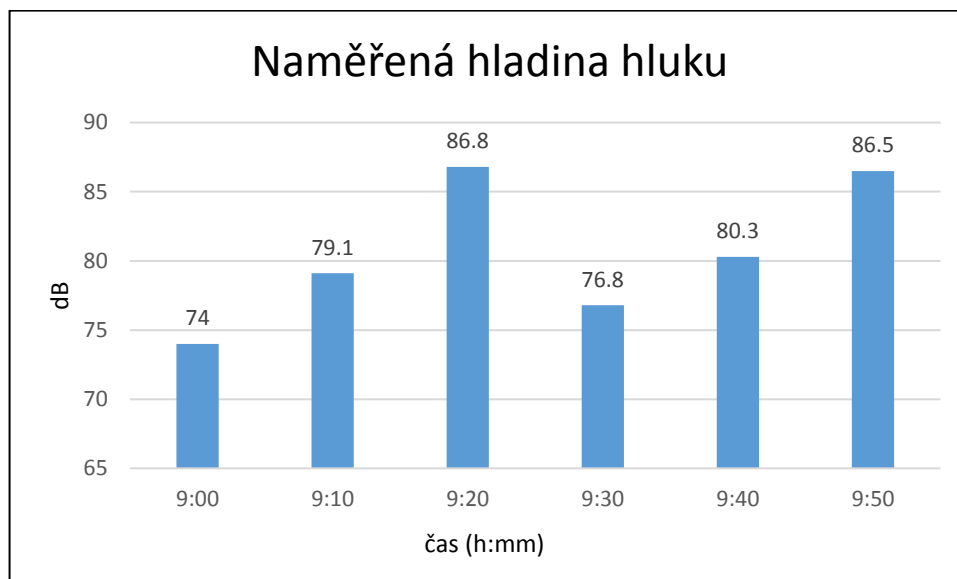


Obrázek 9 – Graf naměřené koncentrace poletavého prachu, Nová pražská ulice, Benešov

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Naměřená hladina hluku:

- Minimální: 74 dB
- Maximální: 86,8 dB
- Průměrná: 80,6 dB



Obrázek 10 – Graf naměřené hladiny hluku, Nová pražská ulice, Benešov

(Zdroj: Vít Bartůšek)



Obrázek 11 - Identifikace měření, Nová pražská ulice, Benešov

(Zdroj: www.mapy.cz)



Obrázek 12 - Fotodokumentace, Nová Pražská ulice, Benešov

(Zdroj: Vít Bartůšek)

5.4.3 E 55, Benešov

Datum a čas: 10. 10. 2018, 11:00 – 12:00

49.7672647N, 14.6757886E

Kvalita povrchu silnice: středně znečištěný asfaltový povrch, s nízkým výskytem prachových příměsí na krajnicích vozovky

Maximální povolená rychlost: 70 km.h⁻¹

Vzdálenost měřicího místa od vozovky: 8 m

Tabulka 9 - Meteorologické podmínky v době měření, E 55, Benešov

Teplota vzduchu	Vlhkost vzduchu	Tlak vzduchu	Oblačnost	Vítr	Sníh
21 °C	42 %	1017 hPa	skoro jasno	1,7 m.s ⁻¹	-

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Tabulka 10 - Počet projíždějících vozidel v době měření, E 55, Benešov

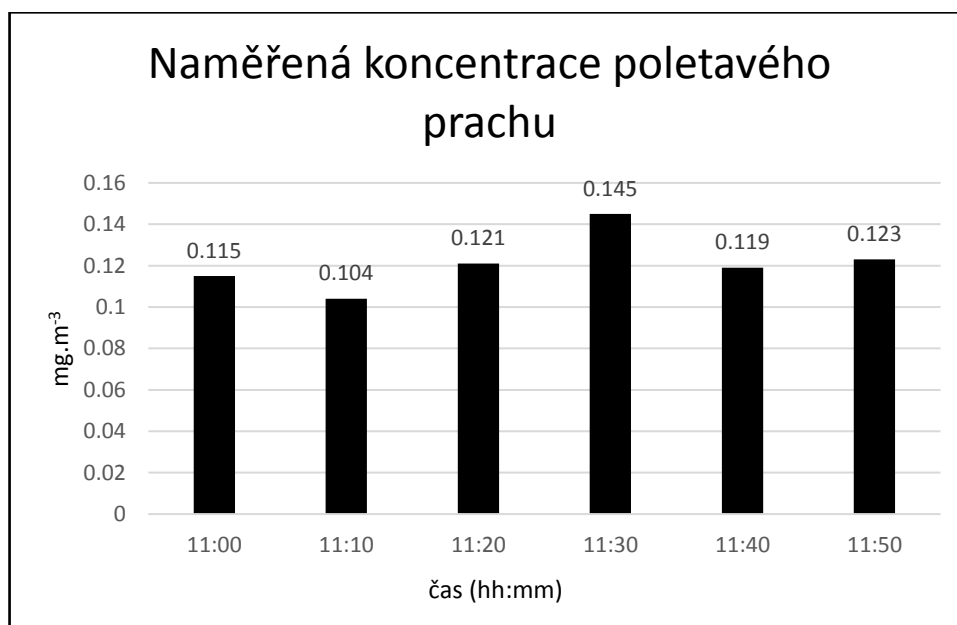
Druh vozidla	Počet vozidel
M	6
O	1038
N	150
A	24
K	151
celkem	1369

* M – motocykl, O – osobní automobil, N – nákladní automobil, A – Autobus, K – nákladní souprava

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Koncentrace poletavého prachu:

- Minimální: 0,107 mg.m⁻³
- Maximální: 0,162 mg.m⁻³
- Průměrná: 0,121 mg.m⁻³

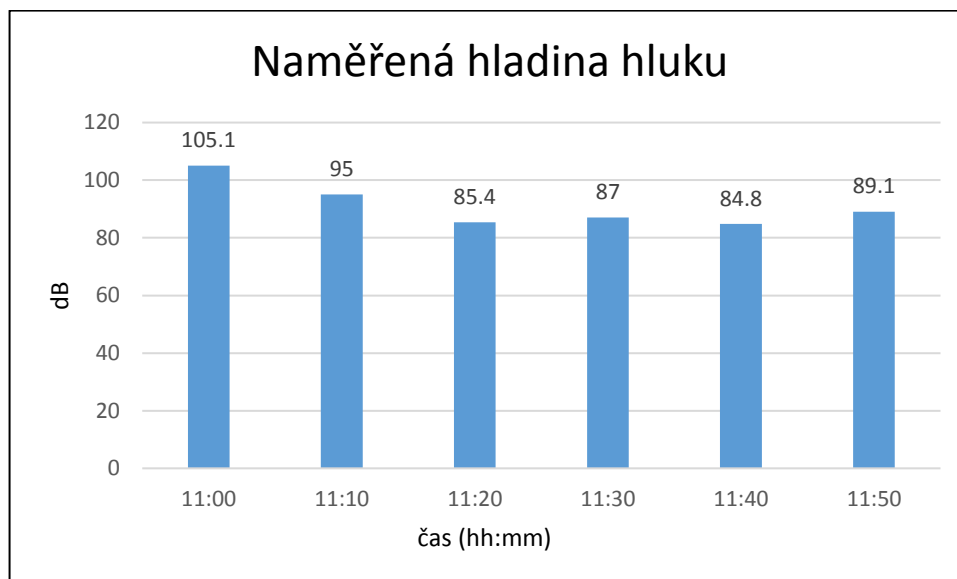


Obrázek 13 – Graf naměřené koncentrace poletavého prachu, E 55, Benešov

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Naměřená hladina hluku:

- Minimální: 84,8 dB
- Maximální: 105,1 dB
- Průměrná: 91,1 dB



Obrázek 14 – Graf naměřené hladiny hluku, E 55, Benešov

(Zdroj: Vít Bartůšek)



Obrázek 15 - Identifikace měření, silnice E 55, Benešov

(Zdroj: www.mapy.cz)



Obrázek 16 - Fotodokumentace, silnice E 55, Benešov

(Zdroj: Vít Bartůšek)

5.4.4 Východní obchvat Benešova

Datum a čas: 15. 10. 2018, 7:00 – 8:00

49.7842119N, 14.7008619E

Kvalita povrchu silnice: mírně znečištěný asfaltový povrch, s vyšším výskytem prachových příměsí na krajnicích vozovky

Maximální povolená rychlost: 80 km.h⁻¹

Vzdálenost měřicího místa od vozovky: 8 m

Tabulka 11 - Meteorologické podmínky v době měření, východní obchvat Benešova

Teplota vzduchu	Vlhkost vzduchu	Tlak vzduchu	Oblačnost	Vítr	Sníh
18 °C	51 %	1021 hPa	polo jasno	1,6 m.s ⁻¹	-

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Tabulka 12 - Počet projíždějících vozidel v době měření, Východní obchvat Benešova

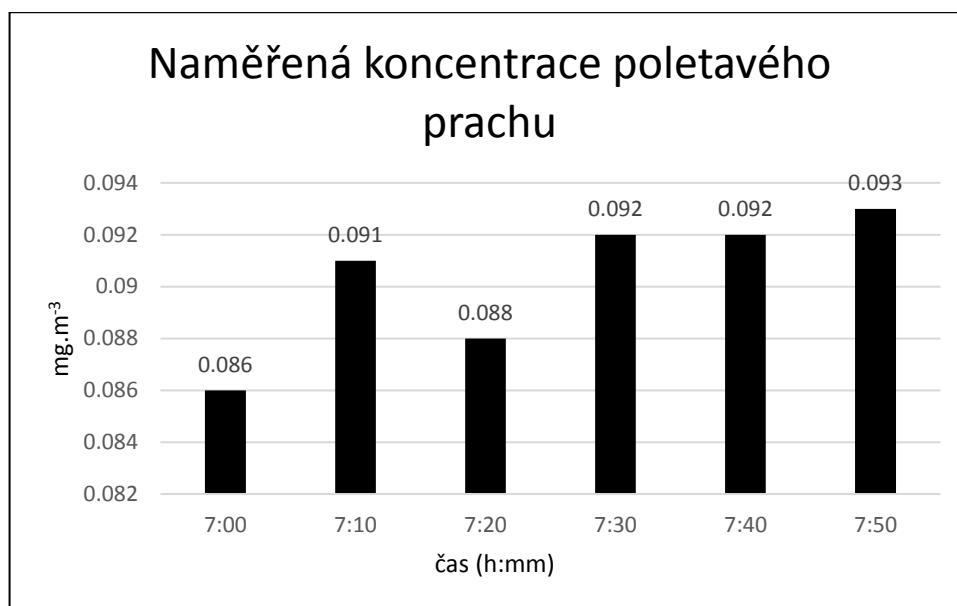
Druh vozidla	Počet vozidel
M	18
O	722
N	78
A	0
K	18
celkem	836

* M – motocykl, O – osobní automobil, N – nákladní automobil, A – Autobus, K – nákladní souprava

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Koncentrace poletavého prachu:

- Minimální: 0,079 mg.m⁻³
- Maximální: 0,115 mg.m⁻³
- Průměrná: 0,090 mg.m⁻³

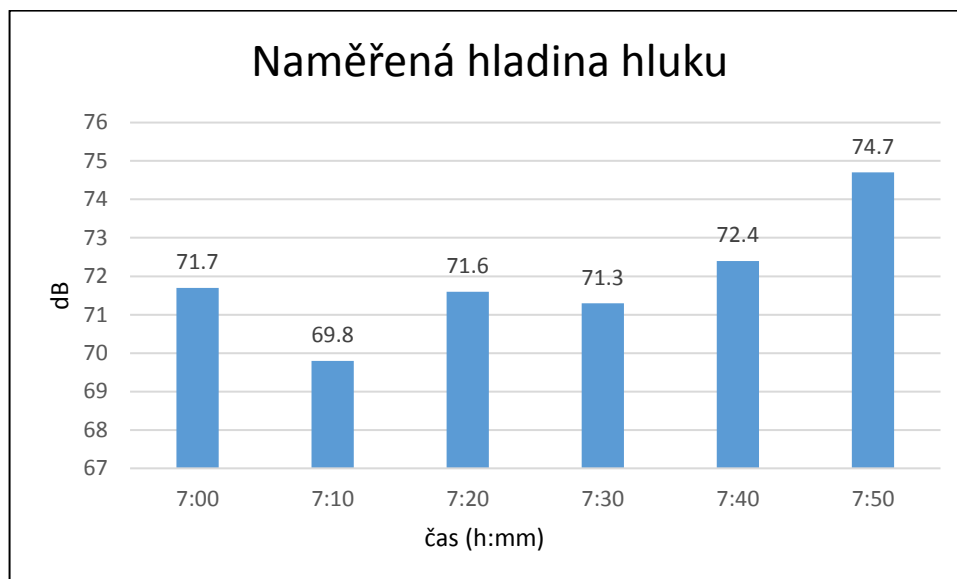


Obrázek 17 – Graf naměřené koncentrace poletavého prachu, východní obchvat Benešova

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Naměřená hladina hluku:

- Minimální: 46,8 dB
- Maximální: 74,7 dB
- Průměrná: 71,9 dB



Obrázek 18 – Graf naměřené hladiny hluku, východní obchvat Benešova

(Zdroj: Vít Bartůšek)



Obrázek 19 - Identifikace měření, východní obchvat Benešova

(Zdroj: www.mapy.cz)



Obrázek 20 - Fotodokumentace, východní obchvat Benešova

(Zdroj: Vít Bartůšek)

5.4.5 Vlašimská ulice, Benešov

Datum a čas: 10. 10. 2018, 9:00 – 10:00

49.7823406N, 14.6992217E

Kvalita povrchu silnice: velmi mírně znečištěný asfaltový povrch, s nízkým výskytem prachových příměsí na krajnicích vozovky

Maximální povolená rychlost: 50 km.h⁻¹

Vzdálenost měřicího místa od vozovky: 8 m

Tabulka 13 - Meteorologické podmínky v době měření, Vlašimská ulice, Benešov

Teplota vzduchu	Vlhkost vzduchu	Tlak vzduchu	Oblačnost	Vítr	Sníh
20 °C	49 %	1022 hPa	polo jasno	1,4 m.s ⁻¹	-

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Tabulka 14 - Počet projíždějících vozidel v době měření, Vlašimská ulice, Benešov

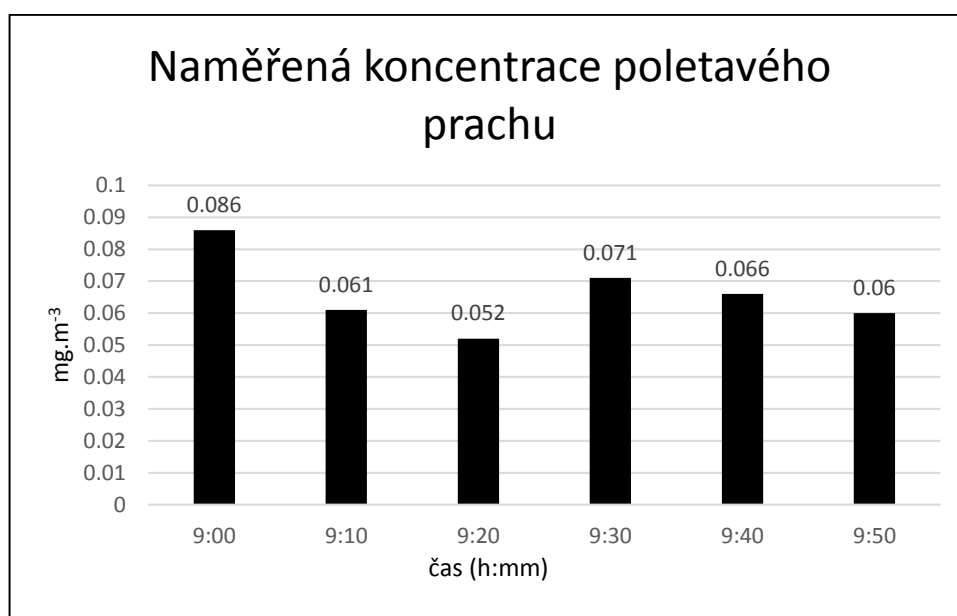
Druh vozidla	Počet vozidel
M	0
O	366
N	78
A	12
K	13
celkem	469

* M – motocykl, O – osobní automobil, N – nákladní automobil, A – Autobus, K – nákladní souprava

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Koncentrace poletavého prachu:

- Minimální: 0,044 mg.m⁻³
- Maximální: 0,101 mg.m⁻³
- Průměrná: 0,066 mg.m⁻³

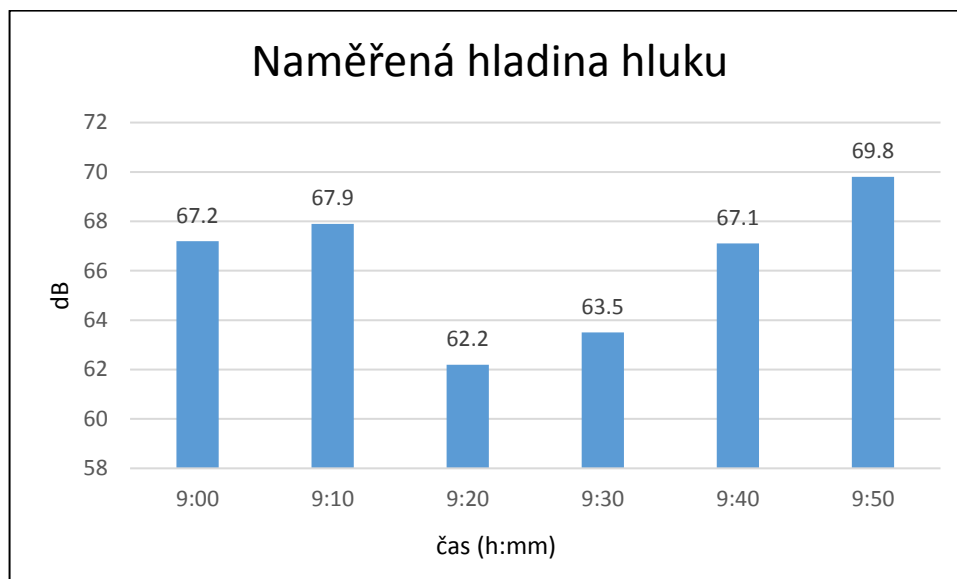


Obrázek 21 – Graf naměřené koncentrace poletavého prachu, Vlašimská ulice, Benešov

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Naměřená hladina hluku:

- Minimální: 62,2 dB
- Maximální: 69,8 dB
- Průměrná: 66,3 dB



Obrázek 22 – Graf naměřené hladiny hluku, Vlašimská ulice, Benešov

(Zdroj: Vít Bartůšek)



Obrázek 23 - Identifikace měření, Vlašimská ulice, Benešov

(Zdroj: www.mapy.cz)



Obrázek 24 - Fotodokumentace, Vlašimská ulice, Benešov

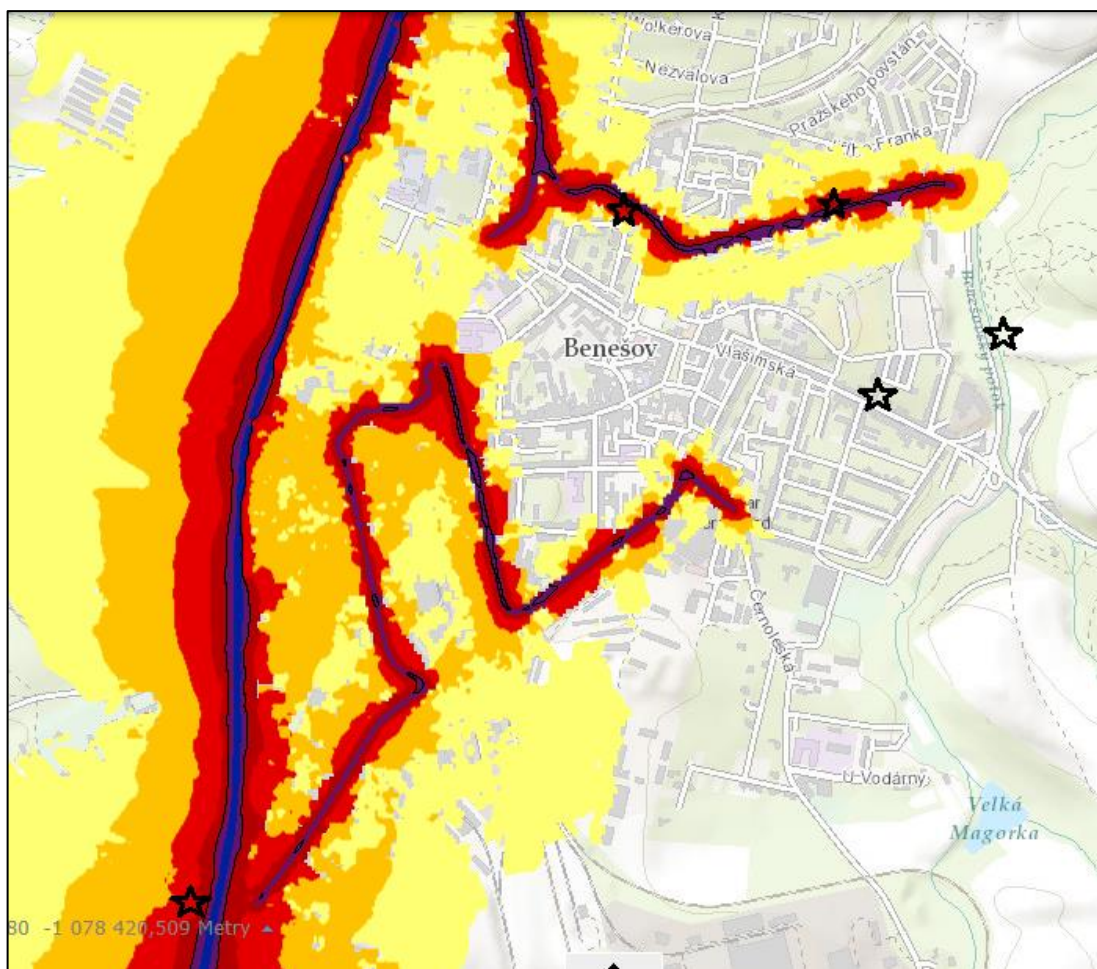
(Zdroj: Vít Bartůšek)

5.5 Poškození zdraví vlivem prachu a hluku

5.5.1 Poškození zdraví vlivem hluku

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49 ES, která se zabývá hodnocením a řízením hluku ve venkovním prostředí ukládá České republice jakožto státu, který je členem Evropské unie, povinnost pořizovat Strategické hlukové mapy (SHM) a navazující akční plány (AP). SHM vznikají každých pět let. Pokud však dojde k podstatnému vývoji hlukové situace na posuzovaném území, mohou se tyto plány pořizovat i dříve než po pěti letech.

SHM znázorňují intenzitu hluku v okolí stanovených hlavních pozemních komunikací (viz obrázek č. 25), hlavních železničních tratí, hlavních letišť a v aglomeracích. Na základě SHM se pak stanovují Akční plány obsahující návrhy na opatření pro snížení hluku. Takto získávané údaje slouží jako podklad pro hlukovou politiku a legislativu EU. Cílem je pak snížení hlukové zátěže obyvatelstva (MZČR, 2010).



Obrázek 25 - Strategická hluková mapa města Benešov

*hvězdou jsou označena místa na nichž bylo prováděno měření autorem

(Zdroj: <https://geoportal.mzcr.cz/shm/>)

Nepříznivé účinky hluku na lidské zdraví vedou ke zhoršení nebo poškození funkcí organismu. Zapřičiňují snížení odolnosti organismu na stres a zvyšují vnímavost k jiným nepříznivým vlivům prostředí. Z hlediska fyzikálních parametrů hluku je možné přijmout tzv. Lehmanovo schéma účinků:

Hladina hluku L_A :

- 120 dB možné nebezpečí poškození buněk a tkání
- 90 dB možné nebezpečí pro sluchový orgán
- 60 až 65 dB možné nebezpečí pro vegetativní systém
- 30 dB možné nebezpečí pro nervový systém a psychiku

Negativní účinky hluku na lidské zdraví se projevují prakticky v celém rozsahu intenzit hluku. Nižší hladiny hluku s dlouhou dobou působení mají negativní účinky spíše na nervové funkce, odpočinek organismu a jeho výkonnost. Vysoké hladiny hluku mají negativní důsledky i při kratší době působení na poškození sluchového aparátu, zvýšení krevního tlaku a zrychlení tepové frekvence.

Nejzranitelnějšími skupinami obyvatel jsou pak:

- děti a mladiství
- senioři skupiny s určitým specifickým onemocněním (např. hypertenze)
- lidé pobývající v nemocnicích nebo se zotavující doma
- lidé s poruchami sluchu
- lidé s poruchami zraku (slepí)
- lidé pracující na směny (MZČR, 2010).

5.5.2 Poškození zdraví vlivem prachu

Expozice prašným částicím a její zdravotní účinky mohou mít různé formy. Obzvláště u citlivých osob může prach způsobovat podráždění nebo dokonce alergické odezvy. Hlavní cestou vstupu prašných částic do lidského organismu jsou dýchací cesty. Díky řasovitému epitelu v nosní dutině se lidskému tělu podaří hrubé prahové částice zadržet před vstupem do plic. Tyto částice pak člověk spolkne nebo vykašle. Čím má prahová částice menší průměr, tím roste pravděpodobnost, že se dostane hlouběji do organismu. U částic menších než 3 μm je pravděpodobnost, že se dostanou až do plicních sklípků větší než 50 %. Tyto částice jsou pak ze zdravotního hlediska nejnebezpečnější. Vdechováním prašných částic jsou způsobeny různé nepříznivé biologické reakce v lidském organismu.

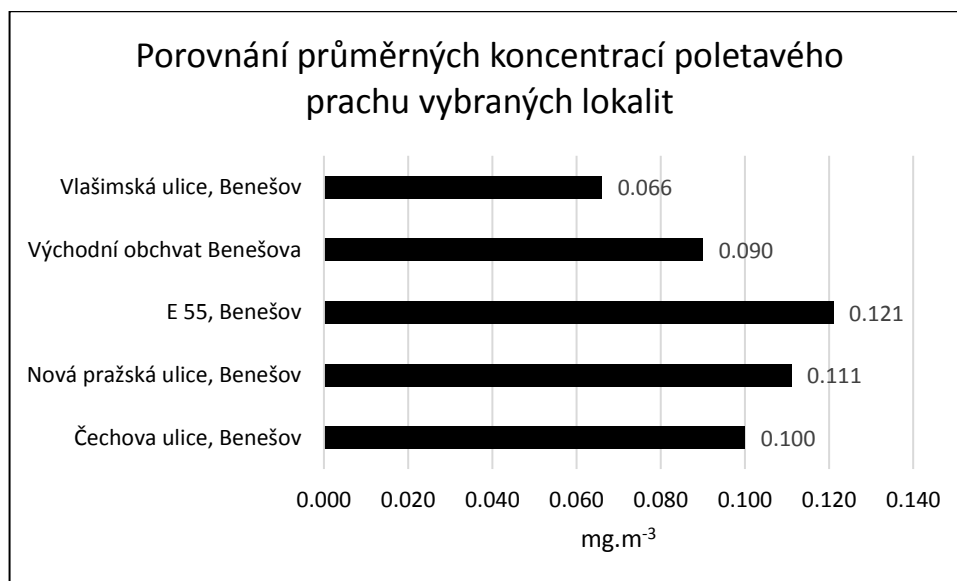
Vysoká koncentrace prachu v ovzduší způsobuje jeho usazování v očích, ústech a nosu, což způsobuje nepříjemné pocity. Dlouhodobé vystavování se vysokým koncentracím prachu vede k přetěžování samočisticích mechanismů plic, snižování celkové obranyschopnosti člověka a může přispět k chronickému zánětu průdušek. Mechanické působení prachových částic může způsobit poranění pokožky či sliznic.

Toxické prachy způsobují kromě účinku na dýchací ústrojí i systematickou intoxikaci. Při absorbování těchto prachů krví nepříznivě ovlivňují tkáně a orgány. Karcinogenní prachy mohou vyvolat nádorová onemocnění (SZÚ, 2008).

6 Diskuse

Měření koncentrace poletavého prachu ukázalo, že průměrné naměřené hodnoty odpovídají očekávaným výsledkům dříve prováděných měření. Naměřené hodnoty se pohybují mírně, až výrazně nad limity pro 24hodinové koncentrace (viz obrázek č. 26.). Toto však může být způsobeno skutečností, že měření byla prováděna v ranní dopravní špičce a v čase okolo špičky. Při dlouhodobějším měření, například po celou denní dobu 24 hodin, by zejména díky řídkému provozu v nočních hodinách, byly pravděpodobně průměrné 24hodinové koncentrace nižší, než normy povolují.

V některých lokalitách (Nová pražská ulice, Benešov a zejména E 55, Benešov) je však naměřená koncentrace velmi vysoká, což potvrzuje výsledky Horálka, 2003, že stanice, na kterých jsou pravidelně překračovány limity pro 24hodinové koncentrace, jsou z více jak jedné pětiny klasifikovány jako stanice dopravní. Dopravní stanice pak mají v součtu velký podíl při překračování ročního imisního limitu.



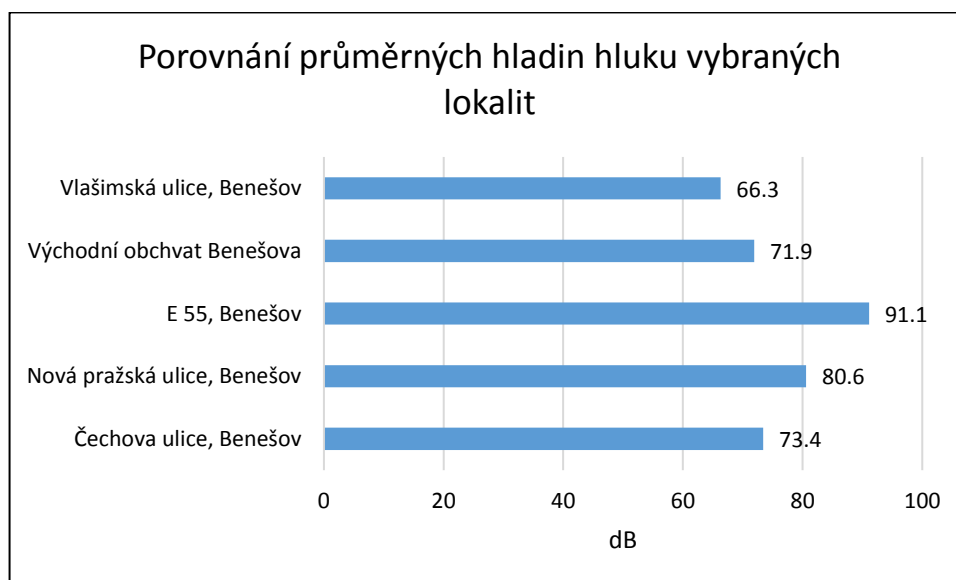
Obrázek 26 – Graf znázorňující porovnání průměrných koncentrací poletavého prachu vybraných lokalit

(Zdroj: Vít Bartůšek)

Při vyhodnocování měření hladin hluku ve vybraných lokalitách se ukázalo, že ve většině zvolených míst k měření, byly překročeny denní limity hluku pro pozemní komunikace (viz obrázek č. 27.). To může být ovšem způsobeno měřením, která byla prováděna v ranní dopravní špičce a v čase okolo špičky. V době okolo poledne, brzy

po obědě a zejména v podvečer se hladina hluku v okolí pozemních komunikací pohybuje na nižší úrovni.

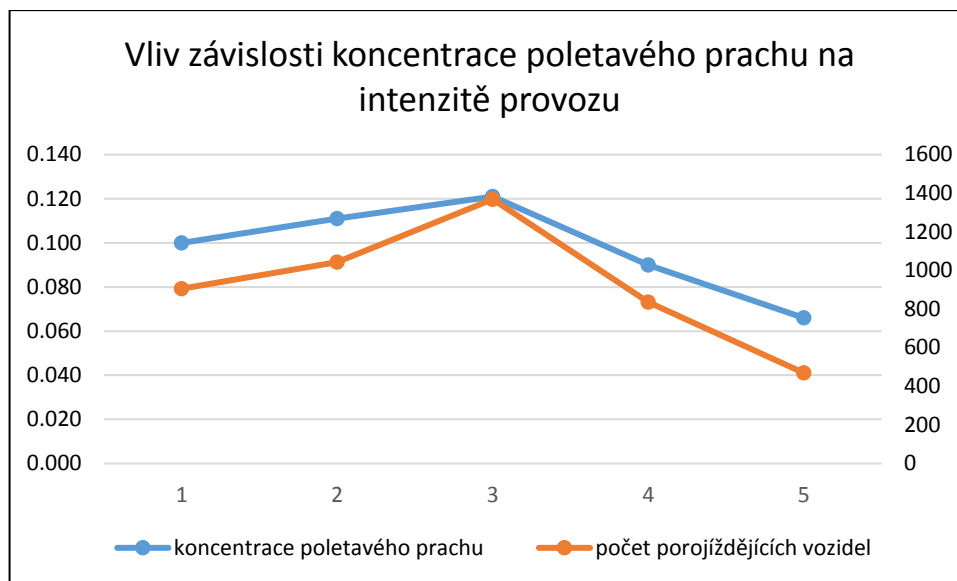
Vysoké hodnoty hluku z měření v lokalitách (E 55, Benešov a Východní obchvat Benešova) jsou v souladu se zjištěním Nového, 1995, Zdražila, 1984 a Celjaka, 2015, kteří uvádějí, že při vysoké rychlosti se zvyšuje i hluk dopravních vozidel. Na těchto dvou úsecích byla nejvyšší povolená rychlost 70 a 80 km.h⁻¹. V ulici Nová pražská byla naměřena také vysoká průměrná hladina hluku, dokonce vyšší než na východním obchvatu Benešova, kde je nejvyšší povolená rychlost o 40 km.h⁻¹ vyšší než v ulici Nová pražská. Lze to vysvětlit větším počtem projíždějících nákladních vozidel v ulici Nová Pražská, které mají větší hmotnost, zdvojené nápravy a dvojmontáže kol, což má pravděpodobně za následek vyšší hluk těchto dopravních prostředků, jak uvádějí Nový, 1995 a Zdražil, 1984.



Obrázek 27 – Graf znázorňující porovnání průměrných hladin hluku vybraných lokalit

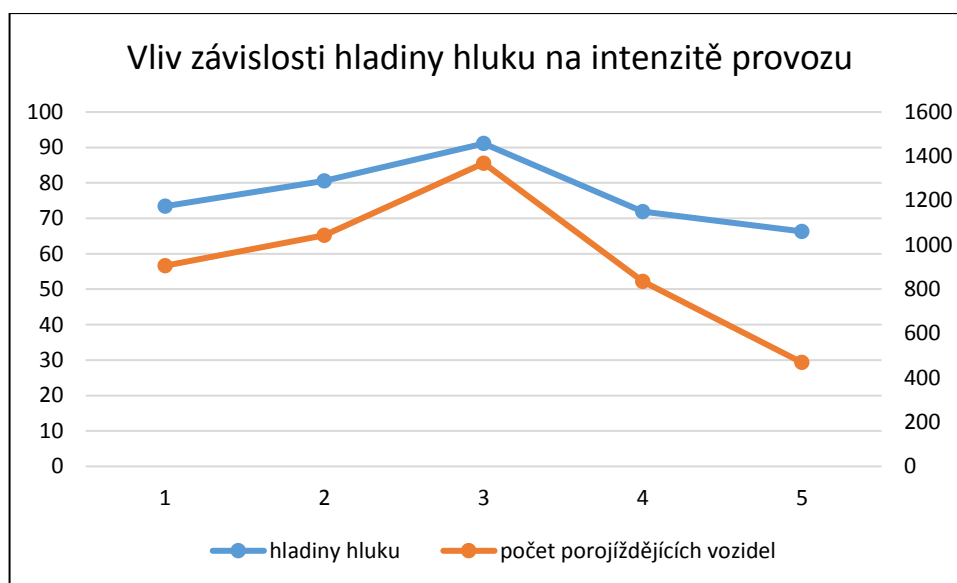
(Zdroj: Vít Bartůšek)

Na následujících grafech (obrázek č. 28 a obrázek č. 29.) je patrná závislost obou sledovaných negativních externalit dopravy na intenzitě provozu na pozemních komunikacích. Se vzrůstající intenzitou provozu roste i koncentrace polétavého prachu v blízkosti dopravních tras a také se zvyšuje hladina hluku generovaná dopravními prostředky, jak zmiňují Hůnová a Janoušková, 2004 a Nový, 1995.



Obrázek 28 – Graf vlivu závislosti koncentrace poletavého prachu na intenzitě provozu

(Zdroj: Vít Bartůšek)



Obrázek 29 – Graf vlivu závislosti hladiny hluku na intenzitě provozu

(Zdroj: Vít Bartůšek)

7 Závěr

Město Benešov bylo vybráno jednak z toho důvodu, že nabízí možnosti měření na rozmanitých pozemních komunikacích (hustota provozu, nejvyšší povolená rychlost, různorodost dopravních prostředků pohybujících se po komunikacích atp.) a také z důvodu, že jsem zde vyrůstal a žiji.

Silniční doprava za dobu své existence přinesla spoustu kladů a pozitivních externalit – přeprava osob, materiálu a výrobků, pracovní příležitosti a celkový rozvoj ekonomiky. Budování a užívání silniční dopravy s sebou ale nese i velké negativní dopady na lidské zdraví, pohodu, pohodlí a také na životní prostředí.

První zmíněnou negativní externalitou bylo poškození životního prostředí ztrátami nebezpečných nákladů a únikem pohonných hmot při nehodách. Ropné látky se odbourávají a půda se samovolně regeneruje. Tento proces však trvá i řadu let. Částečným řešením a prevencí je řádné upevnění a zjištění převážených nebezpečných nákladů obsluhou dopravního prostředku. Dalším řešením je snížení počtu dopravních nehod, při nichž dojde k úniku pohonných hmot. Další řešenou negativní externalitou je vliv dopravních tras na krajinu, který má za následek narušení volného pohyb lidí v přírodě, pozměnění vodního režimu a rozdělování a ohraničování přírodních biotopů dopravními trasami. Zde řešení není jednoduché, vyžaduje podrobné a zodpovědné zkoumání a rozhodování při výstavbě nových dopravních tras. Velmi smutnou externalitou je smrt domácích zvířat a divoké zvěře vlivem kolizí s dopravními prostředky. Srážkám domácích zvířat se silničními vozidly mohou předcházet majitelé zvířat jejich kontrolou pohybu. Pohybu divoké zvěře snad s výjimkou plotů a jiných fyzických bariér zabránit nelze, a proto se dá očekávat podobný nebo dokonce vyšší počet nehod se zvěří, pokud nedojde k úbytku dopravních prostředků na silnicích, k přizpůsobení jízdy řidičů v nočních hodinách, kdy se dá očekávat přesun zvěře přes dopravní trasy nebo k redukci populací lovné zvěře. Omezení pohybu lidí v okolí frekventovaných dopravních tras je další nepříjemný jev silniční dopravy. Jeho řešením je výstavba podchodů nebo nadchodů, což ovšem s sebou nese nemalou finanční zátěž, nehledě na to, že to v mnoha místech není z technických a architektonických důvodů možné. Jisté nepohodlí je způsobeno negativními světelnými účinky, způsobenými vozidly, kolem dopravních tras. Určité řešení se nabízí v podobě výstavby stěn či valů, případně použití clon v oknech domů a bytů. Tyto způsoby řešení však také vyžadují uvolnění určitých peněžních prostředků.

Výstavba nových dopravních tras je nedílnou součástí rozvoje prostředí, ve kterém žije lidská společnost. Nese s sebou však také určité negativní důsledky. Musí se proto počítat s velkými změnami v naší krajině do té doby, dokud nebude dostavěna plánovaná dálniční síť na našem území. Znečištění ovzduší byla negativní externalita, které jsem se věnoval podrobněji. Z literatury i z mého měření vyplývá, že výše znečištění ovzduší prachovými částicemi závisí na mnoha faktorech jako je počasí, stav vozovky, znečištění vozovky, rychlost projíždějících dopravních vozidel, jejich hmotnost, kategorie a zejména počet dopravních prostředků. Důsledné a pravidelné čištění vozovek může přispět ke snížení koncentrace poletavého prachu. Dalším prostředkem je pak používání filtrů pevných částic a jiných technických řešení u vozidel se spalovacími motory, které do ovzduší vypouštějí nejen pevné částice, ale i mnoho jiných škodlivých látek, zejména plynů. Druhá negativní externalita, u které jsem měřil její hodnoty a které jsem se věnoval podrobněji, byl hluk emitovaný dopravními prostředky při jízdě. I zde vydávané a naměřené hladiny závisí na mnoha faktorech, zahrnující stav vozovky, kategorie vozidel atp. Velmi důležitá je zde rychlost vozidel, s jejíž vzrůstající hodnotou roste i hladina hluku. Také se zde potvrdilo, že významnou roli hraje počet projíždějících vozidel, který přímou úměrou působí na naměřené hodnoty hluku. Hladinu hluku lze snižovat několika opatřeními, nebo jejich kombinacemi, jako je použití nehlukových asfaltů či pneumatik, výstavba protihlukových stěn a bariér, případně snížení nejvyšší povolené rychlosti. Vibrace jsou negativní externalita úzce související s hlukem. Problém je jejich šíření pevnými předměty a působení na okolní zástavbu. Existují ale různá stavební řešení, jak je tlumit nebo alespoň zmírnit. Hluk lze snížit také změnou pohonu vozidel, například elektrickým pohonem.

Evropská společnost v současné a blízké budoucí době zažívá a bude zažívat mnoho změn v silniční dopravě v důsledku stále se zpřísnujících emisních norem a kladení důrazu na používání jiných zdrojů energie jako je například zemní plyn, vodík či elektrická energie. Tyto trendy by mohly v budoucnu pomoci s řešením některých negativních externalit, na jiné však vliv mít nebudou. Lidé by si proto měli uvědomovat, co využívání dopravních prostředků způsobuje a že nepřináší jen klady. Nesmyslná agresivní jízda, využívání velkých a těžkých osobních automobilů, často pro přepravu pouze jedné osoby, dovoz zboží z velké vzdálenosti, které se však dá

vyrábět a pěstovat lokálně, toto jsou dnešní návyky, s jejichž odstraněním by se snížily nebo dokonce odstranily, v této práci rozebírané, negativní externality.

8 Seznam použité literatury

- BEDNÁŘ, J. (2009). *Základní informace o atmosféře země*. In: BRANIŠ, M.
- BENCKO, Vladimír a Karel SYMON. (1988). *Znečištění ovzduší a zdraví*. Praha: Avicenum.
- BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ, ed. (2009). *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. V Praze: Karolinum. ISBN 978-80-246-1598-1.
- CELJAK, Ivo. (2015). *Ovlivnění řidičů emisemi prachových částic ze spalovacích a nespalovacích procesů*, *Komunální technika*, 2/2015, roč. IX, s. 50-43, ISSN 1802-2391.
- CELJAK, Ivo. (2015). *Problematika externalit silniční dopravy v obcích*, *Komunální technika*, 11/2015, roč. IX, s. 14-18, ISSN 1802-2391.
- CELJAK, Ivo, (2011). *Zásady provádění měření hmotnostní koncentrace polévatého prachu monitorem DustTRAK 8530*.
- CDV. (2018). Centrum dopravního výzkumu, Brno, <https://www.cdv.cz/> Staženo dne: 11. 1. 2019.
- ČIHÁK, Miloš a kol. (2013). *Páteřní síť silnic a dálnic v ČR*. Praha: Agentura Lucie spol. s. r. o., ISBN 978-80-87138-52-6.
- ČHMÚ. (2012). *Imisní limity*, *Český hydrometeorologický ústav*, Praha, http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html Staženo dne: 3.1.2019.
- ČHMÚ. (2016). *Znečištění ovzduší na území české republiky v roce 2016*, *Český hydrometeorologický ústav*, Praha, str 228 http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/16groc/gr16cz/Obsah_CZ.html Staženo dne: 8.12.2018.

ČHMÚ. (2017). *Imisní limity*, Český hydrometeorologický ústav, Praha, http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/Obsah_CZ.html Staženo dne: 8.12.2018.

DYLEVSKÝ, Ivan. (2009). *Funkční anatomie*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3240-4.

EISLER, Jan. (2004). *Ekonomika dopravních služeb a podnikání v dopravě*. Praha: Oeconomica. ISBN 80-245-0772-2.

HAVRÁNEK, Jiří a kol. (1990). *Hluk a zdraví*. Praha: Avicenum, 280 s. ISBN 80-201-0020-2.

HORÁLEK, Jan. (2003). *Znečištění ovzduší částicemi aerosolu na dopravou ovlivněných stanicích, Ochrana ovzduší*, roč. XV., č. 2, s. 3-4, ISSN 1211-0337.

HŮNOVÁ, Iva a Svatava JANOUŠKOVÁ. (2004). *Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší*. Praha: Karolinum. ISBN 80-246-0796-4.

KALÁČ, Pavel. (2010). *Chemie životního prostředí*. 2., dopl. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. ISBN 978-80-7394-232-8.

KALÁB, Zdeněk. (1999). *Příklady měření projevů seismicity způsobené dopravou*. Sborník konference Geotechnika 99 – Základy moderních technologií, Ostrava, s 93-96.

KURFÜRST, Jiří. (1982). *Zdroje znečišťování ovzduší*. Praha: SZN.

KUŠTA, Tomáš. (2018). *Počet střetů vozidel se zvěří loni stoupl o 15 procent, Svět myslivosti*, 3/2018, roč. XIX, s. 5, ISSN 1212-8422.

LAURENT, Jiří. (1975). *Analýza zdrojů a účinků hluku ve městech a technických a urbanistických možnostech snižování jeho hladiny*. Praha, ÚVTEI/UTEIN.

MDČR. (2018). *Ročenka dopravy 2017*, Ministerstvo dopravy, Praha. <https://www.sydos.cz/cs/rocenka-2017/index.html>. Staženo dne: 13. 1. 2019.

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. (2015). *Národní akční plán čisté mobility*.

MZČR. (2010). *Strategické hlukové mapování ČR*, Ministerstvo zdravotnictví České republiky. <http://www.mzcr.cz/hlukovemapy/> Staženo dne: 15.3 2019.

MOLDAN, Bedřich. (1997). *Příroda a civilizace: životní prostředí a rozvoj lidské civilizace*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. Odborná literatura pro žáky a veřejnost. ISBN 80-04-26434-4.

NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Staženo dne 7. 12. 2018.

NĚMEČEK, Pavel. (1998). *Hluk v technické praxi*. Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN isbn80-7083-285-1.

NOVOTNÝ, Ivan a Michal HRUŠKA. (1995). *Biologie člověka*. 3. rozš. a upr. vyd. Praha: Nakladatelství Fortuna. ISBN 80-7168-819-3.

NOVÝ, Richard. (1995). *Hluk a chvění*. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-01-01306-5.

POLÁŠKOVÁ, Anna. (2011). *Úvod do ekologie a ochrany životního prostředí*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-1927-9.

PŘIBIL, R. (2009). *Přirozené složky atmosféry*. In: BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I., *Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší*, 2009, Karolinum, Praha, str. 50-66.

ROKYTA, Richard. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. Praha: Grada Publishing. ISBN isbn978-80-247-4867-2.

SAJDL, Jan. (2012). *Emisní norma Euro, Autolexicon*.
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/> Staženo: 3.1. 2019.

SMETANA, Ctirad. (1998). *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika. ISBN isbn80-901936-2-5.

SOUKUP, Josef. (1985). *Exhalace a jiné negativní účinky silniční dopravy na životní prostředí*. Praha: Výzkumný ústav výstavby a architektury.

SZÚ. (2008) *Prašnost na pracovišti*, Státní zdravotní ústav.
<http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>. Staženo dne: 15.3. 2019.

ŠKAPA, Petr. (2000). *Vliv dopravy na životní prostředí*. Ostrava: Vysoká škola báňská –Technická univerzita. ISBN isbn80-7078-805-4.

ŠUTA, Miroslav. (2008). *Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví*. Plzeň: Děti Země. ISBN 80-86678-10-5.

ŠUTA, Miroslav a Vladimír BENCKO. (1998). *Zdravotní rizika znečištění ovzduší nejvýznamnějšími automobilovými emisemi, Praktický lékař*. roč. 78 č. 6, ISSN 0032-6739.

ŠUTA, Miroslav a Vladimír BENCKO. (1998). *Zdravotní rizika znečištění ovzduší nejvýznamnějšími automobilovými emisemi, Praktický lékař*. roč. 78 č. 10, ISSN 0032-6739.

TICHÁ, Lucie. (2007). *Vnější obchodní vztahy ČR*. České Budějovice: Jihočeská univerzita. ISBN 978-80-7394-015-7.

ZÁKON č. 13/1997 sb. o pozemních komunikacích. Staženo dne 14.1.2019.

ZÁKON č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví. Staženo dne 7. 12. 2018.

ZÁKON č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Staženo dne 7.1.2019.

ZDRAŽIL, Oldřich a kol. (1984). *Dopravní hluk ve městech*. Praha, Dům techniky ČSVTS Praha.

ZELENÝ, Lubomír. (2000). *Doprava: dopravní infrastruktura*. V Praze: Vysoká škola ekonomická. ISBN 80-245-0110-4.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Pole roční průměrné koncentrace PM ₁₀ , 2017	19
Obrázek 2 - Pole roční průměrné koncentrace NO _x , 2017	22
Obrázek 3 - Emisní hustoty oxidu uhelnatého ze čtverců 5x5 km v roce 2016 ..	24
Obrázek 4 - Stavba ucha	32
Obrázek 5 – Graf naměřené koncentrace poletavého prachu, Čechova ulice, Benešov.....	47
Obrázek 6 – Graf naměřené hladiny hluku, Čechova ulice, Benešov	48
Obrázek 7 - Identifikace měření, Čechova ulice, Benešov	48
Obrázek 8 - Fotodokumentace, Čechova ulice, Benešov	49
Obrázek 9 – Graf naměřené koncentrace poletavého prachu, Nová pražská ulice, Benešov.....	50
Obrázek 10 – Graf naměřené hladiny hluku, Nová pražská ulice, Benešov	51
Obrázek 11 - Identifikace měření, Nová pražská ulice, Benešov.....	51
Obrázek 12 - Fotodokumentace, Nová Pražská ulice, Benešov	52
Obrázek 13 – Graf naměřené koncentrace poletavého prachu, E 55, Benešov..	53
Obrázek 14 – Graf naměřené hladiny hluku, E 55, Benešov	54
Obrázek 15 - Identifikace měření, silnice E 55, Benešov	54
Obrázek 16 - Fotodokumentace, silnice E 55, Benešov.....	55
Obrázek 17 – Graf naměřené koncentrace poletavého prachu, východní obchvat Benešova.....	56
Obrázek 18 – Graf naměřené hladiny hluku, východní obchvat Benešova.....	57
Obrázek 19 - Identifikace měření, východní obchvat Benešova	57
Obrázek 20 - Fotodokumentace, východní obchvat Benešova.....	58
Obrázek 21 – Graf naměřené koncentrace poletavého prachu, Vlašimská ulice, Benešov.....	59
Obrázek 22 – Graf naměřené hladiny hluku, Vlašimská ulice, Benešov	60
Obrázek 23 - Identifikace měření, Vlašimská ulice, Benešov	60
Obrázek 24 - Fotodokumentace, Vlašimská ulice, Benešov	61
Obrázek 25 - Strategická hluková mapa města Benešov.....	62
Obrázek 26 – Graf znázorňující porovnání průměrných koncentrací poletavého prachu vybraných lokalit	65

Obrázek 27 – Graf znázorňující porovnání průměrných hladin hluku vybraných lokalit.....	66
Obrázek 28 – Graf vlivu závislosti koncentrace poletavého prachu na intenzitě provozu.....	67
Obrázek 29 – Graf vlivu závislosti hladiny hluku na intenzitě provozu.....	67
Obrázek 30 - Přístroj pro měření prachových částic DustTRak 8530.....	81
Obrázek 31 - Přístroj pro měření hluku Voltcraft sl-100.....	82

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO	25
Tabulka 2 - Imisní limity pro ochranu zdraví a maximální počet jejich překročení	27
Tabulka 3 - Limity hluku pro pozemní komunikace a dráhy	31
Tabulka 4 - Akustický výkon a jeho hladina	34
Tabulka 5 - Meteorologické podmínky v době měření, Čechova ulice, Benešov	46
Tabulka 6 - Počet projíždějících vozidel v době měření, Čechova ulice, Benešov	46
Tabulka 7 - Meteorologické podmínky v době měření, Nová pražská ulice, Benešov	49
Tabulka 8 - Počet projíždějících vozidel v době měření, Nová pražská ulice, Benešov	50
Tabulka 9 - Meteorologické podmínky v době měření, E 55, Benešov	52
Tabulka 10 - Počet projíždějících vozidel v době měření, E 55, Benešov	53
Tabulka 11 - Meteorologické podmínky v době měření, východní obchvat Benešova	55
Tabulka 12 - Počet projíždějících vozidel v době měření, Východní obchvat Benešova	56
Tabulka 13 - Meteorologické podmínky v době měření, Vlašimská ulice, Benešov	58
Tabulka 14 - Počet projíždějících vozidel v době měření, Vlašimská ulice, Benešov	59

11 Seznam zkratek

atp. = a tak podobně

km.h⁻¹ = kilometry za hodinu

Kg = kilogram

č. = číslo

ČR = Česká republika

odst. = odstavec

DPF = diesel particulate filter (filtr pevných částic)

NO_x = oxidy dusíku

SCR = selective catalytic reduction (selektivní katalytická redukce)

CO₂ = oxid uhličitý

NO = oxid dusný

NO₂ = oxid dusičitý

CNS = centrální nervová soustava

HC = uhlovodík

PM = prachové částice

μg.m⁻³ = mikrogram na metr krychlový

SO₂ = oxid siřičitý

max. = maximálně/maximální

min = minimálně/minimální

PM_{2,5} = prachové částice s průměrem 2.5 mikrometru

PM₁₀ = prachové částice s průměrem 10 mikrometrů

Pb = olovo

A = akustický tlak

Pa = pascal

$L_{Aeg,T}$: ekvivalentní hladina akustického tlaku A

\vec{u} = akustická rychlost

$m \cdot s^{-1}$ = metr za sekundu

ρ = hustota prostředí

c = rychlost zvuku v prostředí

\vec{I} = intenzita zvuku

W = akustický výkon

$W \cdot m^{-2}$ = watt na metr čtvereční

W = watt

S = plocha

tř. = třída

tzv. = tak zvaně

dB = decibel

cca = cirka

$m^3 \cdot h^{-1}$ = metr krychlový za hodinu

v_0 = rychlost pohybu

cm = centimetr

$^{\circ}C$ = stupeň celsia

m = metr

$mg \cdot m^{-3}$ = miligram na metr krychlový

SHM = strategická hluková mapa

AP = akční plán.

Přílohy



Obrázek 30 - Přístroj pro měření prachových částic DustTRak 8530

(Zdroj: Vít Bartůšek)



Obrázek 31 - Přístroj pro měření hluku Voltcraft sl-100

(Zdroj: Vít Bartůšek)