

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika
Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky
Vedoucí katedry: doc. RNDr. Ing. Petr Bartoš, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Stanovení základních emisí z výfuků osobních vozidel
ve vybraných úsecích dopravní trasy

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ivo Celjak, CSc.
Autor diplomové práce: Bc. Jan Kahuda, DiS.

České Budějovice, 2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan KAHUDA, DiS.**
Osobní číslo: **Z17097**
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Zemědělská a dopravní technika**
Název tématu: **Stanovení základních emisí z výfuků osobních vozidel ve vybraných úsecích dopravní trasy**
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 stanovení základních emisních hodnot z výfuků osobních vozidel ve vybraných úsecích reálné dopravní trasy ve městě na základě stanovené intenzity a plynulosti provozu, charakteru dopravní trasy a druhu vozidel.

Metodický postup:

1. Rešerše z oblasti měření a stanovení výfukových emisí z provozu motorových vozidel.
2. Provedení výběru úseků dopravní trasy a popis jejího charakteru.
3. Vypracování metodiky sběru dat pro určení intenzity a plynulosti provozu.
4. Vypracování metodiky pro stanovení druhu vozidel.
5. Výpočet emisí z dopravy pomocí programu MEFA 13.
6. Rozbor vypočtených hodnot emisí z dopravy ve vybraném úseku dopravní trasy.

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

Rozsah pracovní zprávy: **60 - 80 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Adamec, V. a kol.: Doprava, zdraví a životní prostředí. GRADA, Praha 2008, 160 s.; Celjak, I.: Ovlivnění řidičů emisemi prachových částic ze spalovacích a nespalovacích procesů. Komunální technika, 2/2015, roč. IX, s. 50-43, 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.; 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.; Index kvality ovzduší on-line, <http://portal.chmi.cz/#!>; Metodika výpočtu emise CO₂ motorových vozidel podle U. S. Environmental Protection Agency; Šuta, M., Bencko, V.: Zdravotní rizika znečištění ovzduší nejvýznamnějšími automobilovými emisemi. Praktický lékař, 1998, roč. 78, č. 6 a 10, ISSN 0032-6739; Výsledky Celostátního sčítání dopravy z roku 2016 v ČR: <http://scitani2016.rsd.cz/pages/map/default.aspx>; 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; Příloha "Český automobilový průmysl" k memorandu o budoucnosti automobilového průmyslu v České republice, MPO ČR; Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva.

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

Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. dubna 2019**



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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Budejovická 1889, 370 05 České Budějovice



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

V Českých Budějovicích dne 26. února 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citovaných zdrojů. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou 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 plagiátu.

V Českých Budějovicích dne

Podpis

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Ivo Celjakovi, CSc. za odborné vedení mé diplomové práce, za jeho vstřícnost, trpělivost, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během zpracování daného tématu. Dále děkuji mé rodině, přátelům a všem, kteří mě při tvorbě diplomové práce podpořili.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou znečišťování životního prostředí produkcí škodlivých látek ze spalovacích motorů automobilů a výpočtem produkce základních škodlivých látek emitovaných z výfuků osobních vozidel pohybujících se po vybraných úsecích dopravní trasy. Škodliviny vypouštěné z výfuků motorových vozidel velkou měrou znečišťují nejen nejbližší okolní ovzduší, ale celé životní prostředí, přispívají k negativním změnám klimatu a ohrožují lidské zdraví, životy zvířat, rostlin a dalších organismů.

Cílem práce bylo vypočítat množství produkovaných základních škodlivých látek dle skladby vozového parku na zvolených sledovaných úsecích dopravní trasy.

K analýze byly vybrány tři úseky pozemních komunikací ve městě České Budějovice. Provedením analýzy sestavy vozového parku, zjištěním intenzity dopravy, průměrné rychlosti vozidel a plynulosti dopravy na dané dopravní trase byly získány hodnoty pro výpočet produkce emisí speciálním výpočtovým programem MEFA 13, vytvořeným firmou ATEM – Ateliér ekologických modelů, s.r.o.

Klíčová slova: znečištění ovzduší; životní prostředí; vozidla; výfukové plyny; škodlivé látky; emise; emisní limity EURO; program MEFA 13

Abstract

This diploma thesis deals with the issue of environmental pollution caused by the production of harmful substances originated from the automobile combustion engines and the calculation of production of basic pollutants emitted from the passenger car exhausts travelling on selected sections of transport routes. Harmful substances emitted from engine vehicles pollute not only the surrounding air, but also the whole environment. Moreover, they contribute to accelerate the climate changes and threaten the human health, wildlife, plants and other organisms.

The aim of the work was to calculate the amount of emitted harmful substances, according to the composition of the vehicle fleet on some selected monitored sections of transport routes.

For analysis were selected three stretches of roads in České Budějovice. The analysis considered the vehicle fleet composition, determination of traffic intensity, average speed of vehicles and traffic fluency on the transport routes. The calculated values were obtained using the special software MEFA 13, created by ATEM – Atelier of Ecological Models, s.r.o.

Key words: air pollution; environment; vehicles; exhaust gases; harmful substances; emission; EURO emission limits; MEFA 13

Obsah:

1. Úvod.....	11
2. Literární přehled.....	12
2.1 Znečištění ovzduší.....	12
2.2 Duhy znečištěného ovzduší – lokalizace.....	13
2.3 Emise, imise.....	14
2.4 Látky znečišťující ovzduší – polutanty.....	14
2.4.1 Dusíkaté sloučeniny.....	16
2.4.2 Sírné sloučeniny.....	16
2.4.3 Uhlíkaté sloučeniny.....	19
2.4.4 Troposférický ozon O ₃	20
2.4.5 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU).....	21
2.4.6 Těkavé organické látky (VOC).....	23
2.4.7 Tuhé částice v ovzduší – aerosoly.....	24
2.4.8 Poléťavý prach.....	24
2.4.9 Prachové částice vznikající spalováním – saze.....	25
2.4.10 Vliv poléťavého prachu na lidský organismus.....	26
2.5 Smogová situace.....	28
2.5.1 Přírozené proudění vzduchu.....	28
2.5.2 Smog.....	29
2.5.3 Teplotní inverze.....	29
2.6 Emise z provozu motorových vozidel.....	35
2.6.1 Emise vznikající spalováním automobilových paliv.....	35
2.7 Emisní normy EURO.....	38
2.8 Měření emisí.....	42
2.8.1 Homologační testy.....	42
2.8.2 Kontorlní testy.....	42

2.9	Přístroje na měření emisí	46
2.9.1	Měření tuhých emisí – kouřivost vznětových motorů.....	46
2.9.2	Měření plyných emisí.....	49
2.10	Zařízení pro úpravu a redukci emisí ve výfukových plynech.....	51
2.10.1	Úprava spalin u zážehových motorů	52
2.10.2	Úprava spalin u vznětových motorů.....	56
3.	Metodika.....	61
3.1	Cíl výzkumu.....	61
3.2	Použitá zařízení a programy	61
3.2.1	Program MEFA 13	61
3.2.2	Fotoaparát SONY DSC-HX 100 V + stativ	64
3.3	Získání dat pro výpočet	64
3.3.1	Sběr dat pro určení plynulosti a intenzity provozu	64
3.3.2	Stanovení druhu vozidel.....	65
3.4	Výběr úseků dopravní trasy	66
3.4.1	Pozemní komunikace – místní komunikace.....	66
3.4.2	Vybrané dopravní trasy a úseky	67
3.4.3	Popis vybraných dopravních tras a zvolených úseků.....	68
3.5	Analýza videozáznamů – určení skladby vozového parku.....	75
3.5.1	Vozový park – Úsek 1 (Pekárenská ulice)	75
3.5.2	Vozový park – Úsek 2 (Ledenická ulice).....	76
3.5.3	Vozový park – Úsek 3 (Rudolfovská třída)	76
3.6	Výpočet produkce emisních látek z výfuků jednotlivých automobilů	77
3.7	Vypočtené hodnoty – Úsek 1 (Pekárenská ulice).....	81
3.7.1	Výsledky – Vyprodukované emise v úseku 1 (Pekárenská ulice)	82
3.8	Vypočtené hodnoty – Úsek 2 (Ledenická ulice).....	84
3.8.1	Výsledky – Vyprodukované emise v úseku 2 (Ledenická ulice).....	85

3.9 Vypočtené hodnoty – Úsek 3 (Rudolfovská třída)	87
3.9.1 Výsledky – Vyprodukované emise v úseku 3 (Rudolfovská třída).....	88
4. Diskuse	90
5. Závěr.....	94
6. Seznam použitých informačních zdrojů	96
7. Seznam obrázků a tabulek	104
8. Přílohy	107

1. Úvod

Automobilová doprava má stále vzrůstající tendenci a s ní vzrůstá i produkce škodlivých látek ze spalovacích procesů motorů. Produkce těchto látek jednoznačně přispívá k jednomu z hlavních problémů životního prostředí – znečištěnému ovzduší, které tak negativně ovlivňuje a ohrožuje lidské zdraví i životy jiných živočichů a rostlin.

Tisíce automobilů, které denně projíždějí městskými aglomeracemi a po dálničních a rychlostních komunikacích, vypouští z výfuků svých spalovacích motorů množství chemických látek různého charakteru, které jsou z velké části vysoce toxické, to znamená nebezpečné životu. Následkem expozice těmto látkám přibývá množství alergických onemocnění, onemocnění kardiovaskulárními chorobami (především nemoci cév) a respiračními chorobami (nemoci plic) a onkologických onemocnění.

Světové organizace a vlády vyvinuly a stále vyvíjejí snahy o omezení, nejlépe však o úplné eliminování množství vypouštěných škodlivých látek do ovzduší zaváděním různých zákonných opatření a nařízení. V několika posledních desetiletích tak vznikly emisní limity a zákony o ochraně ovzduší. Především pro automobily byly zavedeny limity, které se více a více zpříšňovaly s postupem stále přesnějších zjištění lékařů a dalších odborníků o velikosti rozsahu negativního vlivu škodlivin na zdraví lidí a na stav životního prostředí. V návaznosti na dodržování těchto limitů byla vyvinuta a do automobilové praxe uvedena řada technických opatření, zařízení a systémů, jejichž účelem je snížení množství škodlivin ve výfukových plynech automobilů. Cílem je ochrana ovzduší před emitací – vnášením škodlivých znečišťujících látek do ovzduší, a tím i zlepšení kvality životního prostředí pro život lidí, zvířat a rostlin.

2. Literární přehled

2.1 Znečištění ovzduší

Znečištění ovzduší je vnímáno jako hrozba pro zemské ekosystémy. Má přímý vliv na negativní zhoršování přirozené ochranné funkce atmosféry (před oteplováním planety) a především je nebezpečné pro lidské zdraví. Znečištění je chemicko-fyzikálně-biologický činitel, jenž způsobuje změny v přirozených vlastnostech atmosféry planety Země.

Atmosféra je přírodní plynný systém a je nezbytná pro existenci života na Zemi. Z důvodu znečištění dochází ke zmenšování stratosférických vrstev atmosféry, především pak k úbytku stratosférického ozonu. Tvorba takzvaných ozonových děr je dlouhodobě vnímána jako velmi nebezpečná. (1, 33)

Rozlišujeme dva druhy původu znečištění. Antropogenní, což znamená způsobené lidskou činností (například spalováním fosilních paliv a jiných látek, výrobou chemických sloučenin a jejich používáním), a neantropogenní – přirozené, způsobené přírodními jevy (například výbuchy vulkánů, lesními požáry, při bouřích a podobně). Největšími zdroji nečistot v ovzduší jsou:

- stacionární zdroje: teplárny, tepelné elektrárny, domácí topeniště,
- mobilní zdroje: automobilová, železniční, letecká nebo lodní doprava. (1)

Zvláště v důsledku rizik pro lidské zdraví je jedním z nejvážněji vnímaných negativních dopadů automobilové dopravy znečištění ovzduší emisemi škodlivých látek. Především v městských zástavbách, kde je intenzita dopravy velmi vysoká, je tento problém nejzřetelněji pozorován. Největší podíl znečištění ovzduší přináší trend nákladní, ale především individuální automobilové dopravy, který stále roste.

Škodliviny, emise ze spalovacích procesů motorů – tedy výfukové plyny, jsou komplexní směsí sestávající ze stovek chemických látek o různých koncentracích. Tyto látky mají toxické, karcinogenní a mutagenní vlastnosti a také přispívají k takzvanému skleníkovému efektu, čímž dochází k dlouhodobému oteplování atmosféry naší planety. (1)

Znečištěné ovzduší je prokázanou příčinou řady nemocí a úmrtí na celém světě. Například nemoci dýchacích cest (bronchitida, astma), rakovinná onemocnění respiračních orgánů, kardiovaskulární choroby, kožní záněty, ohrožení vývoje plodu,

alergie a další. Jen v Evropské unii se odhadují roční zaviněná úmrtí u více jak 400 tisíc obyvatel. (33, 1)

Hlavní příčinou tvorby škodlivých emisí a jejich rozptýl do volného ovzduší je spalování pohonných hmot fosilního původu, tedy ropných paliv v zážehových a vznětových motorech, především u silničních motorových vozidel. (1)

2.2 Druhy znečištěného ovzduší – lokalizace

Čistý vzduch obsahuje mnoho látek. Především pak látky tvořící markantní většinu obsahu vzduchu, tzv. makrokomponenty. Těmi jsou ze 78,09 % dusík (N_2), 20,94 % kyslík (O_2), 0,93 % argon (Ar). Celkem tvoří makrokomponenty 99,96 % objemu. Zbývající objem zaplňují mikrokomponenty: 0,0315 % oxid uhličitý (CO_2), $< 0,0001\%$ oxid uhelnatý (CO), 0,0018 % neon (Ne), 0,00052 % helium (He), $> 0,0001\%$ methan (CH_4), $< 0,0001\%$ oxid dusičitý (NO_2) a $< 0,0001\%$ sulfan – sirovodík (H_2S).

V České republice se běžně složení ovzduší vyjadřuje hmotnostní koncentrací ρ dané škodliviny v miligramech (mg) nebo mikrogramech (μg) na $1\ m^3$ vzduchu ($mg \cdot m^{-3}$; $\mu g \cdot m^{-3}$) za normálních podmínek – tedy při teplotě $0\ ^\circ C$, tlaku 101,325 kPa.

Oblast znečištěného ovzduší se dá vymezit zařazením do tří kategorií. První kategorie: lokální znečištění, druhá kategorie: regionální znečištění a třetí kategorie: globální znečištění. (22)

Lokální znečištění – jedná se o určitou oblast, lokalitu, která je znečištěna na rozloze 10 – 100 km^2 . Často je to znečištění v rámci rozlohy městských aglomerací nebo také chráněných oblastí. Je zde zpravidla sledován výskyt a koncentrace těchto látek: oxidu siřičitého (SO_2), oxidu dusnatého (NO), oxidu dusičitého (NO_2), oxidu uhelnatého (CO) a prašného aerosolu. U vybraných lokalit se ještě sleduje obsah přízemního (troposférického) ozónu (O_3) a uhlovodíků. K trvalému monitorování těchto imisí používá Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) síť automatizovaných imisních stanic. Výsledky analýz se okamžitě porovnávají se stanovenými imisními limity.

Regionální znečištění – tedy znečištění určitých územních celků, regionů, o rozloze 100 – 1000 km^2 . Příkladem může být moravskoslezský kraj, kde znečištění ovzduší způsobuje silná smogová situace, která již dlouhou dobu tuto oblast trápí. Stav ovzduší vlivem regionálního znečištění se sleduje stranou dosahu velkých zdrojů

znečištění (továrny, tepelné elektrárny apod.). Sleduje se dopad znečištění na životní prostředí z dlouhodobého hlediska. Imisní stanice pro tato měření se v České republice nacházejí ve Svatouchu a Košetících a jsou rovněž ve správě ČHMÚ.

Globální znečištění – jde o znečištění látkami, které do ovzduší dostaly vlivem lidské činnosti na celém světě a jsou v ovzduší dlouhodobě stálé. Mezi tyto sledované látky patří oxid uhličitý (CO_2) – takzvaný skleníkový plyn, prachový aerosol a halogen-methany. Ovšem některé škodliviny jsou v ovzduší přirozenou složkou. (22)

2.3 Emise, imise

Emise a imise jsou chápány jako do ovzduší uvolněné znečišťující látky – polutanty, vzniklé převážně spalováním fosilních paliv. V případě vozidlových spalovacích motorů se jedná především o spalování motorové nafty, automobilového benzínu či ropného nebo zemního plynu, ale rovněž se jedná o spalování uhlí v tepelných elektrárnách, které dodávají elektrickou energii trolejovým vozidlům hromadné dopravy – trolejbusy a železniční vozy. (20)

Koncentraci polutantů ve vzduchu vyjadřují hodnoty emisí a imisí. Zatímco emise škodlivin se měří přímo u zdroje znečištění (např. u spalovacího motoru se měří na výfuku, u tepláren na komínu atp.), imise jsou důsledkem působení emisí, jež se dostaly dále do životního prostředí, jsou rozptýlené a pozměněné reakcemi v ovzduší. Měří se v okolí zdrojů a na exponovaných místech u příjemců škodlivin, například na veřejných prostranstvích. (57)

2.4 Látky znečišťující ovzduší – polutanty

Polutanty jsou chápány jako chemické a jiné látky, které znečišťují ovzduší a v závislosti na určitém prostředí negativně ovlivňují životní prostředí a tudíž i lidské zdraví. Tyto látky mohou být do tohoto prostředí vnesené při takzvaném primárním znečištění, nebo zde při takzvaném sekundárním znečištění vznikají vzájemnou interakcí – chemickými reakcemi. (21)

Některé z plyných látek byly vědci jako polutanty označeny teprve nedávno. Například oxid uhličitý (CO_2). Ten je velmi diskutovaný na globální politické úrovni, neboť značně ovlivňuje změny klimatu na celé Zemi. Ne všichni se ale na takovém označení shodují, neboť oxid uhličitý je zároveň nezbytný pro život (především u rostlin). (33)

Nejvýznamnější škodliviny v ovzduší:

- I. Sírné sloučeniny → oxidy síry a sulfan:
 - oxid siřičitý SO_2 ,
 - méně již oxid sírový SO_3 ,
 - sulfan (sirovodík) H_2S .
- II. Uhlíkaté sloučeniny → oxidy uhlíku:
 - oxid uhličitý CO_2 – významný skleníkový plyn,
 - oxid uhelnatý CO .
- III. Dusíkaté sloučeniny → zejména oxidy dusíku – NO_x :
 - oxid dusnatý NO ,
 - oxid dusičitý NO_2 ,
 - méně již oxid dusný N_2O ,
ale i čistý dusík N_2 .

Spalovací motory se podílejí na vzniku až 55 % antropogenních emisí dusíku.
- IV. Troposférický (přízemní) ozón: O_3 .
- V. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) a těkavé organické látky (VOC).
- VI. Olovnaté sloučeniny (→ po zavedení směrnic zakazujících používání olovnatých paliv se tyto škodliviny přestaly v ovzduší téměř vyskytovat).
- VII. Prachové částice → minerální částice, popílek, saze, pyly, mikroorganismy:
 - PM_{10} – polétavý prach,
 - $\text{PM}_{2,5}$ a $\text{PM}_{1,0}$ – ultra jemné částice.

(20)

V několika následujících podkapitolách jsou uvedeny některé z druhů škodlivých látek, které znečišťují ovzduší. Mají velice nepříznivý vliv na životní prostředí a především na lidskou populaci, i přestože se tyto látky vyskytují v nepatrných koncentracích, oproti základním atmosférickým složkám dusíku a kyslíku.

2.4.1 Dusíkaté sloučeniny v ovzduší

Dusíkatými sloučeninami ve znečištěném ovzduší jsou především oxidy dusíku (NO_x) tzv. noxy, z nichž se nejčastěji vyskytuje oxid dusný (N_2O), oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO_2), nestabilní oxid dusitý (N_2O_3), či oxid dusičný (N_2O_5). Eventuelně se může vyskytovat i oxid dusičitý v dimerní formě (N_2O_4) ($\rightarrow 2\text{NO}_2$) v kondenzovaných fázích. Dalšími sloučeninami vyskytujícími se v ovzduší jsou kyselina dusičná (HNO_3) a kyselina dusitá (HNO_2), dusičné soli a amoniak (NH_3). Ve vlhkém ovzduší se kyseliny dusičná a dusitá vyskytují jako mlhoviny, jejich vdechováním se naleptává sliznice dýchacích orgánů. Souhrnně jsou zařaditelné společně s oxidy dusíku mezi tzv. nitrózní plyny. (38)

Oxid dusičitý NO_2

Označení NO_x jakožto škodlivé sloučeniny náleží především plynům oxidu dusnatému (NO) a dusičitému (NO_2). Tyto plyny jsou toxické, přičemž podstatně škodlivější pro lidské zdraví je oxid dusičitý. Oba jmenované oxidy dráždí oči a horní cesty dýchací. Při otravě oxidem dusičitým trpí postižená osoba záchvaty úporného kašle, dochází k edému plic nebo jinému poškození plicní tkáně s velmi dlouhou dobou latence až 72 hodin. Dále se předpokládá, že oxidy dusíku navazují na krevní barvivo (tvoří nitrosylhemoglobin a methemoglobin) podobně jako oxid uhličitý, a způsobují tak zhoršení přenosu kyslíku krví z plic do tkání. Existuje rovněž domněnka, že oxidy dusíku jsou karcinogenní a mají určitou roli při vzniku nádorových onemocnění. (59)

2.4.2 Sirné sloučeniny v ovzduší

Síra je biogenní prvek, jehož škodlivost, toxicita, je závislá na konkrétních sloučeninách. Některé jsou velmi jedovaté, zatímco jiné jsou prakticky netoxické. Hlavními sirnými sloučeninami v ovzduší jsou oxid siřičitý, oxid sírový, thioly – neboli sirné alkoholy, sulfan – neboli sirovodík a další organické sirné látky. (22)

Oxid siřičitý SO_2

Oxid siřičitý je bezbarvý plyn. Je hlavní složkou znečištění ovzduší. Přírozenou cestou se do ovzduší dostává jako produkt vulkanické činnosti a přirozených lesních požárů, vzniká při oxidaci sulfanu – sirovodíku (ten se uvolňuje při rozkladu biomasy). Ale největší podíl na jeho vzniku mají spalovací procesy při antropogenních (lidmi způsobených) činnostech. Při spalování tuhých paliv přejde až 95% obsažené síry

na oxid siřičitý, při spalování kapalných paliv pak dochází k přeměně na oxid siřičitý skoro 100% obsažené síry. Obvykle dále částečně zoxiduje ve spalinách v oxid sírový (SO₃). Bohužel ani tak čistě a přirozeně vypadající palivo jako je dřevní hmota, není úplně bez obsahu síry. (22, 51)

Oxid siřičitý je jedovatý a má dráždivý štiplavý zápach. Jeho toxicita vyvolává podráždění a pálení očí, negativně ovlivňuje funkci plic a snižuje schopnost červených krvinek vázat kyslík. Pro člověka je toxický při koncentraci od 1 mg·m⁻³. Dráždivý je ale již při koncentracích okolo 0,1 mg·m⁻³. Dráždí ke kašli a podporuje záněty průdušek a astma. Při vyšších koncentracích způsobuje poškození očí a poleptání sliznic. Při ještě silnějších expozicích způsobuje hlasivkové křeče, dále otok plic až zástavu dýchání a smrt.

Již při nízkých koncentracích má nepříznivý vliv na rostliny. Reaguje totiž s chlorofylem, fotosyntetickým zeleným barvivem, a tak poškozuje fotosyntetický mechanismus rostlin, které pak už jen živoří a pomalu odumírají. Oxid siřičitý reaguje s dalšími látkami v ovzduší. Je například rozpustný ve vodě a při reakcích s oxidy dusíku tak způsobuje vznik tzv. kyselých dešťů. Při reakcích oxidu siřičitého s vodou vzniká kyselina siřičitá (H₂SO₃), ze které další oxidací vznikne kyselina sírová (H₂SO₄). Kyselé deště zvyšují při vsakování do půdy její kyselost, ničí půdní mikrobiologický život a zvyšují kyselost podzemní vody. Tím dochází i k vyplavování těžkých kovů a ty se dostávají do povrchových vod a do zdrojů pitné vody, nehledě na další destruktivní účinky kyselých dešťů (zvětrávání omítek budov, zvětrávání kamenných soch, koroze kovových konstrukcí atp.). (60)

Stejně jako vzdušný oxid siřičitý ničí rostliny, tak ani kyselé deště jim neprospívají. Kupříkladu v 80. letech dvacátého století docházelo vlivem vysokých koncentrací siřičitanů z průmyslových oblastí v Krušných horách ke kalamitnému stavu odumírání krušnohorských smrkových lesů.

Imisní limit pro oxid siřičitý je stanoven podle zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší a vyhlášky 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích. Pro ochranu zdraví stanoví maximální koncentraci oxidu siřičitého v jednom krychlovém metru vzduchu na 125 μg·m⁻³ a dovoluje překročení této hodnoty v denním průměrování maximálně třikrát do roka. (66)

Bohužel jsou v naší zemi často překračovány imisní limity v důsledku celkově špatných povětrnostních podmínek, a to především v zimním období, kdy dochází k teplotní inverzi a tvorbě smogu. Například v roce 1995 byla odhadovaná roční produkce oxidu siřičitého na jednoho člověka v České republice přibližně 110 kg. To je velmi vysoká hodnota. (22)

Pozitivní vliv má oxid siřičitý, i přes všechny uvedené špatné vlastnosti, na kompenzaci nárůstu teploty v atmosféře vlivem skleníkového efektu. V atmosféře se nacházející drobné vysrážené částičky oxidu siřičitého, tedy jako aerosol, totiž odrážejí pouze krátkovlnné sluneční záření, čímž dochází k ochlazení atmosféry, respektive ke snížení jejího oteplování. (51)

Oxid sírový SO₂

Fotochemickou nebo katalytickou oxidační reakcí vzniká v atmosféře z oxidu siřičitého oxid sírový. Je to takzvaný sekundární polutant. V přímých přirozených nebo antropogenních emisích se vyskytuje velmi málo, oxid sírový tvoří jen přibližně 2 % z celkového obsahu síry v emisích. V atmosféře velmi rychle reaguje se vzdušnou vlhkostí na kyselinu sírovou ve formě aerosolu. Pokud je navíc vázán na pevné prachové částice, vznikají sírany.

Oxid sírový je vysoce dráždivý. Negativní účinky na lidské zdraví jsou obdobné jako u oxidu siřičitého. Ve znečištěných oblastech se objevuje při změnách povětrnostních podmínek, typicky při husté mlze, kdy reaguje v kyselinu sírovou (H₂SO₄). Negativní účinky na zdraví člověka tak mohou být ještě větší než v případě oxidu siřičitého. Mlhovina s kapičkami kyseliny sírové o velikosti menší než 0,001 μm proniká dýchacími cestami až hluboko do plic, kde naleptává průduškovou sliznici. (22)

Sulfan H₂S

Sulfan (sirovodík) je vysoce toxický bezbarvý plyn. Je-li cítit, vyskytuje se v nízké koncentraci a typicky zapáchá po zkažených vejcích. Vyskytuje-li se ve vyšších koncentracích, nebývá již postřehnutelný čichem, neboť v důsledku působení na centrální nervový systém ochromí zakončení čichového nervu a dále znemožňuje dýchací funkce. Sulfan vzniká vulkanickou činností a při rozkladu biologického materiálu při odbourávání cysteinu obsaženého v bílkovinách. Je těžší než vzduch.

Vyskytuje se běžně v kanalizačních stokách a odpadních jamách. Emise průmyslového původu jsou velmi nízké a pocházejí především z výroby sulfátové celulózy nebo koksu a vznikají při rafinaci ropných látek. V ovzduší sulfan poměrně rychle dále oxiduje na oxid siřičitý a postupně oxiduje až v oxid sírový a kyselinu sírovou. (22)

Sulfan se dobře vstřebává při dýchání prostupem plicemi. Jeho toxické účinky způsobují poškození metabolismu buněk a následný nedostatek kyslíku. Stačí několik vdechnutí. Dojde-li při vyšších koncentracích k akutní otravě, má podobné účinky jako kyanidy, nastává okamžité bezvědomí a smrt. Při vystavení nižším koncentracím se otrava projevuje halucinacemi, dojmem opilosti, agresivní náladou a může následovat zvracení. Při otravě nižšími koncentracemi dochází v příznivých případech jen ke svalovým křečím a bezvědomí, ale postižený se rychle zotaví. V horších případech dojde k otoku plic, k obrně, nebo jsou popisovány takové trvalé následky jako bolesti hlavy, poškození zraku, výpadky paměti, poškození ledvin a jater. (47)

2.4.3 Uhlíkaté sloučeniny v ovzduší

Oxid uhličitý CO₂

Oxid uhličitý je běžně obsažen v atmosféře, je spotřebováván k výrobě kyslíku při fotosyntéze v rostlinách a také v oceánech. Je však významným plynem při tvorbě tzv. skleníkového efektu, neboť jeho molekuly absorbují sluneční záření. Obsah oxidu uhličitého v ovzduší zvyšuje především spalování fosilních paliv. Z toxikologického hlediska je pro životní prostředí škodlivý, pokud se v nadměrné koncentraci vyskytuje v ovzduší a lidé jej vdechují. Při 3% koncentraci na něj ještě lidský organismus nereaguje, koncentrace 5 % již vyvolává závratě, dechové potíže a ospalost. Při koncentraci 8 – 10 % způsobuje bezvědomí a smrt. U 20% koncentrace stačí pár vdechnutí a člověk se náhle zhroutí, smrt nastává přibližně do 5 až 10 minut. (38, 22)

Oxid uhelnatý CO

Oxid uhelnatý je bezbarvý jedovatý plyn, který je však nedráždivý, bez chuti a bez zápachu. Obecně je známo, že vzniká při nedokonalém hoření. Především pak při spalování fosilních paliv kapalných a tuhých. Z hlediska toxicity je oxid uhelnatý pro lidský organismus značně nebezpečný. Jeho toxicita spočívá především v silné afinitě ke krevnímu barvivu – hemoglobinu, který umožňuje přenos kyslíku v krvi. Hemoglobin přitom váže oxid uhelnatý až dvoustokrát silněji, nežli kyslík,

a proto jeho vyloučení z krve trvá několik hodin až dní, nehledě na následky otravy. Při navázání oxidu uhelnatého na hemoglobin se tento změní v karboxyhemoglobin. Tak se znemožní přenos kyslíku krví z plic do tkání a člověk se v podstatě dusí. Otrava oxidem uhelnatým nastává již při přeměně 10 % hemoglobinu. U zdravého člověka se může projevovat pocit únavy při nižších koncentracích ve vzduchu, lidé se srdečními obtížemi mohou pociťovat bolest na prsou. K poruchám vidění, bolestem hlavy, závratím, poruchám koordinace a zmatečnému chování dochází při vyšších koncentracích. Rovněž může být pociťována žaludeční nevolnost. Velmi vysoké koncentrace jsou smrtelné. (37)

2.4.4 Troposférický ozon O₃

Přízemní neboli troposférický ozon se vyskytuje v přízemní vrstvě atmosféry. Je opakem životu prospěšného ozonu ve stratosféře a na rozdíl od něj je považován za ovzduší znečišťující látku. Podobně jako oxid sírový je i přízemní ozon takzvaným sekundárním polutantem. Samotný nemá žádný významný zdroj. Vzniká až účinkem fyzikálních dějů nebo chemickými reakcemi z primárních polutantů. Při působení UV záření na molekuly kyslíku je tato reakce užitečná a vzniká vrstva ozonu s maximem výskytu ve výšce kolem 25 km nad Zemí, tedy stratosférický ozon. Vrstva ozonu sluneční UV záření pohlcuje a chrání tak Zemi před přílišným ohřevem. Z celkového zastoupení ozonu v atmosféře připadá 80 – 90 % na stratosférický ozon, zbylých 10 – 20 % tvoří ozon troposférický. (54)

Přízemní ozon však vzniká složitými fotochemickými reakcemi při působení UV záření a oxidů dusíku s těkavými organickými sloučeninami. Děje se tak za bezvětří v suchých horkých letních dnech a to především v ovzduší městských a průmyslových oblastí, kde je zvýšená koncentrace oxidů dusíku, nejčastěji z provozu automobilů. Koncentrace přízemního ozonu narůstají se zvyšující se teplotou a množstvím slunečního záření a naopak klesají se zvyšující se relativní vlhkostí vzduchu. Škodlivé účinky má přízemní ozon snad na vše na Zemi. Jelikož je to silné oxidační činidlo, působí velice zlobně na lidské zdraví, na vegetaci, na celé ekosystémy, na materiály. (10)

Zdravotní účinky přízemního ozonu začínají už pod hodnotami koncentrace 120 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Podle mnoha epidemiologických výzkumů se expozice přízemnímu ozonu jeví jako příčinná souvislost zvýšené úmrtnosti. (10)

Z toxikologického hlediska působí tento plyn především na sliznice plicní tkáně a sliznice a jelikož v těle způsobuje tvorbu volných radikálů, je pro člověka i některé živočichy karcinogenní. Dle Světové zdravotnické organizace (WHO) se zdravotní obtíže začínají projevovat při expozici nad $160 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ průměrné hodinové koncentrace. Projevují se dýchací obtíže doprovázené kašlem, únava, pocity tlaku na hrudi, bolest hlavy a pálení očí a nosu. Vystavení delším koncentracím způsobuje podráždění sliznic a následně zánětlivá onemocnění dýchacích cest a zvyšuje se riziko astmatických záchvatů. V extrémních případech způsobuje otravu a smrt. (52)

2.4.5 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)

Obecně jsou uhlovodíky organické látky, které obsahují pouze uhlík a vodík. Polycyklické aromatické uhlovodíky jsou pak uhlovodíky složené z minimálně dvou aromatických kruhů. (50)

Polycyklické aromatické uhlovodíky, zkráceně polyaromatické uhlovodíky (zkratka PAU, nebo podle anglického *polyaromatic hydrocarbons* PAH) tvoří skupina látek více jak stovky druhů sloučenin. Nejznámějšími zástupci jsou látky naftalen, anthracen, acenaftylen, acenaften, chrysen, fluoren, fenathren, fluoranthen, dibenzo[a,h]anthracen, pyren, benzo[a]pyren, benz[a]anthracen, benzo[b]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen, indeno[1,2,3-c,d]pyren a benzo[ghi]perylene. Uvolňují se při nedokonalém spalování, především pak při spalování fosilních paliv ve vozidlových motorech, ale i při jiných procesech hoření, například při spalování odpadů, při metalurgické výrobě, z výroby koksu a cementu a podobně. Také při kouření tabákových výrobků. (22)

Jak už název napovídá, jsou tvořené uhlíkem s vodíkem ve formě dvou a více benzenových jader. Díky jejich odolnosti vůči přirozeným rozkladným procesům mohou dlouhodobě přetrvávat v životním prostředí. Jsou tzv. perzistentní. Jejich významnou negativní vlastností je schopnost vázat se na tuhých částicích a sorbentech – souhrnně na prachových částicích – a díky tomu se snadno dostávají i na velké vzdálenosti transportem atmosférou (odnos větrem) a vnikají do živých organismů – nejnáze vdechnutím či průnikem póry pokožky. Mají schopnost bio-akumulace. (39)

Významnou negativní vlastností těchto uhlovodíků je jejich schopnost vytvářet další sloučeniny, které pak mohou mít dokonce mnohonásobně škodlivější účinky (toxické, mutagenní a karcinogenní vlastnosti). (21)

Z hlediska dopadů na zdraví člověka jsou dráždivé pro pokožku a oči, zvyšují citlivost pokožky na sluneční záření. Řada polyaromatických uhlovodíků je vnímána jako tzv. lidské karcinogeny a způsobují rakovinu kůže, poškozují tkáně jater a ledvin a jsou hlavní příčinou rakoviny plic. Pokud jsou přijaty s potravou způsobují rakovinu zažívacího traktu. Také způsobují snížení plodnosti, poškození genetických informací buněk DNA a vývojové vady u potomků. (39)

Benzo[a]pyren

Chemický vzorec benzo[a]pyrenu je ($C_{20}H_{12}$). Je to benzenový kruh spojený s pyrenem. Benzo[a]pyren (BaP) je aromatická organická látka, která vzniká při hoření organických materiálů (300 – 600 °C). Při běžných podmínkách jde o nažloutlou krystalickou látku, která je špatně rozpustná ve vodě, ale dobře rozpustná v tucích a olejích. Do prostředí se benzo[a]pyren z přirozených zdrojů uvolňuje při lesních požárech a vulkanické činnosti. Antropogenně vzniká jako vedlejší produkt při řadě průmyslových procesů, nemá však žádné komerční využití. Mezi hlavní antropogenní zdroje benzo[a]pyrenu patří především spalování fosilních paliv. Významným zdrojem jsou průmyslové procesy, například v hutním průmyslu, při zpracování černouhelného dehtu, spalování odpadů, výrobě plynu a koksu. Běžně je obsažen při výrobě energie ve spalínách uhelných elektráren, ve výfukových plynech spalovacích motorů, dále v tabákovém kouři, ale je i na uzených nebo grilovaných potravinách. Je produkován ve spalínách lokálních topenišť při spalování dřeva a uhlí. Lokální topeniště jsou nejvýznamnějším zdrojem benzo[a]pyrenu. (36)

V návaznosti na tuto skutečnost dosahují koncentrace benzo[a]pyrenu maxima v období topné sezóny a minima dosahují v letních měsících. V zimě navíc ke zvýšeným koncentracím přispívají horší rozptylové podmínky. To platí obecně pro všechny znečišťující látky, vyjma přízemního ozonu – jeho koncentrace jsou naopak nejvyšší v jasných horkých letních dnech. Benzo[a]pyren je v atmosféře relativně stabilní. Největší podíl je navázán na jemnou frakci pevných částic $PM_{2.5}$. Vlivem navázání na pevné částice je schopen přenosu na velké vzdálenosti. K jeho rozkladu dochází vlivem reakcí s ozonem (O_3) nebo oxidu dusičitého (NO_2) a vlivem slunečního záření.

Benzo[a]pyren je prokazatelným karcinogenem. Do organismu se dostává vdechnutím, požitím v potravinách (uzeniny), ale prostupuje do organismu

i pokožkou. Účinky na zdraví lidí a zvířat jsou toxické a mutagenní. Způsobuje podráždění až popálení pokožky. Kožní onemocnění postihuje také zvířata. Velkým rizikem je onemocnění onkologickými chorobami a dále ohrožuje zdravý vývoj plodu.

Molekulárně-epidemiologické studie benzo[a]pyrenu prokázaly, že vyšší koncentrace nad jeden nanogram v metru krychlovém ovzduší ($\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$) poškozují genetický materiál – genetickou informaci DNA. Při expozici koncentracím nad $2,8 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ se v průběhu prvního měsíce těhotenství zvyšuje počet výskytu dětí postižených nitroděložní růstovou retardací a nízkou porodní hmotností. Dalším důsledkem je pak v dospělosti zvýšený výskyt diabetie, disfunkce ledvin, kardiovaskulárních nemocí a obezity. (36)

2.4.6 Těkavé organické látky (VOC)

Těkavé organické látky – těkavé organické sloučeniny, zkratkou VOC podle anglického *volatile organic compounds*, jsou podle definice Evropské hospodářské komise OSN všechny organické sloučeniny, které jsou antropogenního původu a jsou jiné než methan, a které fotochemickou reakcí slunečního UV záření s oxidy dusíku (NO_x) vytváří oxidanty. (8)

Mezi nejrozšířenější těkavé organické sloučeniny patří fosilní paliva, ropné produkty, především pak automobilové pohonné hmoty, z nichž se těkavé látky následně uvolňují při nedokonalém spalování a při jejich odpařování z nádrží, rozpouštědla v nátěrových hmotách, barvách, lacích, tmelech, ředidlech, v lepidlech, čističích a odmašťovadlech, v tiskařských hmotách, v kosmetických přípravcích všech druhů (osobních, bytových, automobilových), vyskytují se v mnoha jiných látkách denní potřeby, také v lécích. Nalézt je lze i v oborech jako zemědělství a lesnictví.

Podle ročenky Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) z roku 2017 nejvíce emisí těkavých organických látek vzniklo při lokálním vytápění – kolem 47 %, druhým významným zdrojem s podílem přibližně 34 % byla aplikace organických rozpouštědel nacházejících se ve výše zmíněných přípravcích (barvy, laky, ředidla, kosmetika, farmacie, tiskárenský průmysl atd.). Podíl spalovacích procesů v automobilové dopravě navíc s odpary z palivových systémů vozidel tvořil přibližně 7,5 %. Celkově mají emise těkavých organických látek klesající trend, především díky legislativním regulacím obsahu rozpouštědel a díky obnově vozového parku automobily s nízkou produkcí emisí. (65)

2.4.7 Tuhé částice v ovzduší – aerosoly

Tuhé znečišťující látky – pevné prachové částice jsou tvořeny směsí organických a anorganických látek. Do ovzduší se dostávají působením přírodních vlivů nebo antropogenních činností a vyskytují se ve směsi jako aerosoly.

Prachovými částicemi znečišťujícími ovzduší rozumíme poléťavý prach o velikosti částic do 10 μm . Naopak do této kategorie nezahrnujeme prach, známý nám z domácností, který se usazuje na parapetech, nábytku, podlaze, pokojových rostlinách, a který vidíme pouhým okem. Tento druh prachu tvoří částice o velikosti nad 30 μm a v běžných podmínkách se rychle usazuje. (11, 51)

Částice prachů mají široké spektrum vlastností odvozených od jejich chemického složení, velikostí, tvarů, hustoty a povrchu a dělí se do čtyř kategorií. Rozlišují se na saze, popílek, minerální částice a ostatní částice. (2)

Tuhé částice se v ovzduší mohou vysrážet vzájemným chemickým a fotochemickým působením z mnoha výše popsaných škodlivých látek, takzvaných prekurzorů. Kupříkladu již zmíněné částečky oxidu siřičitého (SO_2), které však napomáhají snižovat oteplování planety.

Prachové částice jsou tedy obvykle tvořeny uhlíkem, sírany, dusičnany, dusičnými solemi, některými kovy, těkavými organickými látkami či dusičnany, případně i těkavými organickými látkami nebo těkavými organickými látkami či polyaromatickými uhlovodíky. (21, 51)

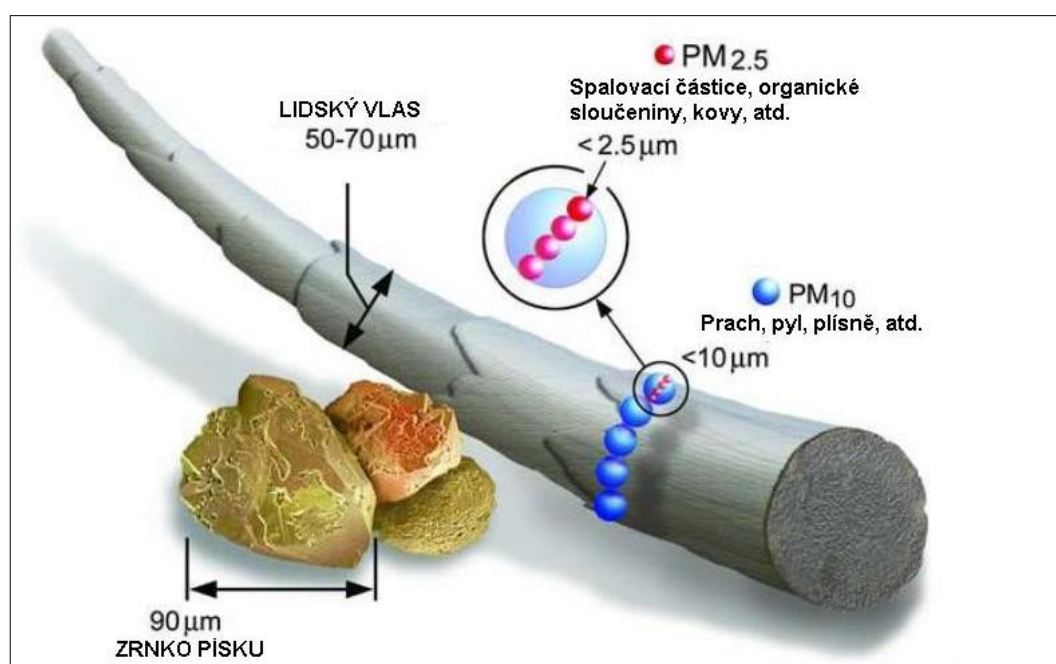
2.4.8 Poléťavý prach

U poléťavého prachu se jedná o malé částice výše uvedených, ale i dalších látek, které se dostaly do ovzduší. Tyto částice jsou tak malé ($\text{PM}_{10} < 10 \mu\text{m}$) a tak lehké, že jejich vznos v ovzduší a poté následná sedimentace na zemském povrchu trvá velmi dlouhou dobu. Čím jsou částice menší, lehčí, tím větší je jejich schopnost setrvat v ovzduší. (21)

Částice o velikosti PM_{10} jsou schopné se v ovzduší vznášet, poletovat několik hodin, naproti tomu částicím velikosti $\text{PM}_{1,0}$ trvá několik týdnů, než dojde k jejich sedimentaci, či spláchnutím deštěm na zemský povrch. Kvůli takovým vlastnostem těchto částic se zavedl pojem poléťavý prach. (11)

Z hlediska kontroly ovzduší se pro označení velikosti prachových částic zavedla zkratka PM, vzniklá z anglických slov particulate matter, což ve volném překladu znamená polétavý prach. Za zkratku PM se pak uvádí doplňující číslice, které vyjadřují v mikrometrech [μm] největší aerodynamický průměr prachových částic. PM₁₀ tak představuje frakci částic s průměrem do 10 μm , PM_{2,5} částice představuje frakci částic s průměrem do 2,5 μm . Pro měření a analýzu prachových částic v ovzduší se využívá měření frakcí PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{1,0}. (21)

Porovnání velikosti prachových částic názorně vysvětluje obrázek 1.



Obrázek 1 - Názorné porovnání velikostí částic s lidským vlasem (70)

2.4.9 Prachové částice vznikající spalováním – saze

Jako saze jsou běžně chápány tuhé emise, které se do ovzduší dostávají jako nespálené zbytky ze spalovacích procesů s nedostatečným přístupem vzduchu. V případě spalování tuhých paliv se při rychlém ochlazení částic hořícího uhlíku tvoří tzv. amorfní uhlík (beztvarý, bez krystalické struktury). U kapalných paliv k tomu dochází nejvíce ve spalovacích motorech, kdy se na amorfní uhlík mění nedokonale zplyněné a nedokonale spálené uhlíkové řetězce paliv. (25)

Ve spalovacích motorech je tvorba sazí způsobena nehomogenním rozprášením a promísením paliva se vzduchem ve válci motoru, směs se nedokonale vrství a následkem toho ne všechny částice paliva shoří, ale přemění se na nespálené tuhé a plynné částice škodlivých látek a vycházejí do výfukového potrubí a z něj do okolního ovzduší. Nedokonalé prohořívání je problém týkající se především motorů poháněných kapalnými palivy, a to zejména motorovou naftou.

Tvorbu sazí ovlivňuje mnoho technických faktorů, konstrukce a technický stav motoru, kvalita paliva, použitá zařízení k redukci škodlivých výfukových plynů a zvláště provozní režim motoru. Studený/zahřátý motor, časté rozjezdy/plynulá jízda, otáčky nízké/vysoké, motor zatížený/nezatížený. (2)

2.4.10 Vliv poléťavého prachu na lidský organismus

S prachem se člověk setkává prakticky stále. V běžném životě i při pracovních činnostech. Prach na něj působí velice rozsáhlými a rozmanitými účinky. Záleží přitom na původu prachu, velikosti částic a jejich vlastnostech, na koncentraci v ovzduší a na podmínkách a délce expozice. Také záleží na individuální citlivosti člověka, jeho fyzické konstituci a zátěži. Pro pracovní prostředí a venkovní prostředí i pro pobytové prostory existují rozsáhlá legislativní nařízení, která upravují a nařizují podmínky kvality ovzduší. (11)

Prach se do lidského těla dostává nejnáze přes respirační orgány, tedy při dýchání. Částice prachu do těla vnikají také kožními póry a zde způsobují četné komplikace. Nejvíce přitom hrají roli velikosti prachových částic, neboť čím jsou částice menší, tím se snáze dostávají do lidského organismu hlouběji. Riziko ohrožení zdraví se tak zvyšuje.

Při dýchání se částice větší jak $10\ \mu\text{m}$, tedy nad PM_{10} , zachycují už v horních částech dýchacího aparátu na nosních chloupkách a dále na nosní sliznici a na sliznicích plic, které vylučují ochranný hlen. Řasinkový epitel, jímž jsou sliznice pokryty, funguje jako takzvaný „mukociliární eskalátor“. Činností tohoto eskalátorového aparátu je peristaltický pohyb epitelových řasinek a průdušek, čímž dochází k odstraňování, eskalaci hlenu s ulpělými škodlivinami a částicemi prachu pryč z dýchacích cest. (61)

Epitellové řasinky vykonávají kmitavý pohyb. V nosní dutině směrem dovnitř, v průduškách směrem ven k nosohltanu. Ulpělé částice s eskalovaným hlenem jsou tak nakonec většinou spolknuty, nebo vypuzeny přirozenými mechanismy obrany těla – kašláním, smrkáním a kýcháním. (51)

Je to výborný a důležitý samočisticí mechanismus těla, který ochraňuje dýchací soustavu. Jeho funkci však může narušit působení kouření, či jiné užívání a vystavování se vlivům toxických, omamných a návykových látek. (61)

Jak už bylo řečeno, prachové částice nad PM_{10} se ještě zachycují na sliznicích. Ale menší částice, tedy pod $10\ \mu m$ už mohou dále procházet dýchacími cestami hlouběji do průdušek plic, kde se usazují. Prachové částice velikosti pod $PM_{2,5}$ se dostávají ještě dále, do průdušinek a plicních sklípků, kde zanášejí a narušují tkáň plic a způsobují tak vážné zdravotní komplikace. Hlouběji, až do krevního oběhu a následně transportem krví a vnikáním do tkání dalších orgánů a až do mozku, pronikají prachové částičky velikosti $PM_{1,0}$, tedy menší $1\ \mu m$. (5)

Viz následující obrázek 2, který schématicky zobrazuje pronikání různých velikostních frakcí prachu do lidského organismu.



Obrázek 2 - Pronikání frakcí PM do lidského organismu (68)

Největším rizikem působení prachových částic na lidský organismus je jejich schopnost vázat na svém povrchu jiné chemické toxické a rakovinotvorné látky

a mikroorganismy. Částice zvířené ve vzduchu a odnášené větrem tak fungují jako nosiče choroboplodných látek. Látky takto „nabalené“ na částicích prachu se spolu s nimi dostávají do lidského těla. Těmito látkami mohou být dusičnany, sírany, těžké kovy, soli, karcinogenní látky, například cyklický aromatický uhlovodík benzoapyren, viry, bakterie, spóry plísní a pyly. To jsou původci mnoha onemocnění. (51)

Prachové částice a na nich vázané škodlivé látky negativně působí na oči a pokožku. Částice do ní vnikají póry, ty zanášejí a vznikají záněty.

Vdechování polévatého prachu může být příčinou mnoha zdravotních obtíží, projevujících se zpočátku jen lehkými dýchacími problémy. Při delší expozici však negativní dopady narůstají. Následkem může být astma, plicní choroby jako například zanešení plic – silikóza (zanešení křemičitým prachem), azbestóza, dále fibróza – neboli vazivovatění plicní tkáně, což je důsledek hojení jemných poranění tkáně prachovými částicemi. Tyto problémy mohou vyústit až v rakovinu plic a mnoho dalších onemocnění nejen respiračního aparátu. (21)

Vedoucí Národní referenční laboratoře (NRL) pro vnitřní a venkovní ovzduší RNDr. Bohumil Kotlík, Ph.D. ve svém příspěvku ke 2. schůzce Fóra kvality vnitřního prostředí a semináři projektu InAirQ Státního zdravotního ústavu, jenž se konaly dne 19. 6. 2017 uvádí, že „Znečištění ovzduší v ČR prachem – částicemi $< 10 \mu\text{m}$ (PM_{10} v roce 2015 = cca $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$) přispělo asi 4 800 předčasnými úmrtími a představuje pro každého z nás ročně ztrátu 5 až 6 dnů.“ (13)

2.5 Smogová situace

2.5.1 Přírozené proudění vzduchu

Proudění vzduchu je velmi důležitou součástí životního prostředí. Proudící vzduch je významným pomocníkem hmyzu při opylování zemědělských plodin, kulturních trav a ovocných dřevin, na nichž je závislá produkce potravin a obživy pro lidstvo. Když vzduch proudí, velmi kladně napomáhá svou transportní funkcí. Přináší teplo a vláhu rostlinám, přináší čistší vzduch a odnáší škodliviny z městských zástaveb, rozptyluje je a deponuje na jiných místech. Škodliviny, především prachové částice, však s větrem nezmizí úplně, ale jsou větrem rozptýleny a je tak snížena jejich nebezpečná koncentrovanost.

Nadměrně rychlé proudění větru je rovněž špatné, neboť destruktivním způsobem ohrožuje přírodu a stavby. Neproudí-li však vzduch vůbec, vytváří to podmínky pro vznik smogu, zejména při inverzích teplotách. (3)

2.5.2 Smog

Slovo smog pochází ze spojení anglických slov *smoke* = kouř a *fog* = mlha. Právě hlavní město Velké Británie Londýn má se smogem velmi bohaté zkušenosti již z počátků průmyslové revoluce. Pod pojmem smog se rozumí chemické znečištění ovzduší způsobené lidskou činností. (22)

Je to specifický stav, který vzniká při nepříznivých meteorologických jevech při vzájemném působení vzdušné vlhkosti spolu s prachovými částicemi a plynnými škodlivinami. Při tomto stavu se do ovzduší dostávají běžně v něm obsažené škodlivé látky, ale jsou ve velmi vysoké koncentraci. Tento stav je obzvláště nebezpečný pro obyvatele v městských a průmyslových aglomeracích, neboť zde bývá produkce škodlivin největší. (11)

Rozlišujeme dva druhy smogu. Redukční smog a oxidační smog. Redukční, neboli zimní smog je označení pro smog vznikající typicky v zimním období při výrazných teplotních inverzích. Jako složenina vzdušné vlhkosti – mlhy a průmyslových exhalátů z automobilů, továren a tepláren je redukční smog složen především ze oxidů síry, oxidů dusíku, prachových částic a dalších látek, které snadno oxidují. Oxidační smog, označovaný též jako letní smog, vzniká v horkých letních dnech, za bezvětrí, kdy se tvoří přízemní ozon. Ten dále reaguje s dalšími škodlivinami v ovzduší a vytváří silně nebezpečné prostředí plné dráždivých toxických sloučenin. (3)

2.5.3 Teplotní inverze

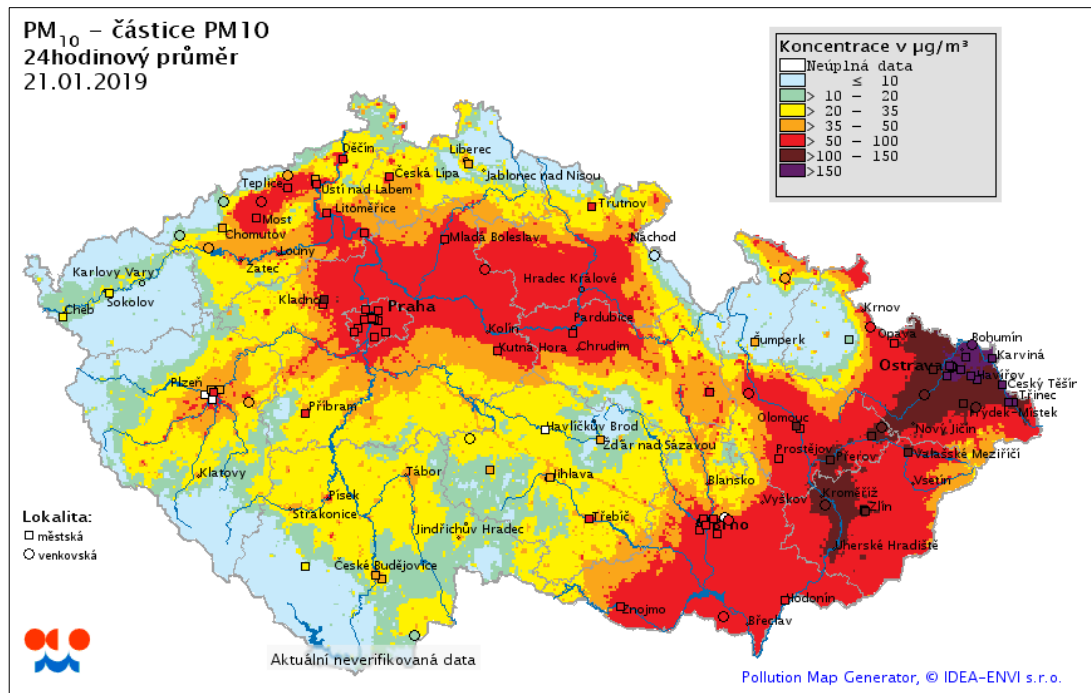
Inverze znamená opak, převrácení skutečnosti. Teplotní inverze je anomální klimatický jev projevující se v chladných obdobích. Za normálního stavu se udává, že teplota vzduchu klesá v závislosti na nadmořské výšce. Udává se pokles teploty, neboli teplotní gradient, o 0,65 °C na každých 100 m nadmořské výšky. Běžně tak je vzduch teplejší v nižších polohách při zemi a s rostoucí nadmořskou výškou jeho teplota klesá. (58, 67)

Nastane-li však teplotní inverze, dojde k převrácení tohoto normálu a při zemi se drží chladný vzduch, zatímco teplý vzduch společně se vzdušnou vlhkostí stoupá do vyšších poloh, kde se obvykle srazí v mlžný opar. Vytvoří se tak inverzní poklička, která uzavře studenou vrstvu vzduchu. V takto uzavřené nehybné vrstvě se pak snadno a výrazně zvyšují koncentrace škodlivých látek. Tento jev se vytváří na různě velkých plochách. Omezeně může postihnout i celou republiku. (3)

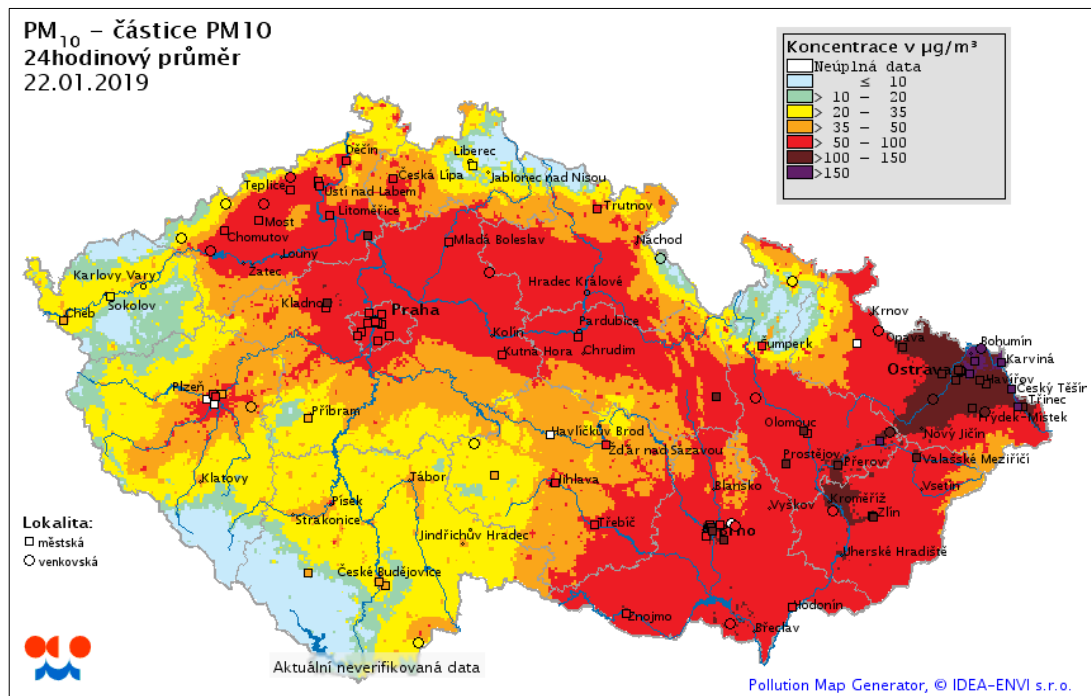
Teplotních inverzí je několik typů a dělí se podle vzniku na advekční, frontální, radiační, subsidenční a turbulentní. Dále se dělí podle výšky inverzní vrstvy na přízemní a výškové. Kupříkladu při advekční inverzi, která se typicky vyskytuje nad sněhovou pokrývkou, se část teplého vzduchu ochlazuje o vrstvu sněhu a klesá do nížin, zatímco zbylý vzduch stoupá vzhůru a vytvoří nad studenou vrstvou uzávěr, tzv. pokličku. Jedná se o přízemní inverzi. A například subsidenční inverze je stav, při kterém klesá studený vzduch z vyšších vrstev z kopců do údolí, kde je uzavřen zmíněnou vrstvou vlhkého teplejšího vzduchu. Je to výšková inverze a může jich být více nad sebou. (67, 3)

Jev tvorby smogu při subsidenční inverzi je dobře pozorovatelný u geologických pánevních lokalit, obklopených ohradou kopců hor. Příkladem budiž Českobudějovická pánev, Ostravská pánev. (3, 58)

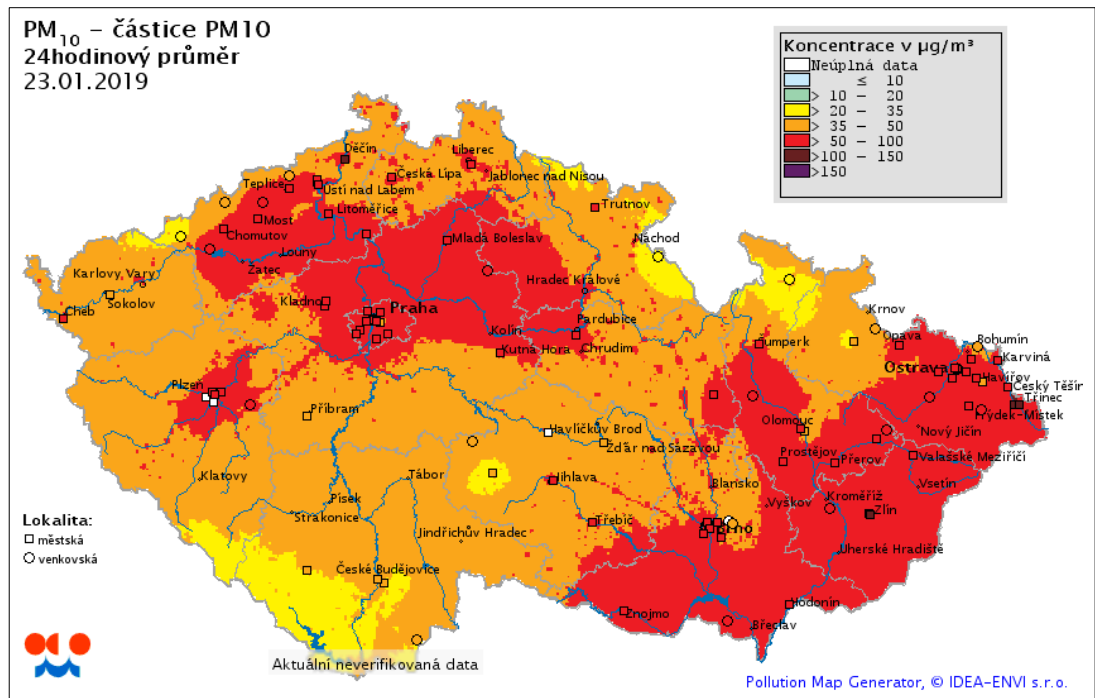
Vývoj smogového zatížení prachovými částicemi na jaře 2019 zobrazují následující obrázky(3, 4, 5 a 6) map koncentrací PM₁₀ ČHMÚ. Zobrazují 24hodinový průměr koncentrací ze dnů 21. – 24. ledna 2019.



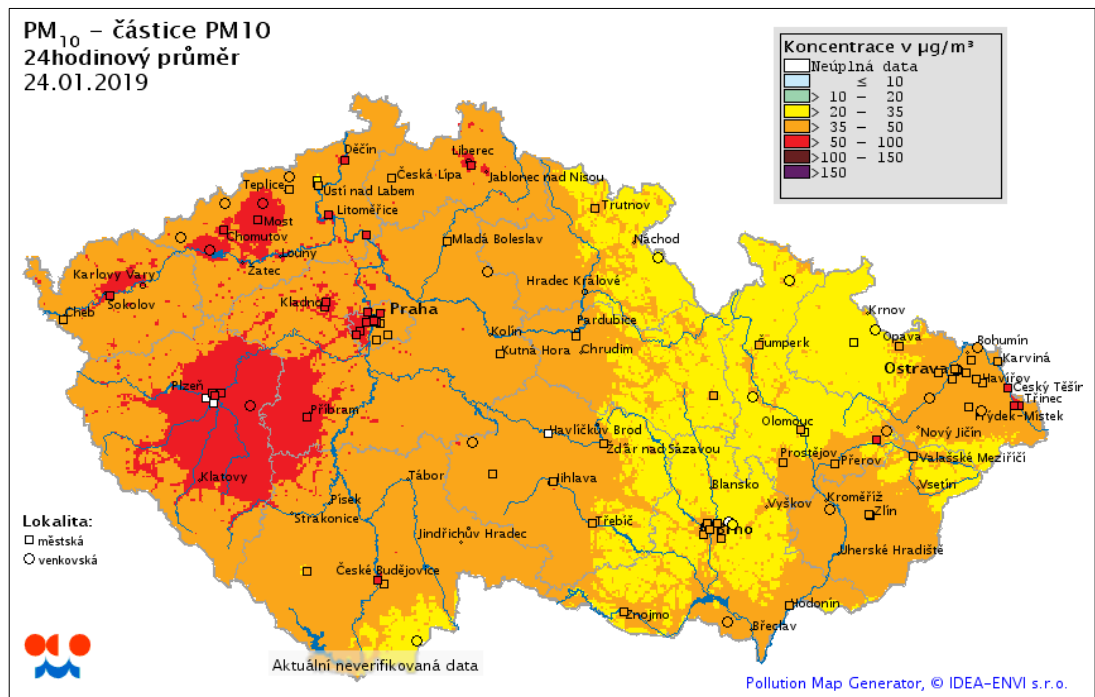
Obrázek 3 - Mapa koncentrací PM₁₀ ze dne 21. 1. 2019 (48)



Obrázek 4 - Mapa koncentrací PM₁₀ ze dne 22. 1. 2019 (48)



Obrázek 5 - Mapa koncentrací PM₁₀ ze dne 23. 1. 2019 (48)



Obrázek 6 - Mapa koncentrací PM₁₀ ze dne 24. 1. 2019 (48)

Na následujících fotografiích (obrázek 7 a 8) je jasně patrná hranice hladiny smogu v ovzduší nad Českými Budějovicemi dne 8. února 2019 (při teplotní inverzi).



Obrázek 7 - Smog nad Českými Budějovicemi – pohled od Hlinska
(vlastní foto)



Obrázek 8 - Smog nad Českými Budějovicemi – pohled od Rudolfova
(vlastní foto)

Další fotografie (obrázek 9, 10) zachycují pohled na smogovou situaci v městě Ostravě. Město je zahaleno velmi hustým smogem.



Obrázek 9 - Město Ostrava zahalené do hustého smogu (35)



Obrázek 10 - Smog v ostravských ulicích (79)

2.6 Emise z provozu motorových vozidel

Jak již bylo v předchozím textu mnohokrát zmíněno, většina škodlivých emisních látek, které se nacházejí v ovzduší, pochází z antropogenních, tedy lidských činností, a to především z provozování motorových dopravních zařízení, automobilů.

2.6.1 Emise vznikající spalováním automobilových paliv

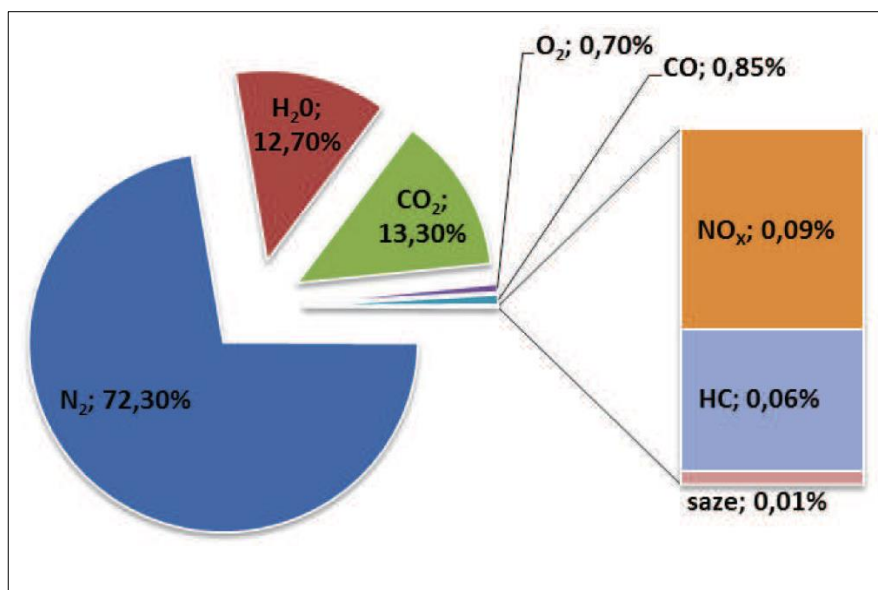
Emise ve výfukových plynech automobilových motorů jsou plynné, kapalné nebo tuhé látky, které jsou ve směsi s dalšími odpadními plyny, které mají nosnou funkci a vynášejí škodlivé emise výfukovým potrubím a dále do okolního ovzduší. (33)

Emise ze spalovacích motorů vznikají při chodu motorů spalováním fosilních paliv vyráběných z ropy. Z hlediska mohutnosti používání a následného množství vyprodukovaných škodlivin se jedná o kapalná paliva: automobilový benzin (zkratka BA) a motorovou naftu (zkratka NM). Plynné pohonné látky jako stlačený ropný plyn (LPG) nebo zkapalněný zemní plyn (CNG) jsou v tomto ohledu méně problematické. Jejich používáním nedochází k tolik vysoké produkci škodlivých emisí – ve srovnání s kapalnými palivy.

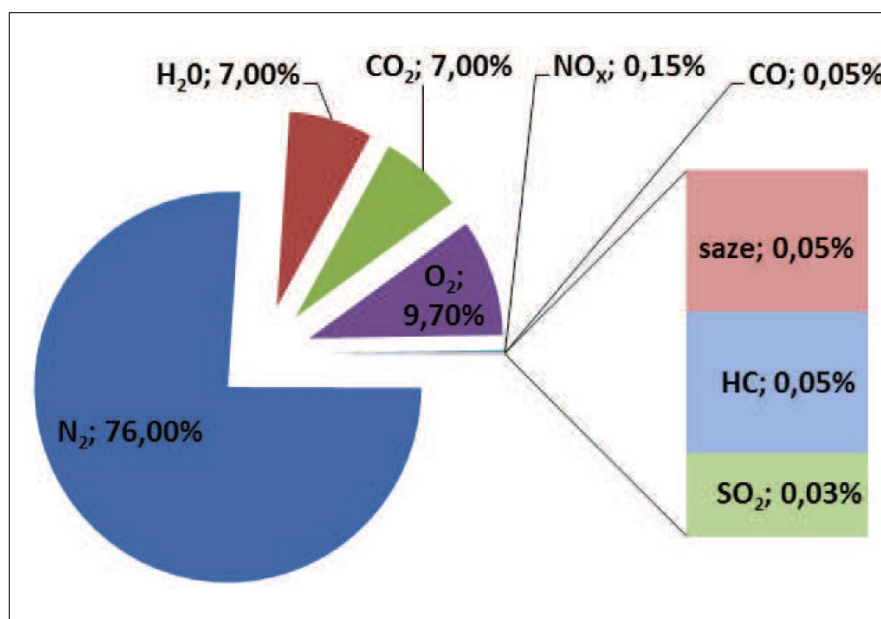
Motorová vozidla, především pak osobní a nákladní automobily, jsou téměř výhradně poháněna pístovými spalovacími motory. Ty mají různé konstrukční a technické parametry.

Pístové motory pracují na základě přeměny tlakové práce hořící směsi paliva se vzduchem na práci rotačního pohybu. Ačkoliv se prudce zdokonalily výrobní technologie a za několik posledních dekad se konstruktérům podařilo nasměrovat vývoj tak, aby byly vyráběny motory s vynikajícími výkony a s relativně nízkou spotřebou paliv, zatím se u žádných pístových motorů nepodařilo dosáhnout dokonalého, stoprocentního spalování. A právě nedokonalým spálením směsi paliva se vzduchem, neboli nedostatečnou oxidační reakcí, dochází k tvorbě škodlivých sloučenin.

Následující kruhové grafy na obrázcích 11 a 12 znázorňují skladbu látek ve výfukových plynech zážehových a vznětových motorů.



Obrázek 11 - Graf obsahu látek ve výfukových plynech zážehových motorů (31)



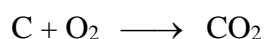
Obrázek 12 - Graf obsahu látek ve výfukových plynech vznětových motorů (31)

Podle grafů je patrné, že oproti vznětovým motorům jsou výfukové plyny zážehových motorů bohatší na dusík (N₂), oxid uhličitý (CO₂), vodu (vodní páru) (H₂O) a nespálené uhlovodíky (HC). Oproti tomu jsou výfukové plyny vznětových motorů bohatší na kyslík (O₂), neboť pracují s přebytkem vzduchu, dále oxidy dusíku (NO_x) a navíc je přítomen oxid siřičitý (SO₂) – ze síry obsažené v motorové naftě.

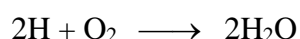
Dokonalé spalování

Obecný chemický vzorec pro uhlovodíková paliva jako jsou automobilový benzin a motorová nafta má tvar C_xH_y . Při spalování uhlovodíků vznikají oxidační chemické reakce. Ty popisují následující rovnice.

- uhlík se sloučí s kyslíkem na oxid uhličitý:



- vodík se sloučí s kyslíkem na vodu (vodní páru):

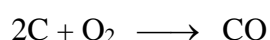


(31)

Nedokonalé spalování

Název nedokonalé spalování napovídá, že při hoření nedojde k úplnému spálení všech složek chemické reakce hoření (oxidace). Nedostatečná oxidace, neboli nedostatečné okysličení, probíhá v důsledku nedostatku kyslíku. Ve spalovacím prostoru pístových motorů k tomu dochází kvůli nedokonalému promísení paliva se vzduchem vlivem tvaru spalovacího prostoru a vlivem vysokých tlaků a rychlostí během pracovního cyklu motoru. Prohoření celé směsi nestihne plně proběhnout. Vliv nedostatku kyslíku popisuje následující rovnice.

- uhlík se sloučí s kyslíkem na oxid uhelnatý:



(31)

Spalování v reálném pístovém motoru

Nedokonalým spalováním v pístových motorech vzniká kromě oxidu uhelnatého a vodní páry řada dalších škodlivin. I další složky vzduchu, především dusík, reagují s uhlovodíkovými palivy a s kyslíkem. Na celý proces přeměny těchto látek během spalování a na kvalitu spalování působí mnoho faktorů. Jejich vlivem neprobíhají chemické reakce tak, jak popisují výše uvedené rovnice.

Nedokonalým spalováním přichází vniveč část energie paliva, je snížen výkon a hospodárnost motoru a vzniká mnoho škodlivých látek, které z výfuků unikají do ovzduší.

Ovlivňující faktory spalování:

- nedostatek vzduchu (kyslíku)
- vysoké rychlosti = nedostatečný čas pro hoření (cca 0,001 s)
- vysoké tlaky při spalování
- vysoké teploty při spalování

Další faktory ovlivňující stav hořící směsi:

- tvar spalovacího prostoru, seřízení motoru, technický stav motoru atd.

(31)

2.7 Emisní normy EURO

Složení exhalátů neboli výfukových plynů se u motorových vozidel sleduje pravidelně a to při měření dodržování emisních limitů stanovených výrobcem na základě příslušné emisní normy – kategorie EURO, určené legislativou pro státy Evropské unie. Měření emisí pro automobily v rámci evidenčních a pravidelných kontrol provádí stanice měření emisí a stanice technické kontroly (STK), jejichž součástí je stanice měření emisí. Nepočítáme-li nově vyrobené automobily, které čeká první kontrola emisní a technické způsobilosti až po prvních čtyřech letech, pro provoz automobilů je zákonem stanovena lhůta emisních a technických kontrol vždy po dvou letech.

Stanice kontroly emisí sledují při měření, zda vozidlo vzhledem ke svému technickému stáří a stavu stále splňuje výrobcem deklarované hodnoty produkce škodlivých látek ve výfukových plynech a spadá-li tak stále do dané emisní kategorie.

Do současné doby vešlo v platnost osm norem EURO emisních kategorií. Norma EURO 1, EURO 2, EURO 3, EURO 4, EURO 5a, EURO 5b a EURO 6b a zatím poslední platnou normou pro všechna nově registrovaná vozidla je EURO 6c.

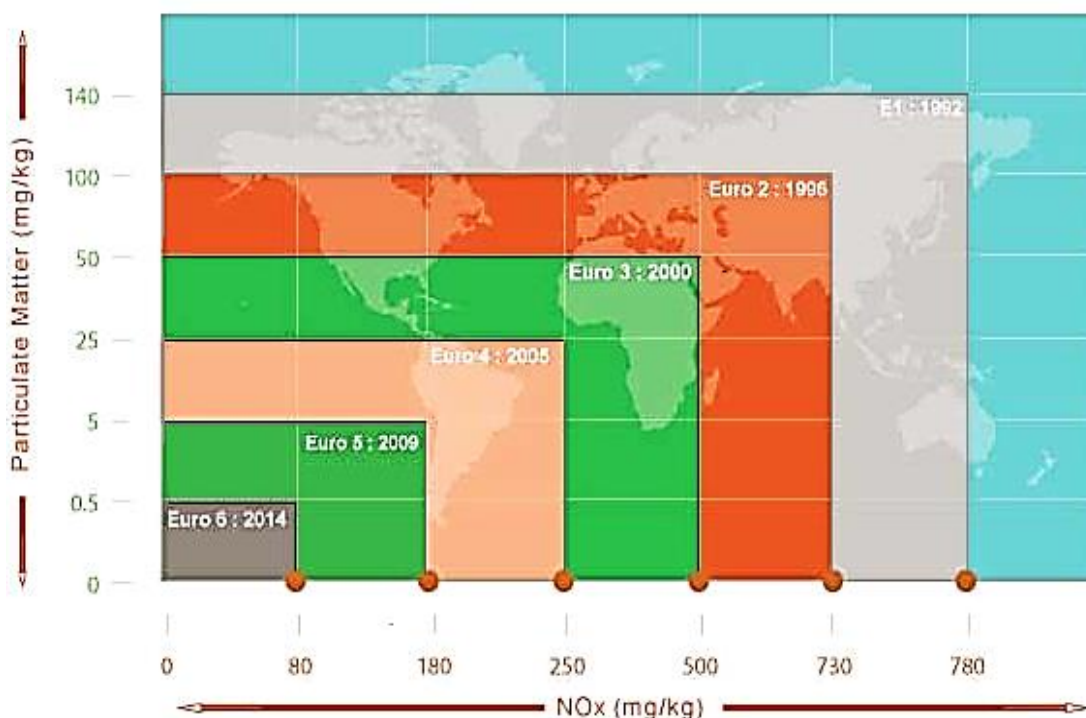
Vše začalo již v roce 1968 v USA v Kalifornii, kde byly zavedeny první emisní limity, a následně v roce 1971 byla zavedena Evropskou hospodářskou komisí OSN evropská směrnice EHK 15, ve které již bylo sledováno složení výfukových plynů. Roku 1989 byla směrnice EHK 15 nahrazena vyhláškou EHK 83, z níž následně vycházely další vyhlášky a úpravy. Stala se základem pro dnešní emisní normy EURO.

(9)

Na základě všeobecných snah o snižování znečišťování životního prostředí vznikla další nařízení a směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropské unie, a podle těchto požadavků přizpůsobují výrobci automobilů své produkty.

Od 90. let dvacátého století tak byly v Evropském parlamentu postupně vytvořeny emisní normy EURO. Pro všechna nově registrovaná vozidla byla norma EURO 1 platná od července 1992, norma EURO 2 platná od ledna 1996, norma EURO 3 od ledna 2000, norma EURO 4 od ledna 2005. Emisní norma EURO 5a začala platit od září 2009, norma EURO 5b od září 2011, norma EURO 6 platná od září roku 2014, a k ní posléze vytvořené nové kategorie EURO 6b – v platnosti od září 2015 a v současné době poslední norma EURO 6c platná od září 2018. V blízké budoucnosti začne od září 2019 platit pro všechna nově zaregistrovaná vozidla norma EURO 6d-Temp. Chystaná je ještě norma EURO 6d s úplnou platností od ledna 2021. (41, 74)

Následující graf (obrázek 13) zobrazuje vývoj a porovnání a emisních norem EURO podle limitních hodnot pro oxidy dusíku (NO_x) a pevné částice (PM).



Obrázek 13 - Graf vývoje a poměrů emisních norem EURO (49)

Datum platnosti jednotlivých norem je třeba upřesnit. Je určeno dvěma termíny. Zaprvé datum schválení typu – pod tímto termínem se rozumí datum, od kdy je pro všechny nově vyrobené automobily závazná norma, jíž se musí automobiloví výrobci přizpůsobit. A zadruhé datum první registrace – což znamená datum, od kterého je norma platná pro všechny nově zaregistrované vozy.

V praxi se tak může stát, že i když má prodejce vozů skladem několik měsíců zánovní automobily, při jejich pozdějším zapsání do registru silničních vozidel již nemusí splňovat homologaci pro mezitím nově platnou emisní normu.

Emisní kategorie EURO limitují a na základě nich i stanice měření emisí sledují ve výfukových plynech přítomnost a výši koncentrace těchto látek:

- oxidu uhelnatého CO
- oxidů dusíku NO_x (NO a NO₂)
- uhlovodíků HC
- pevných částic (PM)

Dále se sledují u zážehových motorů limity hodnoty obsahu non-methanových uhlovodíků – NMHC, neboli těkavých organických látek (VOC). Pro posouzení správnosti řízení zážehového motoru se ještě sleduje obsah kyslíku a u vznětových motorů se sledují limity celkového součtu uhlovodíků a oxidů dusíku HC+NO_x.

Emisní normy EURO stanovují maximální hodnoty hmotnostní koncentrace těchto látek vztažené k 1 km ujeté vzdálenosti. Tedy v jednotkách g·km⁻¹ (či mg·km⁻¹). V posledních normách EURO 5b (pro vznětové motory) a EURO 6, 6b, 6c, 6d-Temp a 6d (pro vznětové i zážehové motory) se nově stanovují a limitují hodnoty nejen koncentrace pevných částic (PM), ale i jejich počtu na 1 km jízdy. Kupříkladu pro vznětové motory lehkých osobních automobilů platí ve jmenovaných kategoriích EURO 5b až EURO 6d maximální dovolená hodnota produkce pevných částic (PM) do 0,0045 g·km⁻¹ a zároveň maximální počet pevných částic (PN) do 6·10¹¹ částic na 1 km jízdy. Viz následující tabulky 1 a 2 emisních limitů EURO.

Tabulka 1 - Emisní limity EURO norem pro vznětové motory (75)

Emisní norma	Datum schválení typu	Datum první registrace	CO g·km ⁻¹	HC g·km ⁻¹	NMHC g·km ⁻¹	NO _x g·km ⁻¹	HC + NO _x g·km ⁻¹	PM g·km ⁻¹	PN 1·km ⁻¹
EURO 1	VII. 1992	I. 1993	2,72 (3,16)	-	-	-	0,97 (1,13)	0,14 (0,18)	-
EURO 2	I. 1996	I. 1997	1,00	-	-	-	0,70	0,08	-
EURO 3	I. 2000	I. 2001	0,66	-	-	0,50	0,56	0,05	-
EURO 4	I. 2005	I. 2006	0,50	-	-	0,25	0,30	0,025	-
EURO 5a	IX. 2009	I. 2011	0,50	-	-	0,18	0,23	0,005	-
EURO 5b	IX. 2011	I. 2013	0,50	-	-	0,18	0,23	0,0045	6·10 ¹¹
EURO 6b	IX. 2014	IX. 2015	0,50	-	-	0,08	0,17	0,0045	6·10 ¹¹
EURO 6c	-	IX. 2018	0,50	-	-	0,08	0,17	0,0045	6·10 ¹¹
EURO 6d -Temp	IX. 2017	IX. 2019	0,50	-	-	0,08	0,17	0,0045	6·10 ¹¹
EURO 6d	I. 2020	I. 2021	0,50	-	-	0,08	0,17	0,0045	6·10 ¹¹

Tabulka 2 - Emisní limity EURO norem pro zážehové motory (75)

Emisní norma	Datum schválení typu	Datum první registrace	CO g·km ⁻¹	HC g·km ⁻¹	NMHC g·km ⁻¹	NO _x g·km ⁻¹	HC + NO _x g·km ⁻¹	PM g·km ⁻¹	PN 1·km ⁻¹
EURO 1	VII. 1992	I. 1993	2,72 (3,16)	-	-	-	0,97 (1,13)	-	-
EURO 2	I. 1996	I. 1997	2,20	-	-	-	0,50	-	-
EURO 3	I. 2000	I. 2001	2,30	0,20	-	0,15	-	-	-
EURO 4	I. 2005	I. 2006	1,00	0,10	-	0,08	-	-	-
EURO 5a	IX. 2009	I. 2011	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,005	-
EURO 5b	IX. 2011	I. 2013	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,0045	6·10 ¹¹
EURO 6b	IX. 2014	IX. 2015	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,0045	6·10 ¹¹
EURO 6c	-	IX. 2018	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,0045	6·10 ¹¹
EURO 6d -Temp	IX. 2017	IX. 2019	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,0045	6·10 ¹¹
EURO 6d	I. 2020	I. 2021	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,0045	6·10 ¹¹

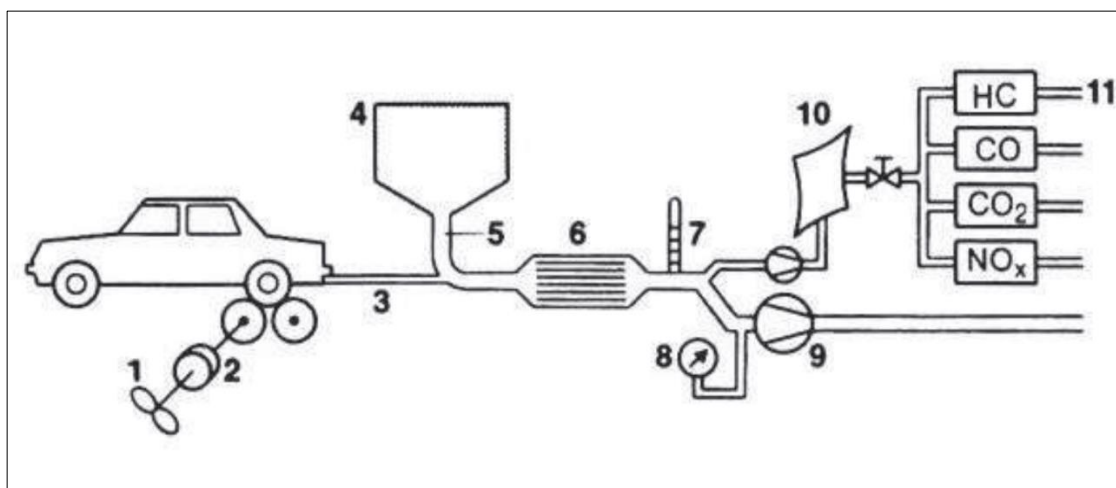
Hodnoty limitů pro PM a PN u zážehových motorů platí pouze pro automobily vybavené motory s přímým vstřikováním paliva do válců. Limit pro PN, tedy pro počet emitovaných pevných částic, byl povolen v případě normy EURO 6b pro přímovstřikové zážehové motory do 6·10¹² částic na 1 km, přičemž tento limit byl platný pouze během prvních tří let od data platnosti.

2.8 Měření emisí

Existují dvě kategorie měření emisí z výfuků automobilů. Homologační měření a kontrolní měření na pravidelných prohlídkách kontroly technické způsobilosti.

2.8.1 Homologační testy

Homologační, neboli typové schválení, se provádí pro testování nově vyráběných či nově registrovaných vozidel. Toto měření se provádí v laboratořích emisních stanic vybavených válcovou stolicí s dynamometrem, na kterém se simulují podmínky připomínající jízdní cyklus na silnici – motor je tedy zatížen (viz schéma – obrázek 14). Zjišťuje se spotřeba paliva a produkce emisních látek. Do nedávné doby se na válcových zkušebnách používala metodika simulace jízdního cyklu NEDC (New European Driving Cycle = nový evropský jízdní cyklus), který začal platit již v roce 1970 při zavedení prvních emisních norem a poslední úpravou prošel před více než dvaceti lety v roce 1997. Metodika cyklu NEDC již delší dobu nevyhovovala požadavkům legislativních opatření při snižování emisní zátěže. V různých státech se používaly různé metodiky měření, což samozřejmě způsobovalo problémy při homologacích vozidel dovezených ze zahraničí. Například v USA cyklus FTP –75DC pro simulaci městského provozu, HWY cyklus pro provoz na dálnici a US-06 pro agresivní vysokorychlostní jízdu. (40)



Obrázek 14 - Schéma stanoviště válcové zkušebny pro měření emisí (31)

1 – dynamometr (brzda), 2 – setrvačnický, 3 – výfuk, 4 – vzduchový filtr, 5 – zředovací vzduch, 6 – tepelný výměník, 7 – teploměr (teplota plynů), 8 – čidlo tlaku (manometr), 9 – dmychadlo s rotujícími písty, 10 – sběrný vak, 11 – čidla jednotlivých měřených složek.

Navíc právě kvůli nejednotnosti mezi těmito používanými odlišnými postupy a názory na celou emisní problematiku byla v roce 2015 odhalena rozsáhlá aféra „Dieselgate“, která se týkala podvodného měření emisí, respektive podvodného softwaru, který způsoboval plnění emisních limitů pouze při homologačních zkouškách a emisních kontrolách na testech technického stavu. A tak se hledaly nové metody měření, které by přinesly mnohem přesnější a co nejrealnější výsledky s ohledem na jedno každé vozidlo. Roli by tak hrálo například i konkrétní komfortní a technické vybavení vozidla, neboť je třeba brát ohled na celkovou hmotnost vozidla – tím pádem na hmotnostní výkon motoru, i na styl jeho využití a tedy i jízdní styl.

Od 1. září 2017 (tedy k normě EURO 6d - Temp) začala v Evropě závazně pro všechny členské státy Evropské unie platit nová metodika homologačního měření emisí. Nazývá se Světový jízdní cyklus, přesněji WLTP – Worldwide Harmonized Light – Duty Vehicles Test Procedures (celosvětově harmonizované zkušební postupy pro lehká užitková vozidla – osobní automobily a lehké užitkové dodávkové vozy). Metodika byla vyvíjena od roku 2007 experty z Evropské unie, Indie a Japonska a finální verze byla představena v říjnu 2015. (27)

Tato nová procedura obsahuje dvě úrovně zkoušení. Skládá se z laboratorního testu na válcovém dynamometru při použití metodiky jízdního cyklu WLTC (World Harmonized Light Vehicle Duty Test Cycle) a následně z testu měření emisí v reálném provozu RDE – Real Driving Emission (emise v reálném jízdním cyklu). Při tomto testu je napojeno na výfuk vozidla zkušební zařízení PEMS – Portable Emissions Measurement System (přenosný systém pro měření emisí). To je upevněno za vozidlem buď na tažném zařízení („kouli“), nebo na speciálním držáku uchytitelném na pátých dveřích vozidla, nebo se umístí do zavazadlového prostoru – viz obrázky 15 a 16.

Zatímco při použití metodiky WLTC v laboratoři jsou testy a výsledky reprodukovatelné – znovuproveditelné, při testech RDE v reálném provozu se zkoumá, zda jsou splněny předepsané limity normy EURO 6 pro oxidy dusíku NO_x a oxid uhelnatý a pro pevné částice. (42)



Obrázek 15 - Umístění zařízení PEMS na závěsné zařízení za automobilem (43)



Obrázek 16 - Umístění zařízení PEMS do zavazadlového prostoru (55)

2.8.2 Kontrolní testy

Kontrolní měření emisí se provádí na stanicích technické kontroly (STK, viz obrázek17) a emisní kontroly při pravidelných technických prohlídkách vozidel. Je to měření čistě kontrolního charakteru v rámci ověření technického stavu motoru a výfukové soustavy. Zjišťuje se, zda produkce emisních látek splňuje limity pro daný automobil – respektive pro příslušnou emisní normu. Dále se z palubního počítače (řídící jednotky) kontrolují hodnoty palubní diagnostiky automobilu ověřující správnost fungování řízení motoru, palivové soustavy, kontrolních snímačů (sonda kyslíku – lambda sonda, sonda oxidů dusíku, čidla diferenčních tlaků) a fungování řídicí činnosti systémů soustavy pro úpravu výfukových plynů – katalyzátorů, recirkulace výfukových plynů a filtrů pevných částic. Tato měření jsou méně přesná a provádějí se pouze u stojícího vozidla s běžícím nezatíženým motorem volnými akceleracemi či na volnoběh. (32)

Při kontrolním měření emisí na stanici emisní kontroly (je obvykle součástí stanice technické kontroly STK) se zjišťují hodnoty koncentrace plyných emisních látek u zážehových a vznětových motorů – oxidu uhelnatého (CO), oxidu uhličitého (CO₂), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO_x), a u zážehových motorů obsah kyslíku O₂. U vznětových motorů se ještě zjišťují koncentrace tuhých emisních látek – pevných částic PM. Ne však přímo jako odběr vzorku pro jejich hmotnostní či fotometrické měření, ale zjišťuje se optická hustota sloupce výfukových plynů způsobená přítomností pevných částic v nich, takzvaná kouřivost.



Obrázek 17 - Budova stanice technické a emisní kontroly (78)

2.9 Přístroje na měření emisí výfukových plynů

Ke stanovení koncentrace jednotlivých emisních složek výfukových plynů se používají analyzátory plynů. Při běžném měření na technických kontrolách se obvykle používají takzvané vícesložkové infraanalyzátory mající sloučené funkce indikace pro několik emisních látek. Pro měření kouřivosti vznětových motorů se používá opacimetr. Přístroje rozdělujeme podle toho, na jakém principu analyzační metody fungují.

Na principu: a) tepelné vodivosti spalin,

b) tepelného zabarvení,

c) absorpce světelného záření (IR – infračervené, UV – ultrafialové),

d) absorpce světelného záření a jeho zvukové odezvy.

(4)

2.9.1 Měření tuhých emisí – kouřivost vznětových motorů

Opacimetrie

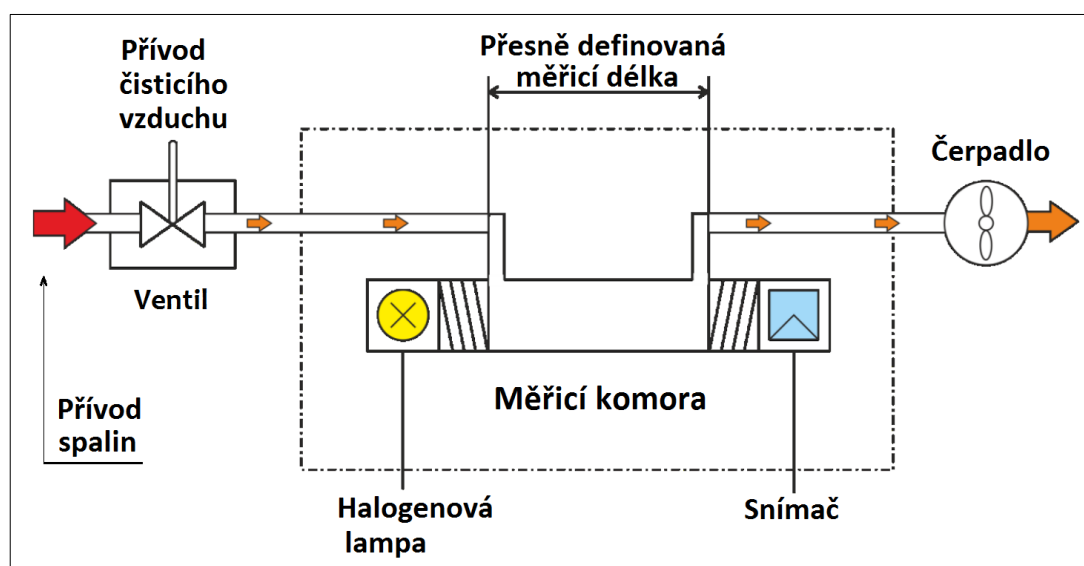
Opacita je schopnost pohlcovat (absorbovat) záření. Neboli vlastnost prostředí (látek, materiálů) být propustné nebo nepropustné například světelnému záření (průsvitné, neprůsvitné). Různá prostředí, různé látky, materiály, mají rozdílnou opacitu. Na tomto základě vzniklo měření kouřivosti motoru. Týká se vznětových motorů, u motorů čtyřdobých zážehových a u motorů s dvoudobým pracovním cyklem se kouřivost neměří. (4)

Zjišťuje se zde de facto optická hustota výfukových plynů. Ty totiž u vznětových motorů obsahují pevné částice – saze, a míra jejich množství zhoršuje prostupnost světelného záření sloupcem výfukových plynů.

Opacita se udává jako koeficient absorpce světelného záření – K , a to buď v jednotkách absolutních – m^{-1} , nebo jako míra opacity v lineárních jednotkách – %, či jako hmotnostní koncentrace – $\mu g \cdot m^{-3}$. Vzduch (čistý) má nulovou opacitu, neboli světelnou absorpci 0 %, koeficient absorpce je tedy $K = 0$. Prostor, který žádné světelné záření nepropustí má 100% opacitu (světelnou absorpci) a koeficient je tedy $K = \infty$. (4)

Měření kouřivosti se provádí pomocí přístroje opacimetru. Ten pracuje na principu Lambert - Beerova zákona, což je matematicky vyjádřená závislost absorpce elektromagnetického monochromatického (jednobarevného) záření na vlastnostech prostředí, kterým prochází. Tento zákon byl nezávisle na sobě odvozen vědci fyziky Pierre Bouguerem (1729), Johannem Heinrichem Lambertem (1760) a Augustem Beerem (1852). (76)

Měření se provádí tak, že z výfukového potrubí automobilu se spaliny vedou do měřicí trubice opacimetru. Na jedné straně trubice se nachází zdroj světla a na druhé straně snímač (viz obrázek 18). Vzdálenost mezi nimi je přizpůsobena vhodné účinné optické dráze světla. Definovaná délka je zpravidla 430 mm. (19)



Obrázek 18 - Schéma opacimetru (16)

Při průchodu paprsku světla proudem spalin je část světla pohlcena v závislosti na množství obsahu pevných částic, tedy na optické hustotě. Na fotočlánek tak dopadá jen určité množství světla a fotočlánek tak vytvoří elektrickou energii, úměrnou tomuto množství. Elektrický proud z fotočlátku je indikován miliampérmetrem. (23)

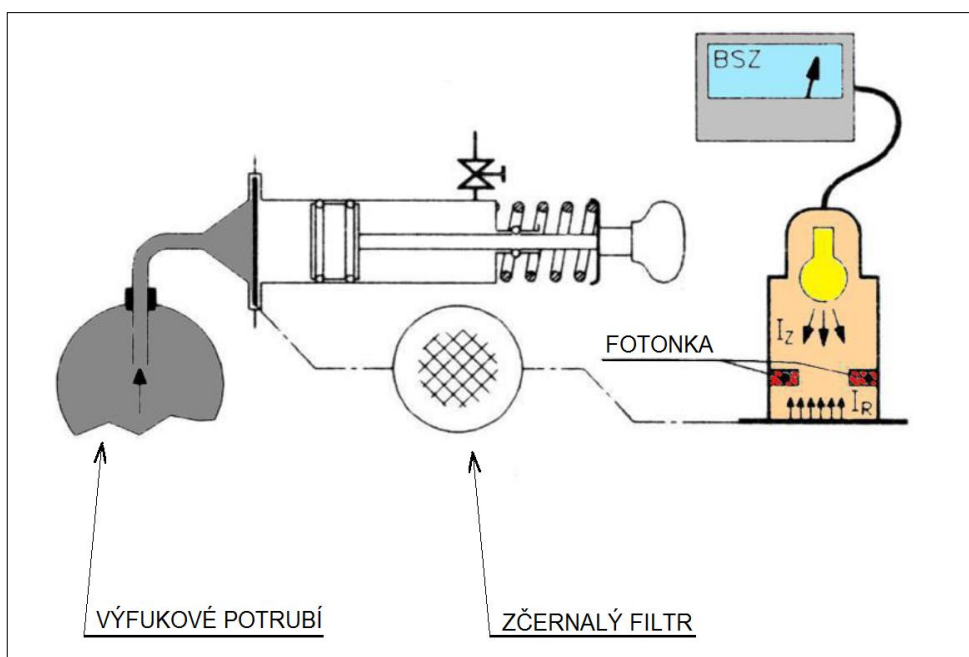
Při měření je třeba dosáhnout kouřivosti motoru, což je situace, kdy je při plném výkonu v motoru palivo nedokonale spalováno vlivem nedostatku kyslíku a motor začne kouřit. Při měření na emisních stanicích se tohoto stavu dosahuje při rozběhu motoru takzvanou zkouškou volné akcelerace, kdy se při běžícím nezatíženém motoru prudce sešlápne pedál akcelerátoru (plná dodávka paliva), až se motor „vytočí“ do přeběhových otáček. (23, 4)

Pro úplnost je třeba uvést ještě dvě starší metody měření produkce tuhých emisí, které se však na stanicích emisních kontrol při pravidelných technických prohlídkách již nepoužívají. Filtrační metoda a gravimetrická metoda.

Filtrační metoda

Byla jednou z prvních zkoušek pro zjišťování produkce tuhých emisí (sazí) vznětovými motory. Základem této zkoušky je zachycování částic z určitého objemu výfukových plynů určitou rychlostí na filtračním papíru. Množství zachycených částic je poté vyhodnoceno opticky podle intenzity zčernání filtračního papíru. Optické vyhodnocení se provádí světelnou metodou reflektivním fotometrem. Ten na základě citlivosti na množství odraženého světla od plochy zachycených částic na filtru vykáže hodnotu odraženého světla (respektive světla částicemi pohlceného). Kompletním výsledkem vyhodnocení je pak stupeň zčernání B_n , udávané v jednotkách SZ (z německého Schwarzungszahl = zčernání, ztmavnutí). To je vypočítáno jako srovnání množství světla pohlceného zčernalým filtrem a množství pohlceného světla nepoužitým filtrem. Veličina naměřená tímto způsobem se pak nazývá kouřivost motoru stanovená filtrační metodou. (16)

Na následujícím obrázku 19 je znázorněno schéma zařízení pro filtrační zkoušku, filtrační kouřoměr od firmy BOSCH.



Obrázek 19 - Schéma filtračního kouřoměru BOSCH (15)

Gravimetrická metoda

Gravimetrie, neboli hmotnostní měření koncentrace pevných částic, se provádí jako změření hmotnosti částic zachycených na filtračním elementu. Zjistí se hodnota rozdílu hmotnosti čistého, vysušeného, nepoužitého filtračního elementu před jeho použitím – filtrováním (před expozicí) a po použití filtračního elementu, na němž jsou zachyceny částice z určitého objemu výfukových plynů (po expozici).

V praxi to vypadá tak, že od výfukového potrubí je po určitou dobu odsáváno stanovené množství spalin a tyto spaliny jsou zároveň prosávány přes filtrační element – filtr, který je k tomuto účelu obvykle vyroben ze skelných mikrovláken. Filtr se před vložením do měřicího zařízení zváží. Po skončení prosávání se filtr opět zváží a ze zjištěného rozdílu hmotnosti se vypočte hmotnost zachycených částic vztažená k objemu spalin, tedy koncentrace. Udává se v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. (22)

Dle empirického vztahu (viz následující vzorec) se vypočítá koncentrace částic C , kde hmotnost nového filtru značí M_1 , hmotnost použitého filtru značí M_2 a objem spalin značí V . (31)

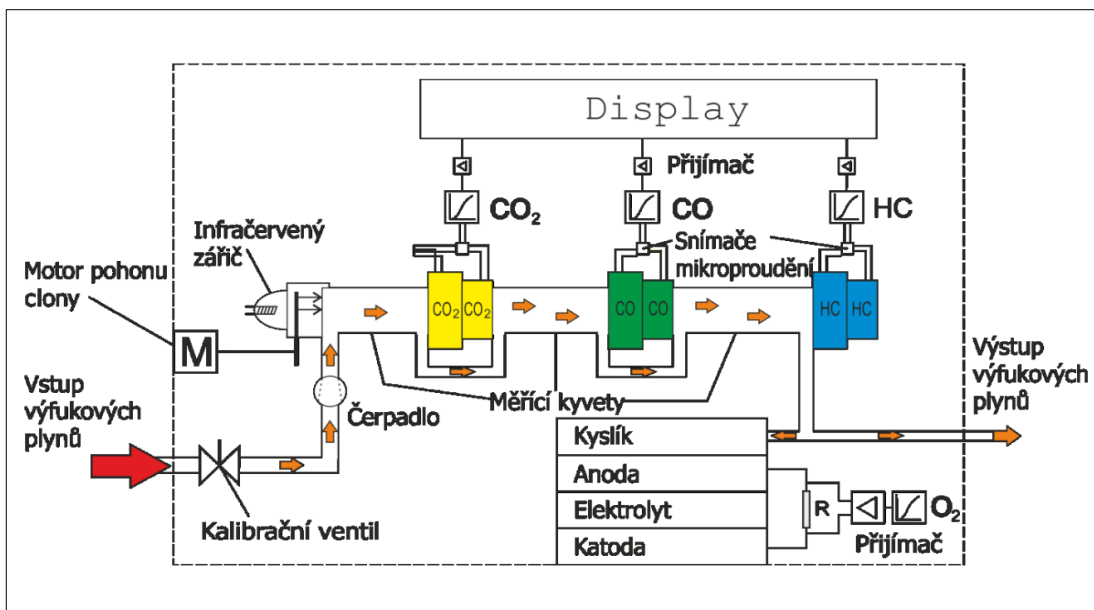
Vzorec výpočtu hmotnostní koncentrace C (31)

$$C = \frac{M_1 - M_2}{V} \quad [\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$$

2.9.2 Měření plynných emisí

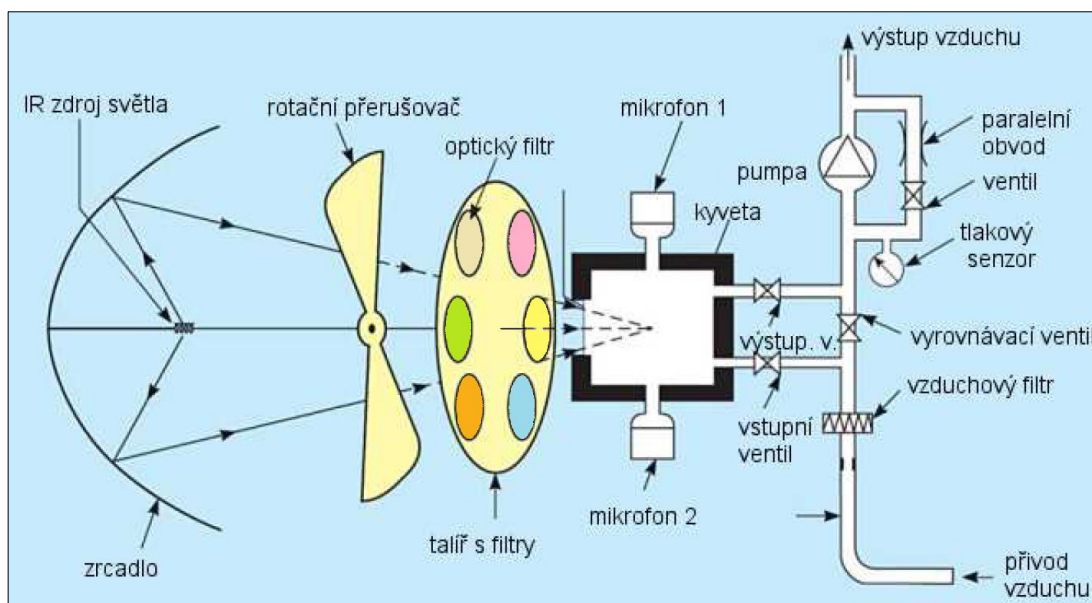
Čtyřsložkový infraanalyzátor

Jedná se o optický přístroj pracující s infračerveným zářením (IR) na výše uvedených principech metodou NDIR – Non-Dispersive Infra Red (nerozptýlené infračervené záření). Má nejjednodušší konstrukci. Na optické lavici s jedním světelným zdrojem je umístěno více měřicích trubic s analyzátory pro měření několika složek najednou (pro CO , CO_2 a HC) a ještě je zde čidlo koncentrace (O_2) (viz obrázek 20). (16)



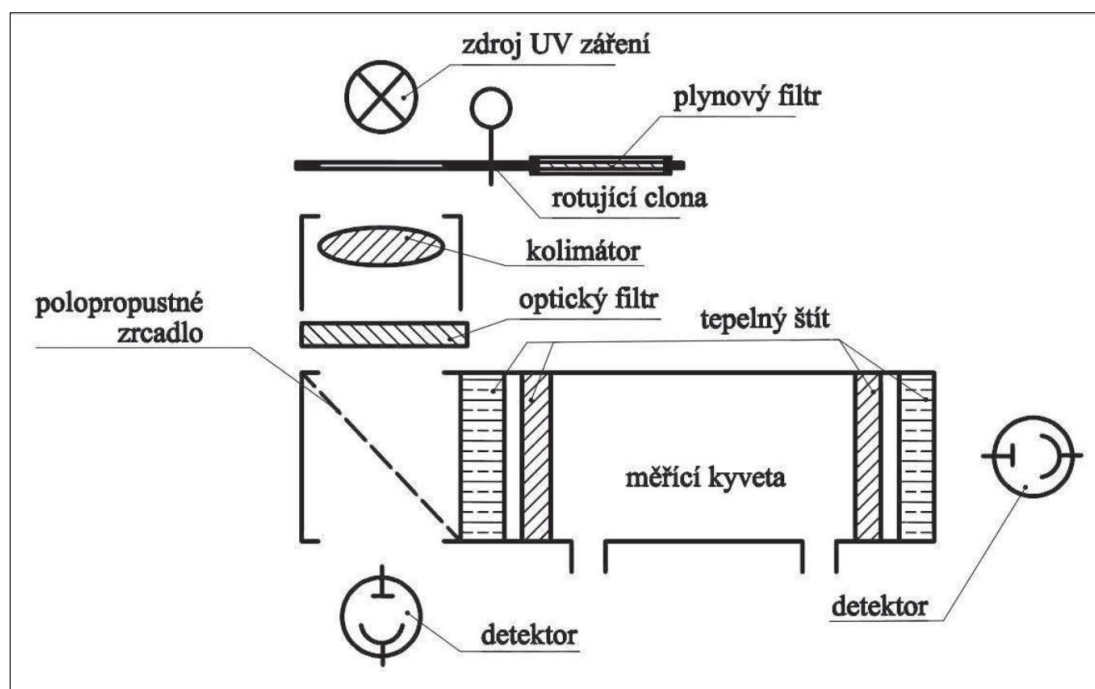
Obrázek 20 - Schéma čtyřsložkového infraanalýzátoru BOSCH ETT (16)

Pro ještě přesnější měření se používá fotoakustický infraanalýzátor (viz obrázek 21). Do komory analyzátoru jsou přivedeny výfukové plyny (na obrázku „přívod vzduchu“). Přes šest optických filtrů je do komory propuštěn infračervený paprsek určité vlnové délky. Působením paprsku na molekuly plynů se tyto zahřívají a kmitají. Tímto způsobují mechanické vlnění, zvuk. Ten se snímá dvěma mikrofony a je vyhodnocován.



Obrázek 21 - Schéma akustického infraanalýzátoru INNOVA 1412 (30)

Ke zjišťování obsahu oxidů dusíku (NO) a (NO₂) se používá metoda NDUV – Non-Dispersive Ultraviolet (nerozptýlené ultrafialové záření). Podstatou měření je vedení ultrafialového paprsku měřicí trubicí, ve které je část záření pohlcena aktivními složkami proudících výfukových plynů. Paprsek je veden přímo na korekční detektor. Viz obrázek 22. K analýze různých plynů se nastavují různé vlnové délky paprsku.



Obrázek 22 - Schéma NDIR ultrafialového analyzátoru (31)

2.10 Zařízení pro úpravu a redukci emisí ve výfukových plynech

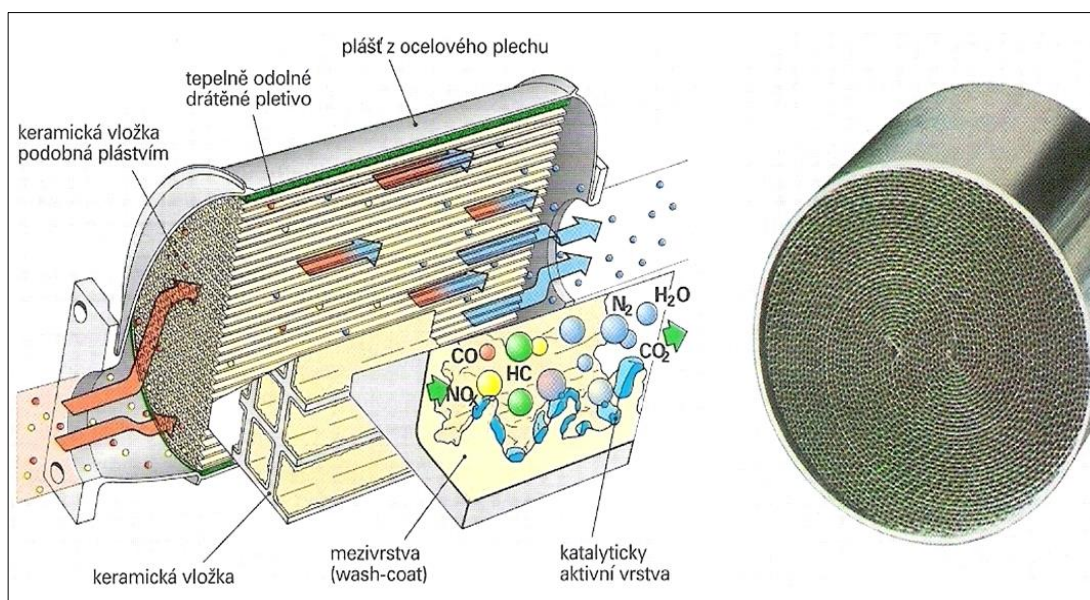
Možnosti snižování emisí výfukových plynů

Snahy o neznečišťování životního prostředí vedly na základě vládních nařízení, směrnic a emisních limitů výrobce automobilů k tomu, aby se začali zabývat možnostmi, jak dosáhnout snížení produkce emisí škodlivin ve výfukových plynech automobilových motorů. Vzniklo tak mnoho technických řešení, doplňků a konstrukčních změn ve výrobě spalovacích motorů a jejich příslušenství, které byly aplikovány do automobilového průmyslu.

2.10.1 Úprava spalin u zážehových motorů

1) Oxidační (dvojčinný) katalyzátor

Výfukové katalyzátory obecně jsou zařízení vyrobená ze vhodného materiálu tak, aby na něm mohly být nanесeny aktivní látky, které způsobují katalytické reakce. Konstrukce většiny katalyzátorů tak obvykle sestává z keramického nebo ocelového nosiče, na kterém je nanесena vrstva aktivních látek, například platiny (Pt), rhodia (Rh), oxidu barnatého (BaO), oxidu draselného (KO) či dalších vhodných látek. Keramický (někdy také ocelový) nosič je vložený do válcového nebo oválného plechového pláště opatřeného na obou koncích nátrubkovým ústím pro připojení na výfukové potrubí. Celá sestava musí být dokonale těsná. Schéma viz obrázek 23.



Obrázek 23 - Schéma konstrukce a funkce katalyzátoru (72)

Oxidační katalyzátory se začaly používat již v roce 1975, vzhledem k zavedení emisních norem. Jako první byl sériově vybavován tímto zařízením automobil Cadillac Seville. Dvojčinný oxidační katalyzátor – redukuje dva druhy škodlivin – používají zážehové motory s přímým vstřikováním paliva, které pracují s chudou pohonnou směsí, tedy s přebytkem vzduchu. Získat kyslík potřebný k oxidaci umožní právě jeho přebytek ve směsi, jejíž poměr odpovídá hodnotě stechiometrického poměru $\lambda > 1$. Oxidací (tzn. spalováním) se přeměňují oxid uhelnatý (CO) a uhlovodíky (HC) na oxid uhličitý (CO₂) a vodní páru (H₂O). K redukce oxidů dusíku (NO_x) v oxidačním katalyzátoru prakticky nedochází. (34)

2) Oxidačně-redukční (trojčinný) katalyzátor

U trojčinného katalyzátoru jde o systém kombinované redukce škodlivých látek ve výfukových plynech. V současnosti se používá u všech vyráběných automobilů poháněných zážehovými motory. Nazývá se trojcestný (podle anglického TWC – *three way catalyst*) či trojčinný, protože způsobuje oxidaci tří výfukových složek – nespálených uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO), které přemění na oxid uhličitý (CO₂) a vodní páru (H₂O), a také štěpí oxidy dusíku (NO_x) na volný dusík (N₂) a kyslík (O₂). Oxidační procesy v katalyzátoru musí probíhat s co největší účinností. Té se dosáhne vhodným řízením složení pohonné směsi paliva se vzduchem tak, aby poměr smísení byl v každém pracovním režimu motoru pokud možno stále co nejbližší hodnotě $\lambda = 1$, neboli hodnotě odpovídající směšovacímu poměru (stechiometrický poměr) palivo : vzduch 1 : 14,8. To se v závislosti na zatížení motoru a dalších provozních podmínkách projeví na obsahu kyslíku ve spalinách. Správnou regulaci vzhledem k provoznímu režimu motoru (otáčky, zatížení, teplota atd.) obstarává řídicí jednotka, která vyhodnocuje signály čidla přítomnosti kyslíku ve výfukových plynech, takzvané lambda sondy. Tento systém úpravy spalin se proto nazývá řízená katalytická redukce. (34)

3) Redukční (zásobníkový) katalyzátor

Toto zařízení se používá pro zážehové motory, především pak pro motory s přímým vstřikováním paliva do válce. Takové katalyzátory fungují pouze v určitém provozním režimu motoru, kdy probíhá vrstvené plnění směsi. Tudiž v určitých oblastech pracují v režimu částečného zatížení, ve kterém motor spaluje velmi chudou směs, neboli palivo s velkým přebytkem vzduchu. Nemůže tak probíhat redukování dusíkatých oxidů trojčinným katalyzátorem, který plní funkci dodatečné úpravy oxidů dusíku, a proto je za něj do výfukové cesty zařazen právě redukční katalyzátor, který dodatečnou úpravu umožní.

Zvláštností tohoto katalyzátoru je, že je konstruován jako zásobníkový, neboli že díky přítomnosti kyslíku obsaženého ve spalinách po spalování chudých směsí katalyzátor umožní na svém povrchu nashromáždit oxidy dusíku v podobě dusičnanů. Konstrukce redukčního katalyzátoru je vyřešena obdobně jako u většiny katalyzátorů – sestává z keramického nosiče, na kterém je nanesena vrstva tzv. ukládacího materiálu. Tím je oxid barnatý (BaO) nebo oxid draselný (KO). Ve chvíli, kdy se akumulací možnosti katalyzátoru vyčerpají, musí dojít k procesu regenerace, která

proběhne během krátkého přepnutí na režim spalování s bohatou směsí. Tím dojde k nárůstu produkce oxidů uhlíku a nashromážděné dusičnany v katalyzátoru jsou zredukovány pomocí oxidu uhelnatého (CO) na dusík (N₂). (34)

4) Systém zpětného vedení (recirkulace) výfukových plynů (EGR)

Tuto metodu používají zážehové motory s přímým vstřikováním paliva, které pracují s chudou směsí. Recirkulace výfukových plynů EGR (anglicky Exhaust Gas Recirculation) funguje na principu nasávání výfukových plynů zpět do pracovního prostoru motoru a opět se účastní spalovacího procesu. Tento způsob redukuje vznik oxidů dusíku (NO_x). Smísením recirkulovaných spalin se v nasávaném vzduchu sníží podíl kyslíku, důsledkem čehož jsou v průběhu spalování nižší teploty, čímž se sníží produkce oxidů dusíku, které vznikají především za vysokých teplot a tlaků. Zpětné nasátí spalin do válce se běžně konstrukčně řeší pomocí tzv. EGR ventilu. Ten je umístěn blízko za výfukovými svody a přepouští část spalin do potrubí s mezichladičem a dále do sacího traktu motoru (tzv. vnější recirkulace). Regulaci otevření ventilu obstarává řídicí jednotka v závislosti na provozním režimu motoru, na otáčkách a zatížení, tlaku okolního vzduchu a teplotě motoru. Recirkulované množství plynů se u zážehových motorů pohybuje v rozmezí 10 – 20 % z objemu nasávané směsi. Dalším možným technickým řešením je tzv. vnitřní recirkulace – způsob nasávání části spalin vhodným časováním rozvodů výfukových ventilů, aby se původně pístem vytlačované spaliny nasály stejnou cestou zpět do válce při sacím zdvihu pístu přes výfukové ventily, které se zavřou o něco později. (45)

5) Systém sekundárního (přídavného) vzduchu

U tohoto systému dochází k dodatečné redukci oxidů uhlíku a uhlovodíků exotermickým spalováním ve výfukovém potrubí. Děje se tak pouze při studeném startu, ke kterému je potřeba tzv. syté směsi vzduchu s přebytkem paliva. Systém je v činnosti až do doby, kdy je dosaženo dostatečné provozní teploty pro činnost katalyzátoru a regulace lambda sondou. Do té doby však vzniká velké množství škodlivin, k jejichž snížení se už během fáze studeného startu vhání dmychadlem okolní vzduch (tzv. sekundární) přímo za ventily do výfukových kanálů. Následně zde a ve výfukových svodech dochází při teplotách nad 600 °C k hoření vhaněného vzduchu (kyslíku) a tím je zajištěna dodatečná oxidace – dodatečné spalování

škodlivých látek na oxid uhličitý (CO_2) a vodu (H_2O). Teplem z hoření se zahřívá katalyzátor a je tak zkrácena doba do spuštění regulace lambda. (6)

6) Systém DeNO_x selektivní katalyzace (SCR) pro zážehové motory

Použitím klasického trojčinného katalyzátoru musí motor pracovat s nasávanou směsí stechiometrického poměru $\lambda = 1$. Ale motory s přímým vstřikováním paliva pracují s chudou směsí s hodnotou $\lambda > 1$ a při spalování dochází ke zvýšené produkci oxidů dusíku (NO_x). Aby mohla probíhat redukce škodlivých látek, je v katalyzátoru jako aktivní redukční látka, kromě platiny (Pt), použito také iridium (Ir). Je to v podstatě konstrukce trojčinného katalyzátoru, u kterého se redukční účinek výrazně zvýší nahrazením rhodia (Rh) jinou látkou, zpravidla iridiem. To má tu vlastnost, že dokáže pracovat s vyšší účinností, než rhodium, které se jinak normálně používá v trojčinných katalyzátorech pracujících bez zbytkového kyslíku.

Redukční proces je v katalyzátoru podporován dodatečně zvýšeným obsahem nespálených složek – uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO). To se zajišťuje obohacením směsi při akceleraci ($\lambda < 1$), nebo zmenšením úhlu předstihu (uměle se zhorší spalování ve válcích), nebo dodatečným vstřikem paliva po jeho shoření. Jde o vstříknutí nepatrného množství paliva, aby nedocházelo ke zbytečnému zvyšování spotřeby, a aby se teplota katalyzátoru udržovala ve vyhrazených mezích. (7)

7) Filtr pevných částic (OPF) pro zážehové motory

Podobně jako filtry pevných částic používané u vznětových motorů (DPF – diesel particulate filter) (viz následující podkapitola), tak i u zážehových motorů se v poslední době začaly do výfukového systému zařazovat filtry pevných částic. Ty nesou označení zkratkou OPF, neboli Ottopartikelfilter, nebo také GPF (gasoline particulate filter). Týká se to především motorů s přímým vstřikováním benzínu do spalovacího prostoru – do válců. Produkce pevných částic z motorů s klasickým vstřikováním je poměrně nízká a zatím není nijak omezena legislativou. Přímovstřikový motor se ve srovnání s motorem s klasickým vstřikováním do sání chová podobně jako vznětový – pracuje s chudší směsí, s mnohem vyššími tlaky a teplotami ve spalovacích komorách. Přímé vstřikování benzínu způsobuje, že je zapalována nehomogenní směs vzduchu a paliva za vysokého tlaku (i 200 atmosfér), který je dán vyšším kompresním poměrem nebo přeplňováním. Všechno to má za

následek vznik nespálených mikročástic, navíc s průměrem menším než 10 nm. Takové částice jsou pro lidský organismus extrémně nebezpečné. Povinnost vybavení filtrem OPF u automobilů s přímým vstřikováním paliva platí od září 2018. (73)

2.10.2 Úprava spalin u vznětových motorů

1) Oxidační katalyzátor (DOC)

Oxidační katalyzátor DOC (anglicky Diesel Oxidation Catalyst) je obdobou dvojčinného oxidačního katalyzátoru pro zážehové motory. Rozkládá dva druhy škodlivin – oxid uhelnatý (CO) a nespálené uhlovodíky (HC) na oxid uhličitý (CO₂) a vodní páru (H₂O). Účinnost tohoto katalyzátoru vzrůstá s jeho zvyšující se teplotou (respektive s teplotou výfukových plynů). Minimální teplota potřebná pro katalytickou reakci je cca 200 °C. Při ní již může probíhat kvalitní přeměna oxidu uhelnatého (CO), přeměna uhlovodíků (HC) probíhá v oblasti středních až vysokých teplot (kolem 200 – 600 °C). Při dostatečně vysoké teplotě katalyzátoru dochází i k dodatečnému spalování prachových částic (PM) díky přebytku kyslíku ve výfukových plynech (vznětové motory pracují s chudou směsí). Tím se redukuje velikost prachových částic, popřípadě nejmenší částice úplně shoří. DOC katalyzátor má kovový nosič z ušlechtilé oceli. (56)

2) Katalyzátor typu D

Katalyzátory tohoto typu se objevily na trhu relativně nedávno. Vyrábí je kanadská firma Nett Technologies Inc. Řešeny jsou jako oxidační s keramickým nosičem, ale oproti již zmíněným katalyzátorům pro zážehové motory jsou tyto schopny činnosti již za nízkých teplot výfukových plynů, prakticky ihned po nastartování motoru. Keramické nosiče obsahují mimo obvyklé katalyzační prvky také zeolity (hlinito-křemičité minerály) s vysoce porézní strukturou. Dokud nemají spaliny dostatečnou teplotu, zeolity na sebe vážou nespálené uhlovodíky (HC). K tomu dochází zejména při nízkých otáčkách motoru při stání na volnoběh. Když pak dojde k nárůstu teploty výfukových plynů (zvýšené otáčky a zatížení motoru), začnou se uhlovodíky vázané na zeolitech uvolňovat a dodatečně v katalyzátoru zoxidují. Připomíná to funkci zásobníkového katalyzátoru pro zážehové motory. Vysoká účinnost již od nízkých teplot umožňuje tyto katalyzátory použít tam, kde vadí dusivý zápach typický pro vznětové motory, který způsobují oxidy dusíku. (56)

3) Systém zpětného vedení (recirkulace) výfukových plynů (EGR)

Použitím systému EGR lze dosáhnout snížení emisí škodlivin ve zplodinách vznětových motorů. Je to obdobný systém jako při použití EGR u zážehových motorů s přímým vstřikováním paliva, neboť vznětové motory také pracují s chudou směsí – přebytkem vzduchu. Ale oproti zážehovým motorům se u motorů vznětových může recirkulovat až 50 % podílu spalin. Část výfukových plynů se otevřením EGR ventilu odvádí potrubím přes mezichladič zpět do potrubí před sací kanály a tudy do spalovacího prostoru. V nasáté směsi vzduchu a spalin je menší podíl kyslíku. Výsledkem je snížení teploty v průběhu spalování, což způsobuje nižší vznik oxidů dusíku (NO_x). To redukuje i vznik dalších oxidů dusíku následnou oxidací v ovzduší. EGR systémy v současnosti používají snad všechny vznětové motory, které plní minimálně normu EURO 4. (34)

Výhoda EGR systému spočívá v redukci vzniku emisí přímo v místě jejich vzniku – ve spalovacím prostoru. Avšak nevýhodou je, že se tím zvyšuje tvorba pevných částic – sazí. Navíc se mírně zvyšuje měrná spotřeba paliva (oproti stejnému motoru bez EGR). To je způsobeno omezenějším množstvím kyslíku, kdy lze spálit menší množství paliva a vznikají nespálené částice – saze. V důsledku toho vzniká méně tepla – uvolní se méně energie, která musí být k dosažení požadovaného výkonu kompenzována zvýšením dávky paliva. (34)

„V současné době se k plnění emisních norem (týká se především redukce pevných částic) používá soustava EGR + DPF, tedy recirkulace výfukových plynů + filtr pro zachytávání a snižování emisí pevných částic. Nutnost eliminace sazí je nanejvýš jasná, neboť systém EGR sice sníží emise dusičnanů, ale na úkor zvýšení emisí pevných částic. Konkurencí tohoto systému je soustava systémů DPF + SCR, tedy selektivní katalytická redukce s močovinou AdBlue + filtr pevných částic....“ (11)

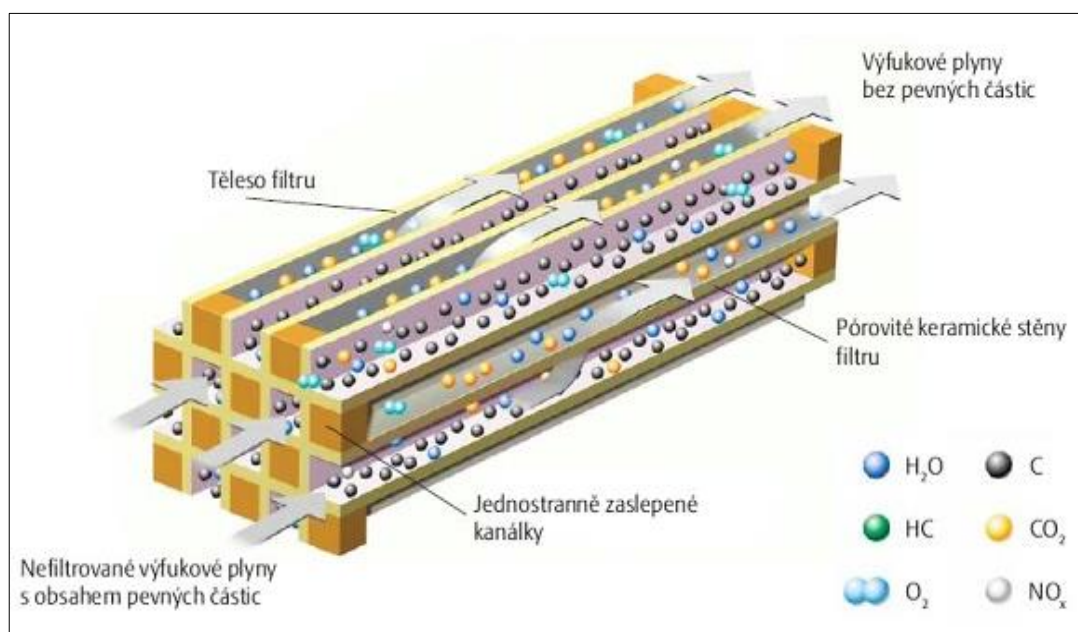
4) Filtr pevných částic (DPF)

Všechny nově vyrobené vznětové motory musí být vybaveny filtrem pevných částic. Obecně se pro tento filtr používá zkratkové označení DPF – anglicky Diesel Particulate Filter, nebo také FAP – francouzsky Filtre à Particules. Úkolem těchto zařízení, jak již název napovídá, je vyfiltrovat pevné prachové částice z výfukových plynů. Filtr pevných částic se dá zjednodušeně připodobnit velmi jemnému sítu, přes které proudí spaliny a zachytí se na něm částice prachu, které jsou větší než molekuly

plynů. Funkce DPF je tak založena na principu oddělení pevné látky od plynu na porézní přepážce. Stěny filtru – porézní přepážky – umožňují průchod částic látek do velikosti rozměrů svých pórů. Částice přesahující svou velikostí rozměry pórů neprojdou filtrem a zachytí se. Prachové částice ve výfukových plynech – saze – mají miniaturní rozměry (do 10 μm – polétavý prach).

Proto se na výrobu filtrů používá takový materiál a taková technologie, která vytvoří vysoce porézní a dobře propustný povrch. Výfukové plyny tak mohou dobře prostupovat filtrem, a zároveň mají póry filtru takovou velikost, aby zachytily co nejmenější částice prachu. Jako vysokoporézní materiál se obvykle používají karbid křemíku (SiC), keramické materiály, nebo velmi jemná kovová vlákna tkaná do monolitu. (28)

Vlastní filtrační vložka je vyrobena do bloku s voštinovou strukturou, jenž obsahuje stovky drobných kanálků, které jsou na začátku a na konci střídavě zaslepeny. Stěny kanálků jsou porézní a jimi se výfukové plyny přefiltrovávají. Plyny vstupují do přívodních kanálků otevřených proti směru toku a prostupují jejich pórovitými stěnami do prostoru kanálků otevřenými ve směru toku plynů. Viz schéma na obrázku 24.



Obrázek 24 - Schéma funkce filtrační vložky a znázornění mechanismu filtrace

(44)

Částice prachu oddělené od výfukových plynů se ukládají v kanálcích filtru. Časem tak dojde k jeho zaplnění a zneprůchodnění, což by znemožnilo chod motoru. Stupeň zanesení filtru je sledován řídicí jednotkou přes senzory tlaku umístěnými před a za filtrem – tzv. čidla diferenčního tlaku. Nahromaděné nespálené částice se musí čas od času zredukovat. K tomu dochází při tzv. regeneraci, což je děj, při kterém se zvýšením teploty ve filtru pevné částice dodatečně spálí na látky, které již mohou filtrem projít.

Regenerace filtru na vozidle probíhá obvykle zvýšením teploty spalin nad 600 °C, částice během několika minut shoří a přemění se na plynné látky a malé množství popele. Zvýšení teploty za provozu motoru se provede úpravou spalovacího procesu ve válcích. Zpožděním nebo znásobením vstřiku, které umožňuje technologie vstřikování paliva Common-Rail, část ještě hořících spalin expanduje z válce do výfuku. Filtr se proto umísťuje blíž k motoru, zvýšení teploty se dosáhne snadněji. Pro zvýšení teploty spalin se také do paliva přidává speciální aditivum, nebo se přímo před filtr vstřikuje palivo, které se teplem vznítí a shoří společně s částicemi. Filtry se také mohou vyrábět s vyhřívací elektrickou topnou spirálou. Rovněž se vložky filtrů potahují vrstvou katalyzačních látek, které s pevnými částicemi oxidují a tím lépe dochází k jejich rozpadu. Regenerace filtru se také může provést ve specializovaném servisu při běžícím motoru počítačem přes diagnostickou přípojku zadáním příkazu řídicí jednotce k zahájení regenerace. Proces „vypalování“ trvá několik minut. Obnovení funkce filtru se po zanesení popílkem provádí ve specializovaných servisech po demontáži filtru. Provádí se chemickým zpětným proplachováním nebo vypalováním a vibračním vytřesením popílku (28)

5) Systém selektivní katalytické redukce (SCR) s redukčním činidlem AdBlue

Technologie selektivní katalytické redukce (SCR) snižuje ve výfukových plynech především obsah škodlivých dusičnanů. Je založena na využití reakce oxidů dusíku (NO_x) přidáním amoniaku (NH_3) za přítomnosti katalyzátoru. Výsledkem reakce sloučenin jsou neškodné látky, především volný dusík (N_2) a vodní pára (H_2O). Amoniak neboli čpavek (NH_3) musí být k reagujícím látkám přidán vstřikováním redukčního kapalného činidla – 32,5 % vodného roztoku syntetické močoviny (obchodní název AdBlue) do horkých výfukových plynů. Musí být dosaženo správných provozních teplot. Roztok AdBlue se při vysoké teplotě rozloží na amoniak a s látkami v katalyzátoru dojde k redukční reakci škodlivých dusičnanů. (34)

Součástí SCR technologie musí být zařízení pro redukci emisí pevných částic. V praxi je tak ve směru toku výfukových plynů filtr pevných částic zařazen před katalyzátor SCR. Nejprve tedy dojde k vyčištění spalin od sazí a následně projdou procesem selektivní katalytické redukce.

„Takto uspořádaný systém má velké nároky na prostor a je celkově těžší, než například systém soustavy EGR + DPF. Proto se používá převážně u velkých vozů nákladní a hromadné dopravy. I přesto se v poslední době s tímto systémem můžeme setkat už i u některých osobních automobilů. Například koncern Volkswagen Group aplikuje tuto technologii do některých vozidel v rámci velmi úsporných a ekologických verzí.“ (11)

3. Metodika – výzkum

Vlastní výzkum mé diplomové práce se týkal stanovení emisních faktorů a následného výpočtu produkce základních emisí z výfuků osobních vozidel ve vybraných úsecích dopravní trasy. Stanovení emisních faktorů bylo provedeno na základě charakteru úseku dopravní trasy a konkrétního automobilu. Výpočet produkce základních složek výfukových plynů z vozidel pohybujících se po těchto úsecích dopravní trasy byl proveden pomocí programu MEFA 13.

Sběr dat pro potřeby výpočtů byl proveden pomocí videozáznamů z vybraných úseků dopravní trasy v určitém časovém rozsahu. Následně byla provedena analýza videozáznamů pro získání dat potřebných k výpočtům. Ke zjištění dalších potřebných hodnot bylo využito vlastní osobní vozidlo a účast v dopravní situaci na vybraných úsecích.

3.1 Cíl výzkumu

Cílem mé práce bylo stanovit pomocí programu MEFA 13 množství základních emisních látek z výfukových plynů vyprodukovaných osobními vozidly, pohybujícími se ve vybraných úsecích dopravních tras.

3.2 Použitá zařízení a programy

3.2.1 Program MEFA 13

Program – emisní model MEFA – je metodikou výpočtu emisí Ministerstva životního prostředí (MŽP ČR). Hlavní funkcí MEFA 13 je výpočet emisí z dopravy pro definované úseky silničních komunikací. Předpokladem pro výpočet emisí z dopravního provozu je existence spolehlivých emisních faktorů, které charakterizují produkci emisí škodlivin pro základní kategorie silničních motorových vozidel o různých emisních úrovních (bez katalyzátoru, s katalyzátory, s filtry a bez filtrů pevných částic) v závislosti na inženýrsko-dopravních informacích (rychlost jízdy, sklon vozovky) a použité pohonné hmotě (benzin, motorová nafta, LPG, zemní plyn).

„Dosud byly při výpočtech prováděných v rámci posuzování vlivu dopravy na životní prostředí používány různé hodnoty emisních faktorů, stanovené obvykle na základě průměrných hodnot emisí získaných při emisních zkouškách a měřeních prováděných často při zcela odlišných podmínkách, popřípadě bez zohlednění některých důležitých faktorů ovlivňujících jejich výslednou hodnotu. Takto stanovené emisní faktory se vzájemně značně lišily a výsledky výpočtů emisních bilancí byly proto jen obtížně porovnatelné. V souladu s legislativními opatřeními proto MŽP ČR vydalo emisní faktory pro motorová vozidla tak, aby bylo možné v rámci ČR provádět vzájemně porovnatelné bilanční výpočty emisí z dopravy či hodnocení vlivu motorových vozidel na kvalitu ovzduší.“ (17)

Program MEFA tyto emisní faktory obsahuje a umožňuje výpočet pro široké spektrum znečišťujících látek. Zahrnuje hlavní složky výfukových plynů i látky rizikové pro lidské zdraví (aromatické uhlovodíky, aldehydy). Zahrnuty jsou také reaktivní organické sloučeniny, které představují hlavní prekurzory při tvorbě přízemního ozonu a fotooxidačního smogu (alkeny). První verze programu MEFA počítaly hodnoty pouze pro ustálený jízdní režim bez zohlednění víceemisí ze studených startů a také nebyly zohledněny odpary uhlovodíků během odstavení vozidel. Tyto faktory byly započteny až v další verzi programu MEFA 13. (24)

MEFA 13 – Výpočet emisí z automobilové dopravy

Program obsahuje dvě části, freewarovou – volně přístupnou a komerční.

Freewarová část

Základní modul obsahující emisní faktory pro jednotlivá vozidla:

- pro zvolenou kombinaci výpočtového roku, kategorie, paliva, emisní úrovně a podmínek provozu
- obsahuje postupné stárnutí vozového parku v rámci emisní třídy
- výsledky v $\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$, u benzo[a]pyrenu v $\mu\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$.

Komerční část

Modul pro automatizovaný výpočet emisí z liniových zdrojů:

- vstupem je databáze úseků – částí komunikace homogenních ve všech vstupních parametrech
- vstupní databáze v TXT, XLS nebo DBF souborech
- možnost zahrnutí studených startů
- zohlednění dynamické sklady vozového parku – definované nebo vlastní schéma
- výpočet sekundární prašnosti (resuspenze)
- výstupem je databáze obsahující emise 18 látek + 4 látky resuspenze
- výsledky v $\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$, u benzo[a]pyrenu v $\mu\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$ z daného úseku
- výstup do TXT nebo DBF
- možnost rozšířeného výstupu (po kategoriích).

Výstupem programu MEFA 13 jsou emise následujících látek:

Anorganické sloučeniny

- oxidy dusíku (NO_x)
- oxid dusičitý (NO_2) oxid siřičitý (SO_2)
- oxid uhelnatý (CO)
- tuhé znečišťující látky PM
- tuhé znečišťující látky frakce PM_{10}
- tuhé znečišťující látky frakce $\text{PM}_{2,5}$

Organické sloučeniny

- suma uhlovodíků (C_xH_y)
- metan (CH_4)
- propan (C_3H_8)
- 1,3-butadien (C_4H_6)
- styren (C_8H_8)
- benzen (C_6H_6)
- toluen (C_7H_8)
- formaldehyd (CH_2O)
- acetaldehyd ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$)
- suma polyaromatických uhlovodíků
- benzo[a]pyren ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$)

Resuspenze prachu z vozovky

- tuhé znečišťující látky frakce PM_{10}
- tuhé znečišťující látky frakce $\text{PM}_{2,5}$
- suma polyaromatických uhlovodíků
- benzo[a]pyren ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$)

Pro vypracování této diplomové práce byla použita freewarová část – volně stažitelná z webových stránek společnosti ATEM, protože pro splnění cíle práce vyhovuje. Plnou verzi tohoto programu nabízí společnost ATEM za cenu 22 900,- Kč bez DPH. Program je distribuován na CD společně s manuálem.

3.2.2 Fotoaparát SONY DSC – HX100V + stativ

Jedná se o velmi všestranný digitální hyperzoomový fotoaparát, který se hodí pro jakoukoliv příležitost od fotografování krajiny až po záběry ze sportu a přírody, nebo videa ve vysokém rozlišení. Je vybaven čipem CMOS Exmor R o rozlišení 16,8 Mpx (megapixel) a s maximální velikostí snímku 4608×3456 px. Předností fotoaparátu je objektiv s širokoúhlým optickým zoomem v rozsahu 27 – 810 mm (ekvivalent pro kinofilm) a s optickou stabilizací obrazu.

Video s Full HD rozlišením 1920×1080 px při rychlosti 24 snímků/s, lze kdykoliv nahrávat stisknutím jednoho tlačítka. Pro sledování fotografování i nahrávání slouží velký zadní LCD displej s úhlopříčkou 7,5 cm a rozlišením 921 kpx. Vestavěna je celá řada podpůrných systémů a doplňků. Tento fotoaparát má navíc vestavěný GPS přijímač, který dokáže ke každé fotografii přiřadit souřadnice místa jejího pořízení a zobrazit je pak na mapě v počítači.

Veškeré fotografie a videa se ukládají na paměťové karty typu MS Pro Duo nebo SD, SDHC či SDXC. Pro nahrávání videa v plné kvalitě musí mít používaná paměťová karta alespoň čtyřrychlostní třídu. Jako napájení slouží Li-Ion akumulátor NP-FH50 se kterým může fotoaparát na jedno nabití zhotovit až 303 snímků. (46)

3.3 Získání dat pro výpočet

3.3.1 Sběr dat pro určení plynulosti a intenzity provozu

Pro výpočty v programu MEFA 13, tedy pro výpočet – vygenerování emisí pro jednotlivá vozidla, je třeba získat hodnoty průměrné rychlosti provozu a dále je třeba určit plynulost provozu na vybraných úsecích dopravní trasy.

Podle uživatelské příručky k programu MEFA 13 je možné zadat hodnoty plynulosti na stupnici 1 – 10, přičemž 1 je hodnota pro naprosto plynulý provoz, 10 je pro provoz téměř stagnující.

Hodnota 1 odpovídá plynulému provozu na komunikacích v extravilánu. Plynulému provozu v městských částech, kde vozidla občas zastavují na křižovatkách, odpovídají hodnoty 2 – 3. Při častém popojíždění v kolonách, v takzvaném režimu „Stop and Go“, se použijí hodnoty plynulosti 8 – 9. Pro výjimečné případy velmi neplynulého provozu, hraničící s kongescí, se volí hodnota 10. (18)

Zjištění plynulosti dopravy bylo subjektivně vyhodnoceno poté, co jsem se s vlastním automobilem zúčastnil dopravní situace na každém vybraném úseku. Zároveň byly z palubního počítače automobilu odečteny hodnoty průměrných rychlostí.

Intenzita dopravy na zvolených dopravních úsecích, resp. počet automobilů, které po nich projedou v určitém časovém intervalu, byla stanovena na základě analýzy videozáznamů z těchto dopravních úseků. Byla stanovena jako součet zaznamenaných hodnot, tedy součet zaznamenaného počtu v jednotlivých kategoriích vozidel za součet časů všech záznamů. Vždy pro každý dopravní úsek.

3.3.2 Stanovení druhu vozidel

Pro výpočet v programu MEFA 13 bylo nutné stanovit počet a druh vozidel pohybujících se na vybraném dopravním úseku. Tedy stanovit vozový park a jeho vlastnosti. Především zjištění zastoupení EURO emisních kategorií vozidel vozového parku. Dle zadání této diplomové práce se jednalo o stanovení pouze osobních vozidel.

Získání takových dat bylo dosaženo analýzou videozáznamů, které byly pořízeny fotoaparátem SONY DSC – HX 100 V na stativu (v režimu nahrávání audio-videozáznamu). Každé osobní vozidlo zaznamenané na videu bylo podrobena zjištění, jaký druh paliva spotřebovává, od kterého výrobce pochází, do které modelové řady přísluší a o kterou modelovou verzi či její úpravu (takzvaný facelift) se jedná.

Na základě těchto informací bylo podle produktových katalogů výrobců automobilů a případně jiných pramenů určeno, do kterých „věkových“ skupin modelové řady vozidel (dle rozsahu let výroby) daná vozidla náleží, přičemž obvykle verze modelů a jejich věkové zařazení (dle let výroby) odpovídá jisté emisní normě EURO (dle data současně platného typového schválení).

Výsledky analýzy byly použity pro tvorbu skladby vozového parku. Následně byly použity pro výpočet produkce emisí pro jednotlivě zastoupené emisní kategorie

vozidel a dle paliva. Programem MEFA 13 vygenerované hodnoty emisních faktorů byly pro jednotlivé emisní kategorie a jednotlivá paliva vynásobeny v závislosti na četnosti jejich výskytu ve vozovém parku.

3.4 Výběr úseků dopravní trasy

3.4.1 Pozemní komunikace – místní komunikace

Rozdělení komunikací

Podle zákona č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích, část první, § 6 Místní komunikace, je v prvním odstavci definována místní komunikace jako „...veřejně přístupná pozemní komunikace, která slouží převážně místní dopravě na území obce.“ (77)

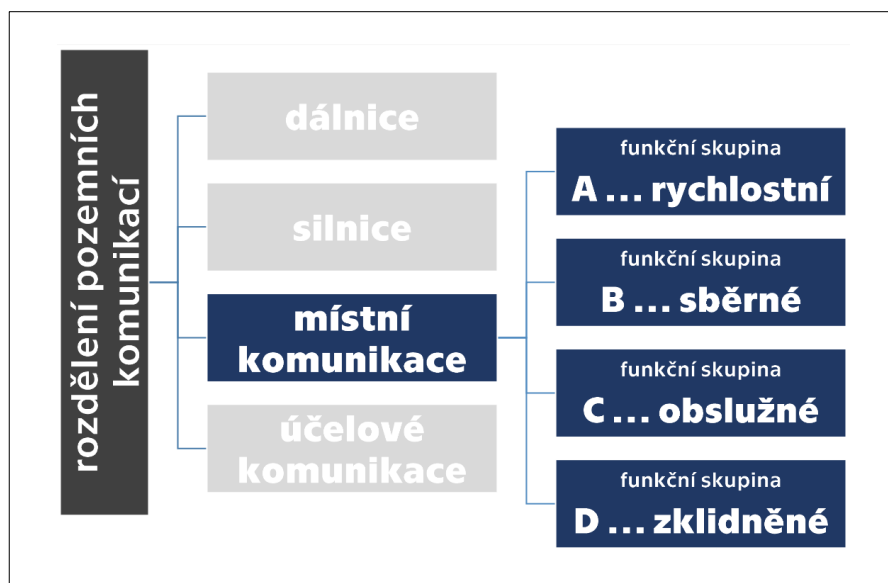
Dle druhého odstavce se místní komunikace rozdělují do tříd podle dopravního významu, určení a stavebně-technického vybavení. Třídy jsou čtyři:

- A) místní komunikace I. třídy, rychlostní komunikace
- B) místní komunikace II. třídy, kterou je dopravně významná sběrná komunikace s omezením přímého připojení sousedních nemovitostí
- C) místní komunikace III. třídy, kterou je obslužná komunikace
- D) místní komunikace IV. třídy, kterou je komunikace nepřístupná provozu silničních motorových vozidel, nebo na které je umožněn smíšený provoz.

(77)

Viz následující obrázek 25, schematicky zobrazující rozdělení pozemních komunikací.

Třídy (skupiny) se dále dělí do podskupin. Skupina A – podskupiny A1, A2, skupina B – podskupiny B1, B, skupina C – podskupiny C1, C2, C3, a skupina D – podskupiny D1, D2 a D3. (14)



Obrázek 25 - Rozdělení pozemních komunikací (14)

3.4.2 Vybrané dopravní trasy a úseky

Pro svou diplomovou práci jsem vybral úseky na třech dopravních trasách – pozemních komunikacích. Na těchto dopravních trasách probíhá doprava v převážné míře osobními automobily. Zvolené úseky, především jejich bezprostřední okolí, je vystaveno škodlivým vlivům emisí vyprodukovaných automobily, které se po nich pohybují. Vybral jsem dopravní trasy, které osobně využívám k dopravě, a tudíž jejich charakter znám. Jednalo se se o pozemní komunikace ulice Pekárenská, ulice Ledenická a Rudolfovska třída. Jsou to místní komunikace na území města České Budějovice.

Zvolené úseky dopravní trasy se nacházejí na místních komunikacích, které náleží do skupiny C, III. třídy – obslužné komunikace. Tomuto zařazení odpovídají:

- C1: městské třídy převážně společenského významu, ve stávající zástavbě, plnící funkci obslužné osy městských útvarů,
- C2: obslužné komunikace, které doplňují spojení sběrných komunikací ve stávající i nové zástavbě.

Doprava, která na těchto vybraných komunikacích probíhá, má charakter obslužný, ale vzhledem k propojení přilehlých obcí i sběrný. Jsou to ulice Rudolfovska třída a ulice Ledenická. Ulice Pekárenská pak funguje jako propojovací komunikace mezi dvěma velkými sběrnými průtahy městem České Budějovice.

Především ve všední dny se po vybraných komunikacích dopravují ve vozidlech cestující, respektive jejich řidiči, a to z domovů na místních sídlištích a obytných čtvrtích, ale i z přilehlých nebo vzdálenějších měst a obcí. Dojíždějí do zaměstnání – případně využívají tyto trasy pro dopravu během služebních cest (například řemeslníci), dojíždějí do obchodů a nákupních center, vozí své děti do škol a na volnočasové aktivity atd. Nejvytíženější jsou tyto trasy v ranních hodinách (doprava do zaměstnání a do škol, dojezd k zákazníkovi) a v pozdějších odpoledních hodinách po skončení pracovní doby a vyučování ve školách kolem 15. až 18. hodiny (vzvedávání dětí ze škol, dojezd na nákupy, návrat do domovů).

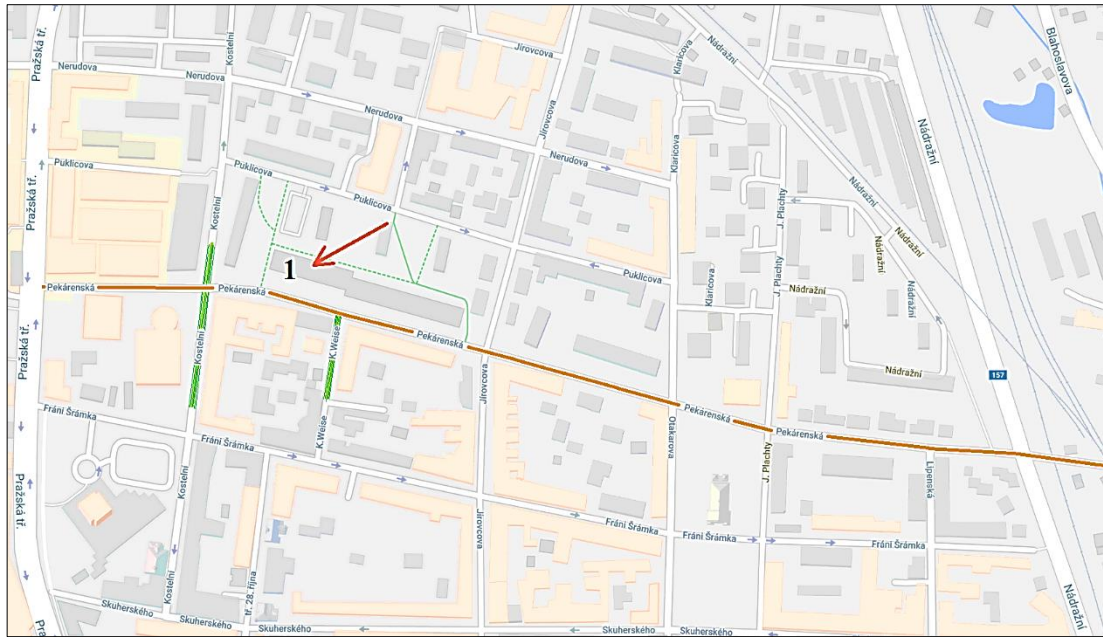
Na každé zvolené dopravní trase byl pro potřeby výzkumu vybrán jeden krátký úsek (v rozmezí 120 až 130 m), na němž byla sledována dopravní situace a podle pořízených videozáznamů byl stanoven vozový park pro každý úsek. (Foto ze sledovaných úseků – umístění fotoaparátu viz přílohy).

Následné výpočty programem MEFA 13, pro zjištění produkce emisních látek z průjezdu vozidel, byly stanoveny pro dané sledované úseky.

3.4.3 Popis vybraných dopravních tras a zvolených úseků

Pozemní komunikace **Pekárenská ulice** (viz mapa – obrázek 26, s šipkou označeným místem pozorovaného úseku 1) se nachází blízko městského centra a spojuje dvě sběrné komunikace – ulici Pražská třída a ulici Nádražní třída, dvě velké dopravní tepny Českých Budějovic. Pekárenská ulice prochází sídlištním celkem, navazují na ni postranní komunikace, a je využívána pro příjezd k obchodnímu a společenskému centru IGY (nároží Pekárenské ulice a Pražské třídy) a k obchodnímu řetězci Supermarket Billa. Pekárenská ulice ještě pokračuje do průmyslové zóny (na východ) za železniční tratí (ve směru České Budějovice – Praha). Zde se kříží s novou úrovní komunikací, zvanou „zanádražní“ (ulice Blahoslavova – Vodní).

Dle posledního celostátního sčítání dopravy z roku 2016 je průměrná denní průjezdnost na této komunikaci 6 186 osobních vozidel za 24 hodin. Průjezdnost všech kategorií vozidel představuje 6 769 vozidel za 24 hodin. (69)



Obrázek 26 - Místní komunikace Pekařenská ulice (71)

Úsek 1, Pekařenská ulice /Kostelní – K. Weise/, 120 m

Nachází se na pozemní komunikaci Pekařenská ulice. Tento sledovaný úsek je vymezen dvěma úrovněmi křižovatkami s postranními ulicemi Kostelní a K. Weise (Karla Weise). Viz mapa – obrázek 27. Tento úsek je dlouhý 120 m (± 1 m). Podélný sklon vozovky je nulový, je vodorovná. Povrch je asfaltový. Povolená rychlost jízdy je zde stanovena zákonem na $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Průměrná rychlost dopravy se v tomto úseku pohybovala okolo $37 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, v závislosti na stylu jízdy jednotlivých řidičů. Vzhledem k umístění přechodů pro chodce, k poloze úseku blízko obchodního centra IGY a tedy ke zvýšenému pohybu chodců na tomto úseku, zde většina řidičů volí pomalejší opatrnou jízdu.

Koridor tohoto vybraného úseku tvoří po obou stranách obytná zástavba patrových domů a panelových domů. Hlavní dopravní prostor tvoří dvouproutá vozovka s obousměrným provozem, k jejíž severní straně je připojen prostor pro šikmé parkování vozidel. Tento prostor je vyhrazen především pro obyvatele panelového komplexu.

Těsně k tomuto parkovacímu prostoru přiléhá přidružený prostor s chodníkem pro pěší a na něj navazuje (směrem k zástavbě) pás městské vegetace s travním

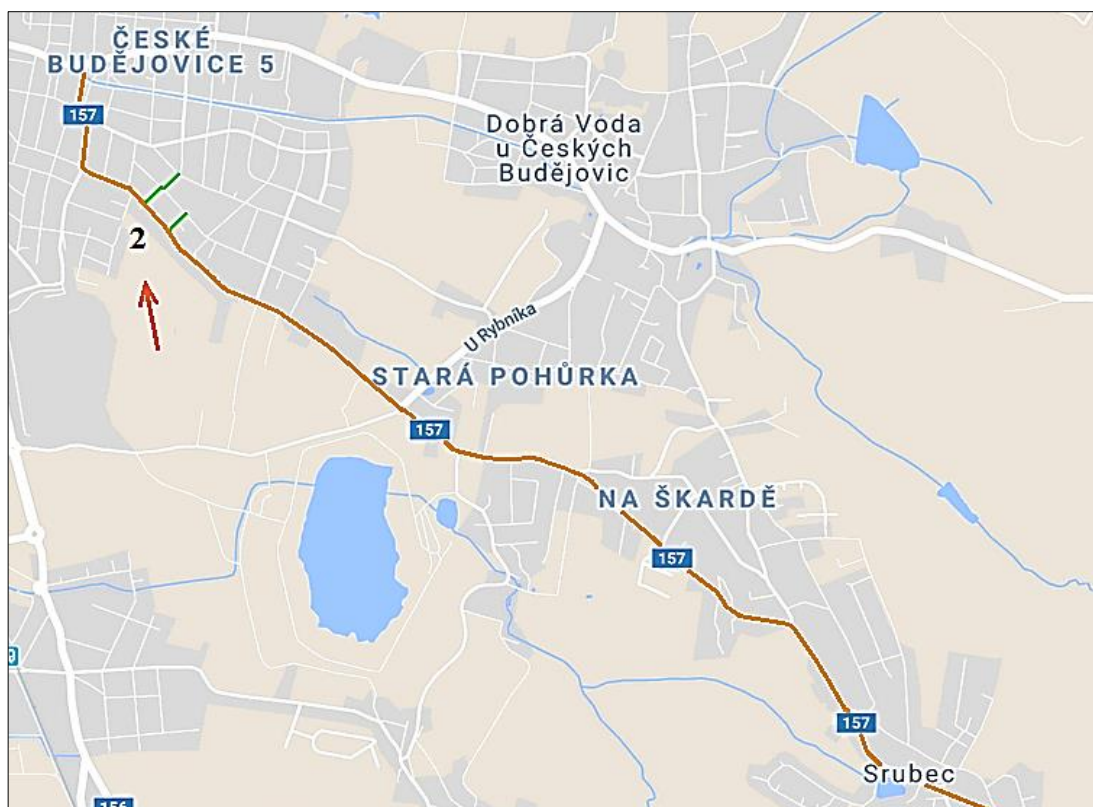
porostem a s alejí bříz a keři. Na jižní straně přiléhají k vozovce nesouvislé úzké travní pásy (oddělené obrubníky) a těsně za nimi přiléhá k obytným domům chodník pro pěší. V těsné blízkosti křižovatky Pekárenské a Kostelní ulice se nachází obchodní a společenské centrum IGY.



Obrázek 27 - Úsek 1, Pekárenská ulice /Kostelní – K. Weise/, 120 m (62)

Ulice Ledenická (silnice 157) (viz mapa – obrázek 28, s šipkou vyznačeným místem pozorovaného úseku 2) je propojovací pozemní komunikací mezi okrajovými částmi města České Budějovice. Z městské části Suché Vrbné – České Budějovice 5 se propojuje s obcí Srubec a jejími přilehlými částmi Stará Pohůrka a Na Škardě, pro které funguje jako sběrně-obslužná trasa pro dopravu do Českých Budějovic. Z obce Srubec pokračuje ulice Ledenická kolem obcí Zborov, Ohrazení a Ohrazeníčko, až do městyse Ledenice. Odtud na ní navazuje komunikace z města Borovany.

Dle posledního celostátního sčítání dopravy z roku 2016 je průměrná denní průjezdnost na této komunikaci 5 954 osobních vozidel za 24 hodin. Průjezdnost všech kategorií vozidel představuje 6 730 vozidel za 24 hodin. (69)



Obrázek 28 - Místní komunikace (č. 157) Ledenická ulice (71)

Úsek 2, Ledenická ulice /Otakara Ševčíka – Želivského/, 120 m

Úsek se nachází v okrajové části obytné zástavby městské části Suché Vrbné – České Budějovice 5 na pozemní komunikaci Ledenická ulice. 120 m (± 1 m) dlouhý úsek je vymezen dvěma úroňovými křižovatkami s kolmo navazujícími postranními ulicemi (od severu). Jedná se o ulice Otakara Ševčíka a Želivského. Viz mapa – obrázek 29. V tomto úseku je vozovka vodorovná, má nulový podélný sklon. Povolená rychlost jízdy je zde stanovena zákonem na $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Průměrná rychlost dopravy se v tomto úseku pohybovala okolo $48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, v závislosti na stylu jízdy jednotlivých řidičů.

Koridor kolem komunikace tvoří zástavba rodinných domů se zahradami. Hlavní dopravní prostor tvoří dvouproudá vozovka s obousměrným provozem. Má asfaltový povrch. Podél vozovky jsou chodníky pro pěší, oddělené od ní úzkými travnatými pásy, které jsou přerušované nájezdy či sjezdy k branám do dvorů a zahrad domů a do garáží.

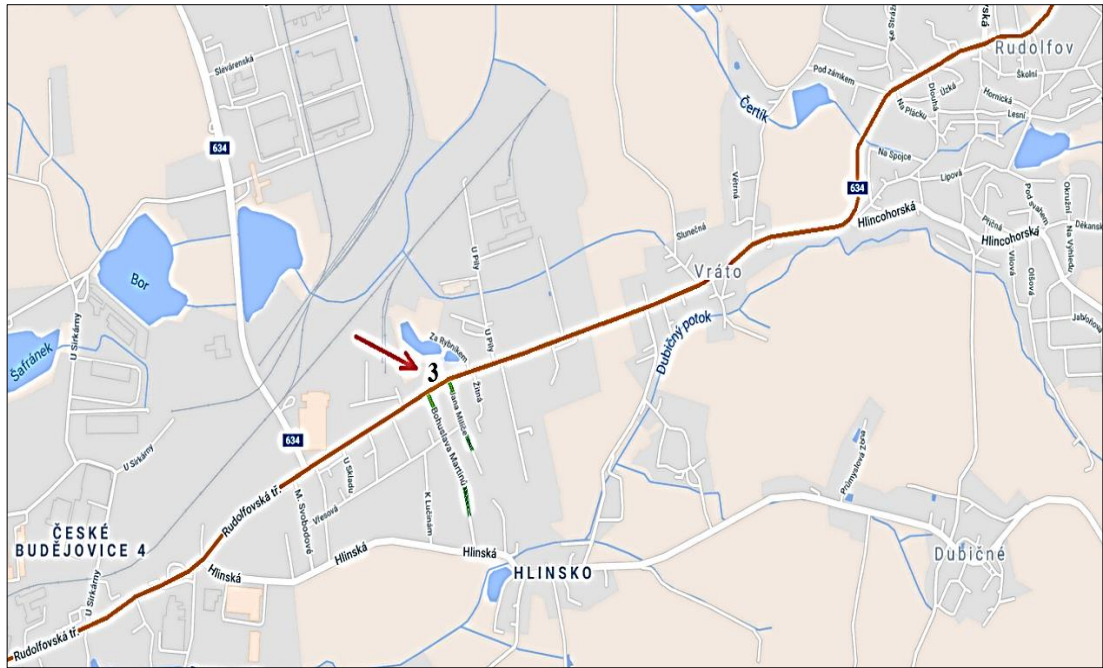


Obrázek 29 - Úsek 2, Lednická ulice /Otakara Ševčíka – Želivského/, 120 m

(63)

Rudolfovská třída (silnice 634 – 157) (viz mapa – obrázek 30, s vyznačeným místem pozorovaného úseku 3) tvoří hlavní spoj mezi městem České Budějovice, obcí Vráto a městem Rudolfov. Komunikace z Rudolfova dále pokračuje do sousedního města Lišov a dále do města Třeboň. Na Rudolfovskou třídu navazují postranní obslužné komunikace z přilehlých zástaveb a malých okolních obcí. Je tedy sběrně-obslužnou trasou pro dopravu do Českých Budějovic.

Podle posledního celostátního sčítání dopravy z roku 2016 je průměrná denní průjezdnost na této komunikaci 10 073 osobních vozidel za 24 hodin. Průjezdnost všech kategorií vozidel představuje 12 066 vozidel za 24 hodin. (69)



Obrázek 30 - Místní komunikace (č. 634) Rudolfová třída (71)

Úsek 3, Rudolfová třída /K Lučinám – B. Martinů/, 130 m

Úsek této dopravní trasy se nachází v okrajové městské části Českých Budějovic, České Budějovice 4 – Nové Vrátů, na pozemní komunikaci Rudolfová třída. Sledovaný úsek je dlouhý 130 m (± 1 m) a vymezují jej úrovně křižovatky s postranními ulicemi K Lučinám a B. Martinů (Bohuslava Martinů), které se připojují od jihu. Viz mapa – obrázek 31.

Budovy obytné i komerční (prodejny, hostince) v těsné blízkosti komunikace tvoří koridor. Hlavní dopravní prostor tvoří dvouprúdová asfaltová vozovka s obousměrným provozem. Podél vozovky jsou v obou směrech připojeny prostory pro podélné parkování vozidel. Podél těsně přiléhajících budov vedou po obou stranách chodníky pro pěší (bez oddělení travnatými pásy).



Obrázek 31 - Úsek 3, Rudolfovská třída /K Lučinám – B. Martinů/, 130 m (64)

V blízkosti sledovaného úseku komunikace (na severní straně) se nachází budova Základní školy a Mateřské školy T.G. Masaryka (viz popis v obrázku). V jejím popředí se nachází malý park tvořený travním porostem a jen několika málo listnatými a jehličnatými stromy a pásem keřů.

Povolená rychlost jízdy je v tomto úseku stanovena zákonem na $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Průměrná rychlost dopravy se pohybovala okolo $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (v závislosti na stylu jízdy jednotlivých řidičů), to znamená, že byl rychlostní limit překračován, a to i vzhledem k poloze poblíž školy a blízkosti přechodu pro chodce (přímo před školou). Hrozí zde nebezpečí střetu chodců (především dětí) s vozidly. Nutno ale uznat, že úsek je naštěstí dobře přehledný pro řidiče i chodce.

3.5 Analýza videozáznamů – určení skladby vozového parku

Na každém z vybraných úseků (viz předchozí popisy) byla sledována dopravní situace a byl pořízen 60minutový videozáznam průjezdu vozidel. Videozáznamy byly pořízeny v odpoledních hodinách okolo 15 – 16 hodin, tedy v období, kdy se nárůst intenzity dopravy začíná přibližovat k vrcholu. Následnou analýzou záznamů byla stanovena skladba vozového parku na každém úseku.

Každé osobní vozidlo zaznamenané na videu bylo podrobena zjištění, jaký druh paliva spotřebovává, od kterého výrobce pochází, do které modelové řady přísluší a o kterou modelovou verzi či její úpravu (takzvaný facelift) se jedná.

Na základě těchto informací bylo podle produktových katalogů výrobců automobilů a případně jiných pramenů určeno, do kterých „věkových“ skupin modelové řady vozidel (dle rozsahu let výroby) daná vozidla náleží, přičemž obvykle verze modelů a jejich věkové zařazení (dle let výroby) odpovídá jisté emisní normě EURO (dle data současně platného typového schválení).

3.5.1 Vozový park - Úsek 1 (Pekárenská ulice)

Videozáznam na tomto úseku byl pořízen dne 19. března 2019 (15.04 hod.). Z videozáznamu byly analyzovány průjezdy osobních vozidel. Každé zaznamenané osobní vozidlo bylo podrobena analýze a bylo zařazeno do emisní kategorie EURO a kategorie dle spotřebovávaného paliva.

Na tomto úseku se během 60minutového intervalu pohybovala následující skladba vozidel (viz tabulka 3):

Tabulka 3 - Vozový park (Pekárenská ul.) – počet vozidel za 60 minut

Palivo	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Celkem
BA	6	35	123	96	54	61	827 vozidel
NM	5	31	84	99	162	66	
LPG/CNG	-	2	-	-	2	1	

Tabulka zobrazuje rozdělení projetých osobních vozidel dle paliva (benzin – BA, nafta – NM, plynná paliva – LPG/CNG), a dle emisních kategorií EURO 1 – 6.

Automobily projížděly plynule, na sledovaném úseku není provoz řízený světelnými signály. Jen výjimečně vozidla zpomalila, či krátce zastavila před přechodem pro chodce. Plynulost provozu (dle metodiky programu MEFA 13) jsem určil na hodnotu 2.

3.5.2 Vozový park – Úsek 2 (Ledenická ulice)

Videozáznam byl na tomto úseku pořízen 21. března 2019 (15.00 hod.). Z 60minutového videozáznamu byly analyzovány průjezdy osobních vozidel, viz následující tabulka 4. Každé zaznamenané osobní vozidlo bylo podrobena analýze a bylo zařazeno do emisní kategorie EURO a kategorie dle spotřebovávaného paliva.

Tabulka 4 - Vozový park (Ledenická ul.) – počet vozidel za 60 minut

Palivo	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Celkem
BA	5	11	35	32	52	43	402 vozidel
NM	6	19	51	64	49	31	
LPG/CNG	-	1	2	-	1	-	

V úseku automobily projížděly plynule, provoz zde není řízen světelnými signály. Plynulost provozu (dle metodiky programu MEFA 13) jsem určil na hodnotu 1.

3.5.3 Vozový park – Úsek 3 (Rudolfovská třída)

60minutový videozáznam byl na třetím úseku pořízen dne 20. března 2019 (15.01 hodin). Analyzované průjezdy vozidel v tomto úseku byly následující (viz tabulka 5). Automobily projížděly plynulou jízdou, sledovaný úsek není řízen světelnými signály. Dle metodiky programu MEFA 13 jsem určil plynulost provozu na hodnotu 1.

Tabulka 5 - Vozový park (Rudolfovská tř.) – počet vozidel za 60 minut

Palivo	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Celkem
BA	8	41	47	126	111	61	1005 vozidel
NM	2	28	62	163	203	144	
LPG/CNG	-	2	4	-	2	1	

3.6 Výpočet produkce emisních látek z výfuků jednotlivých vozidel

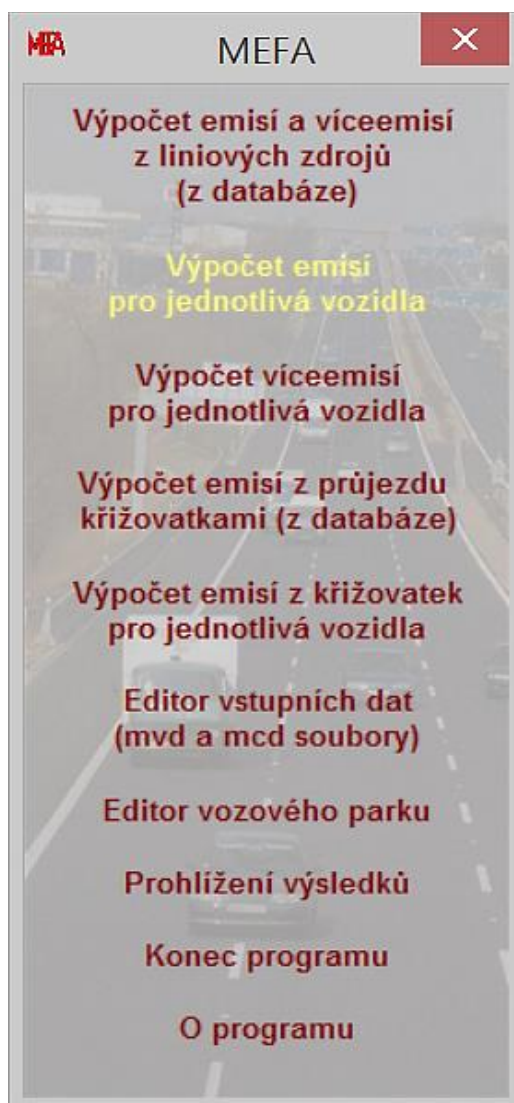
Na základě zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, § 4 odst. 2, a vyhlášky č. 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, § 3 odst. 5, se namísto měření emisí provádí zjišťování úrovně emisí z výfuku výpočtem. Podle § 12 odst. 1 písm. b) se k výpočtu použijí emisní faktory.

Emisní faktory jsou hodnoty, které jsou závislé na kategorii vozidla (osobní automobil, lehký nákladní automobil, těžký nákladní automobil, autobus), na roku výroby vozidla (podle toho emisní limity EURO), a na jízdních podmínkách (rychlost jízdy, jízda do svahu, zatížení nákladního prostoru – pro nákladní automobily) v místě, ve kterém jsou emise z výfuků vozidel zjišťovány. Použitím výše uvedených hodnot (emisních faktorů) byly programem MEFA 13 vypočteny – vygenerovány produkce emisních látek z výfuků osobních vozidel. Program vygeneroval 18 emisních látek. Z nich bylo vybráno deset nejškodlivějších emisních látek – složek výfukových plynů.

Jednalo se o tyto látky:

- oxid uhelnatý (CO)
- oxid siřičitý (SO₂)
- oxidy dusíku (NO_x)
- oxid dusičitý (NO₂)
- pevné částice PM
- pevné částice frakce do 10 μm – PM₁₀
- pevné částice frakce do 2,5 μm – PM_{2,5}
- uhlovodíky (C_xH_y)
- nonmetanové uhlovodíky NMHC – těkavé organické látky (VOC)
- benzo[a]pyren (C₂₀H₁₂).

Výpočty byly v programu MEFA 13 provedeny vždy pro jedno vozidlo, pro jednu palivovou skupinu a pro jednu emisní kategorii EURO. Program zahrnuje faktor stáří vozidla (hodnota „Výpočtový rok“) – byl zvolen aktuální rok 2019. Možnost výpočtu pro jednotlivé vozidlo umožňuje užití právě volně stažitelné demoverze tohoto programu. Do vstupních hodnot programu MEFA 13 byly jednotlivě zadány hodnoty Výpočtový rok – 2019; Kategorie vozidla – Osobní; Palivo – Benzin/Nafta/LPG/CNG; Emisní úroveň – Euro (1 – 6); Plynulost provozu – (1 – 10); Rychlost jízdy (km/h). Volbou tlačítka „Výpočet faktoru“ provede program výpočet množství emitovaných látek. Viz obrázek 32 a obrázek 33.



Obrázek 32 - Úvodní okno programu MEFA 13 – hlavní nabídka

(vlastní foto)

MEFA - emisní faktory pro motorová vozidla

Program Editovat Nápověda

Výpočtový rok: 2019

Kategorie vozidla: Osobní

Charakteristika vozidla

Palivo: Benzin

Emisní úroveň: Euro 1

Charakteristika podmínek provozu

Plynulost provozu: 2

Podélný sklon vozovky (%): 0

Rychlost jízdy (km/h): 37

rychlost vozidla je 130 km/h.

Emitovaná škodlivina	Emisní faktor
NOx (g/km)	1.1034
CO (g/km)	1.1116
SO2 (g/km)	0.0055
PM (g/km)	0.0290
PM10 (g/km)	0.0228
PM2.5 (g/km)	0.0126
NO2 (g/km)	0.0552
CxHy (g/km)	0.2771
PAH (g/km)	0.0011
methan (g/km)	0.0550
propan (g/km)	0.0012
1,3-butadien (g/km)	0.0007
benzen (g/km)	0.0104
toluen (g/km)	0.0367
styren (g/km)	0.0030
formaldehyd (g/km)	0.0020
acetaldehyd (g/km)	0.0012
benzoapyren (µg/km)	4.1137

<< Zpět

Výpočet faktoru

Obrázek 33 - Příklad zadání vstupních hodnot do programu a vygenerované hodnoty pro benzinová vozidla v úseku 1, emisní kategorie EURO 1 (plynulost provozu 2, průměrná rychlost jízdy $37 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) (vlastní foto)

Vygenerované hodnoty množství vyprodukovaných emisí byly následně pro každý úsek vynásobeny počtem vozidel v dané emisní kategorii a palivové skupině (podle skladby vozového parku daného úseku). Nutno vytknout, že výpočty emisí z provozu vozidel na plynná paliva (LPG/CNG) umožňuje program MEFA 13 jen do emisní kategorie EURO 4, proto i pro další emisní kategorie (EURO 5, 6) byly uvažovány hodnoty z kategorie EURO 4. Hodnoty produkce emisních látek jsou programem udávány v gramech na ujetý kilometr ($\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$) – kromě benzo[a]pyrenu, který program udává v $\mu\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$ (s tím uvažováno i ve výpočtech). Dále byly hodnoty vypočteny pro délku daného úseku dopravní trasy (produkce na dvou 120 m úsecích a na jednom 130 m úseku). Viz následující výpočtový vzorec A).

A) Vzorec – výpočet množství vyprodukovaných emisí na délce daného úseku a z počtu vozidel dle skladby vozového parku (vlastní výpočet)

$$P_{\acute{u}} = P_1 \cdot n_{v\acute{u}} \cdot \frac{l_{\acute{u}}}{1000} \quad [\text{g}]$$

$P_{\acute{u}}$ – hodnota produkce emisní látky na délce úseku pro daný počet vozidel (dle skladby vozového parku na daném úseku) [g]

P_1 – hodnota produkce emisní látky pro jedno vozidlo vygenerovaná programem MEFA 13 (pro jednotlivé emisní kategorie a palivo) [$\text{g} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{ks}^{-1}$]

$n_{v\acute{u}}$ – počet vozidel v dané emisní kategorii a palivové skupině produkce (dle skladby vozového parku na daném úseku) [ks]

$l_{\acute{u}}$ – délka daného úseku [m]

Vypočtené celkové hodnoty byly pro názornost ještě teoreticky vypočítány do delšího časového úseku (24 hodin), a to přímo úměrně podle průjezdu vozidel ve sledovaném úseku ku průměrnému dennímu průjezdu na dané komunikaci – hodnoty byly získány z ročního průměru denních intenzit dopravy dle celostátního sčítání dopravy Ředitelství silnic a dálnic ČR. Viz následující výpočtový vzorec B).

B) Vzorec – výpočet teoretického denního množství vyprodukovaných emisí v daném úseku (vlastní výpočet)

$$E_{\text{den}} = E_1 \cdot \frac{\varnothing D_{s\check{c}}}{P_{v\acute{u}} \cdot 24} \cdot t \quad [\text{g} \cdot 24\text{h}^{-1}]$$

E_{den} – produkce emisní látky v daném úseku za 24 hodin [$\text{g} \cdot 24\text{h}^{-1}$]

E_1 – celkové množství emisní látky na daném úseku za 60 minut (dle vozového parku na daném úseku) [$\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$]

$\varnothing D_{s\check{c}}$ – počet vozidel průměrného denního průjezdu na dané komunikaci (dle sčítání dopravy ŘSD ČR z roku 2016) [ks]

$P_{v\acute{u}}$ – celkový počet vozidel na daném úseku za 60 minut (dle vozového parku na daném úseku) [$\text{ks} \cdot \text{h}^{-1}$]

t – časový úsek [24h^{-1}]

3.7 Vypočtené hodnoty – Úsek 1 (Pekárenská ulice)

Tabulky 6, 7 a 8 zobrazují teoretické hodnoty produkce emisních látek pro jedno vozidlo na 1 km ujeté vzdálenosti, při průměrné rychlosti 37 km·h⁻¹ a plynulosti dopravy 2, vygenerované programem MEFA 13.

Tabulka 6 - Palivo BENZIN, vygenerované emise pro 1 vozidlo, 37 km·h⁻¹

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	μg·km ⁻¹
1	1,1116	0,0055	1,1034	0,0552	0,0290	0,0228	0,0126	0,2771	0,0011	4,1137
2	0,9799	0,0054	0,4873	0,0244	0,0288	0,0226	0,0124	0,1174	0,0011	4,1137
3	0,7482	0,0053	0,2312	0,0116	0,0286	0,0224	0,0122	0,0784	0,0011	4,1137
4	0,4048	0,0047	0,1473	0,0074	0,0279	0,0217	0,0116	0,0367	0,0011	4,1137
5	0,2740	0,0039	0,1241	0,0037	0,0278	0,0216	0,0115	0,0299	0,0011	4,1137
6	0,2944	0,0037	0,1127	0,0034	0,0278	0,0216	0,0115	0,0278	0,0011	4,1137

Tabulka 7 - Palivo NAFTA, vygenerované emise pro 1 vozidlo, 37 km·h⁻¹

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	μg·km ⁻¹
1	0,5292	0,0040	1,2892	0,1031	0,2000	0,1904	0,1527	0,1026	0,0041	4,8074
2	0,3127	0,0038	0,7535	0,0829	0,1128	0,1049	0,0811	0,0495	0,0041	4,8074
3	0,2673	0,0037	0,4471	0,1533	0,0634	0,0565	0,0407	0,0415	0,0041	4,8074
4	0,2567	0,0029	0,2763	0,1315	0,0498	0,0431	0,0295	0,0387	0,0041	4,8074
5	0,1868	0,0025	0,2648	0,0927	0,0304	0,0242	0,0136	0,0377	0,0041	4,8074
6	0,2471	0,0024	0,0969	0,0291	0,0300	0,0238	0,0133	0,0341	0,0041	4,8074

Tabulka 8 - Palivo LPG/CNG, vygenerované emise pro 1 vozidlo, 37 km·h⁻¹

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	μg·km ⁻¹
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1,0615	0,00	0,2227	0,0045	0,0279	0,0217	0,0117	0,2446	0,00	0,0439
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,4384	0,00	0,0673	0,0013	0,0279	0,0217	0,0117	0,1158	0,00	0,0439
6	0,4384	0,00	0,0673	0,0013	0,0279	0,0217	0,0117	0,1158	0,00	0,0439

Vozidla poháněná plynnými palivy LPG/CNG nebyla pro kategorie EURO 1, 3 a 4 ve vozovém parku v úseku 1 obsažena.

3.7.1 Výsledky – Vyprodukované emise v úseku 1 (Pekárenská ulice)

Hodnoty vyprodukovaných emisních látek (tabulky 10, 11 a 12) (použit vzorec A), dle počtu vozidel vozového parku (tabulka 9), na 120m úseku 1, v čase 60 minut.

Tabulka 9 - Vozový park (Pekárenská ul.) – počet vozidel za 60 minut

Palivo	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Celkem
BA	6	35	123	96	54	61	827 vozidel
NM	5	31	84	99	162	66	
LPG/CNG	-	2	-	-	2	1	

Tabulka 10 - Palivo BENZIN, vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g	g	g	g	g	g	g	g	g	µg
1	0,8004	0,0040	0,7944	0,0397	0,0209	0,0164	0,0091	0,1995	0,0008	2,9619
2	4,1156	0,0227	2,0467	0,1025	0,1210	0,0949	0,0521	0,4931	0,0046	17,2775
3	11,0434	0,0782	3,4125	0,1712	0,4221	0,3306	0,1801	1,1572	0,0162	60,7182
4	4,6633	0,0541	1,6969	0,0852	0,3214	0,2500	0,1336	0,4228	0,0127	47,3898
5	1,7755	0,0253	0,8042	0,0240	0,1801	0,1400	0,0745	0,1938	0,0071	26,6568
6	2,1550	0,0271	0,8250	0,0249	0,2035	0,1581	0,0842	0,2035	0,0081	30,1123
Celkem	24,5532	0,2114	9,5796	0,4476	1,2690	0,9900	0,5336	2,6698	0,0495	185,1165

Tabulka 11 - Palivo NAFTA, vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g	g	g	g	g	g	g	g	g	µg
1	0,3175	0,0024	0,7735	0,0619	0,1200	0,1142	0,0916	0,0616	0,0025	2,8844
2	1,1632	0,0141	2,8030	0,3084	0,4196	0,3902	0,3017	0,1841	0,0153	17,8835
3	2,6944	0,0373	4,5068	1,5453	0,6391	0,5695	0,4103	0,4183	0,0413	48,4586
4	3,0496	0,0345	3,2824	1,5622	0,5916	0,5120	0,3505	0,4598	0,0487	57,1119
5	3,6314	0,0486	5,1477	1,8021	0,5910	0,4704	0,2644	0,7329	0,0797	93,4559
6	1,9570	0,0190	0,7674	0,2305	0,2376	0,1885	0,1053	0,2701	0,0325	38,0746
Celkem	12,8132	0,1559	17,2809	5,5103	2,5989	2,2450	1,5237	2,1267	0,2199	257,8689

Tabulka 12 - Palivo LPG/CNG vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g	g	g	g	g	g	g	g	g	µg
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,2548	0,00	0,0534	0,0011	0,0067	0,0052	0,0028	0,0587	0,00	0,0105
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,1052	0,00	0,0162	0,0003	0,0067	0,0052	0,0028	0,0278	0,00	0,0105
6	0,0526	0,00	0,0081	0,0002	0,0033	0,0026	0,0014	0,0139	0,00	0,0053
Celkem	0,4126	0,00	0,0777	0,0015	0,0167	0,0130	0,0070	0,1004	0,00	0,0263

Celkové produkce emisí ze všech vozidel – součet hodnot z předchozích tabulek 10, 11 a 12 – na 120m úseku 1, v čase 60 minut, viz tabulka 13.

Tabulka 13 - Celkové vypočtené emise v úseku 1, 120 m, za 60 minut

LÁTKY	CO g	SO ₂ g	NO _x g	NO ₂ g	PM g	PM ₁₀ g	PM _{2,5} g	C _x H _y g	NMHC g	benzo[a]pyren µg
BA	24,5532	0,2114	9,5796	0,4476	1,2690	0,9900	0,5336	2,6698	0,0495	185,1165
NM	12,8132	0,1559	17,2809	5,5103	2,5989	2,2450	1,5237	2,1267	0,2199	257,8689
LPG/CNG	0,4126	0,00	0,0777	0,0015	0,0167	0,0130	0,0070	0,1004	0,00	0,0263
Celkem	37,7789	0,3673	26,9382	5,9594	3,8847	3,2480	2,0643	4,8969	0,2694	443,0117

Následující tabulka 14 zobrazuje hodnoty vypočtené celkové teoretické produkce emisí v tomto úseku komunikace za 24 hodin (viz výše uvedený výpočet vzorcem B), uvažujeme-li skladbu vozového parku z daného úseku a denní průměrnou průjezdnost 6186 osobních vozidel dle sčítání dopravy ŘSD ČR z roku 2016.

Tabulka 14 - Teoretická produkce emisí v úseku 1, 120 m, za 24 h

LÁTKY	CO g	SO ₂ g	NO _x g	NO ₂ g	PM g	PM ₁₀ g	PM _{2,5} g	C _x H _y g	NMHC g	benzo[a]pyren µg
za 24 h	282,588	2,7474	201,499	44,5766	29,0577	24,2952	15,4411	36,6291	2,0151	3313,7489

3.8 Vypočtené hodnoty – Úsek 2 (Ledenická ulice)

Tabulky 15, 16 a 17 zobrazují teoretické hodnoty produkce emisních látek pro jedno vozidlo na 1 km ujeté vzdálenosti, při průměrné rychlosti $48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a plynulosti dopravy 1, vygenerované programem MEFA 13.

Tabulka 15 - Palivo BENZIN, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	μg·km ⁻¹
1	0,8054	0,0045	0,9758	0,0488	0,0265	0,0206	0,0116	0,2230	0,0010	3,6910
2	0,7091	0,0044	0,4308	0,0215	0,0263	0,0204	0,0114	0,0957	0,0010	3,6910
3	0,5404	0,0043	0,2112	0,0106	0,0261	0,0202	0,0112	0,0633	0,0010	3,6910
4	0,2914	0,0038	0,1347	0,0067	0,0255	0,0196	0,0106	0,0295	0,0010	3,6910
5	0,1930	0,0032	0,1070	0,0032	0,0253	0,0195	0,0105	0,0230	0,0010	3,6910
6	0,1860	0,0030	0,0999	0,0030	0,0253	0,0195	0,0105	0,0213	0,0010	3,6910

Tabulka 16 - Palivo NAFTA, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	μg·km ⁻¹
1	0,3471	0,0032	1,0771	0,0862	0,2277	0,2178	0,1764	0,0767	0,0035	4,1559
2	0,2054	0,0031	0,6144	0,0676	0,1018	0,0944	0,0731	0,0372	0,0035	4,1559
3	0,1757	0,0030	0,3703	0,1270	0,0666	0,0599	0,0443	0,0325	0,0035	4,1559
4	0,1632	0,0023	0,2269	0,1080	0,0463	0,0401	0,0277	0,0295	0,0035	4,1559
5	0,1177	0,0021	0,2177	0,0762	0,0277	0,0218	0,0124	0,0288	0,0035	4,1559
6	0,1569	0,0020	0,0794	0,0238	0,0274	0,0215	0,0121	0,0260	0,0035	4,1559

Tabulka 17 - Palivo LPG/CNG, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	μg·km ⁻¹
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1,0472	0,00	0,1728	0,0035	0,0255	0,0196	0,0107	0,2185	0,00	0,0408
3	0,7980	0,00	0,0847	0,0017	0,0255	0,0196	0,0107	0,1446	0,00	0,0408
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,4303	0,00	0,0540	0,0011	0,0255	0,0196	0,0107	0,1019	0,00	0,0408
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Vozidla poháněná plynnými palivy LPG/CNG nebyla pro kategorie EURO 1, 4 a 6 ve vozovém parku v úseku 2 obsažena.

3.8.1 Výsledky – Vyprodukované emise v úseku 2 (Ledenická ulice)

Hodnoty vyprodukovaných emisních látek (tabulky 19, 20 a 21) (použit vzorec A), dle počtu vozidel vozového parku (tabulka 18), na 120m úseku 1, v čase 60 minut.

Tabulka 18 - Vozový park (Ledenická ul.) – počet vozidel za 60 minut

Palivo	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Celkem
BA	5	11	35	32	52	43	402 vozidel
NM	6	19	51	64	49	31	
LPG/CNG	-	1	2	-	1	-	

Tabulka 19 - Palivo BENZIN, vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g	g	g	g	g	g	g	g	g	µg
1	0,4832	0,0027	0,5855	0,0293	0,0159	0,0124	0,0070	0,1338	0,0006	2,2146
2	0,9360	0,0058	0,5687	0,0284	0,0347	0,0269	0,0150	0,1263	0,0013	4,8721
3	2,2697	0,0181	0,8870	0,0445	0,1096	0,0848	0,0470	0,2659	0,0042	15,5022
4	1,1190	0,0146	0,5172	0,0257	0,0979	0,0753	0,0407	0,1133	0,0038	14,1734
5	1,2043	0,0200	0,6677	0,0200	0,1579	0,1217	0,0655	0,1435	0,0062	23,0318
6	0,9598	0,0155	0,5155	0,0155	0,1305	0,1006	0,0542	0,1099	0,0052	19,0456
Celkem	6,9720	0,0766	3,7416	0,1634	0,5466	0,4217	0,2295	0,8927	0,0214	78,8398

Tabulka 20 - Palivo NAFTA, vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g	g	g	g	g	g	g	g	g	µg
1	0,2499	0,0023	0,7755	0,0621	0,1639	0,1568	0,1270	0,0552	0,0025	2,9922
2	0,4683	0,0071	1,4008	0,1541	0,2321	0,2152	0,1667	0,0848	0,0080	9,4755
3	1,0753	0,0184	2,2662	0,7772	0,4076	0,3666	0,2711	0,1989	0,0214	25,4341
4	1,2534	0,0177	1,7426	0,8294	0,3556	0,3080	0,2127	0,2266	0,0269	31,9173
5	0,6921	0,0123	1,2801	0,4481	0,1629	0,1282	0,0729	0,1693	0,0206	24,4367
6	0,5837	0,0074	0,2954	0,0885	0,1019	0,0800	0,0450	0,0967	0,0130	15,4599
Celkem	4,3226	0,0652	7,7606	2,3595	1,4240	1,2548	0,8955	0,8316	0,0924	109,7158

Tabulka 21 - Palivo LPG/CNG vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g	g	g	g	g	g	g	g	g	µg
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,1257	0,0000	0,0207	0,0004	0,0031	0,0024	0,0013	0,0262	0,0000	0,0049
3	0,1915	0,0000	0,0203	0,0004	0,0061	0,0047	0,0026	0,0347	0,0000	0,0098
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,0516	0,0000	0,0065	0,0001	0,0031	0,0024	0,0013	0,0122	0,0000	0,0049
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Celkem	0,3688	0,0000	0,0475	0,0010	0,0122	0,0094	0,0051	0,0732	0,0000	0,0196

Celkové produkce emisí ze všech vozidel – součet hodnot z předchozích tabulek 19, 20 a 21 – na 120m úseku 1, v čase 60 minut, viz tabulka 22.

Tabulka 22 - Celkové vypočtené emise v úseku 2, 120 m, za 60 minut

LÁTKY	CO g	SO ₂ g	NO _x g	NO ₂ g	PM g	PM ₁₀ g	PM _{2,5} g	C _x H _y g	NMHC g	benzo[a]pyren µg
BA	6,9720	0,0766	3,7416	0,1634	0,5466	0,4217	0,2295	0,8927	0,0214	78,8398
NM	4,3226	0,0652	7,7606	2,3595	1,4240	1,2548	0,8955	0,8316	0,0924	109,7158
LPG/CNG	0,3688	0,0000	0,0475	0,0010	0,0122	0,0094	0,0051	0,0732	0,0000	0,0196
Celkem	11,6634	0,1418	11,5497	2,5238	1,9828	1,6859	1,1300	1,7974	0,1138	188,5752

Následující tabulka 23 zobrazuje hodnoty vypočtené celkové teoretické produkce emisí v tomto úseku komunikace za 24 hodin (viz výše uvedený výpočet vzorcem B), uvažujeme-li skladbu vozového parku z daného úseku a denní průměrnou denní průjezdnost 5954 osobních vozidel dle sčítání dopravy ŘSD z roku 2016.

Tabulka 23 - Teoretická produkce emisí v úseku 2, 120 m, za 24 h

LÁTKY	CO g	SO ₂ g	NO _x g	NO ₂ g	PM g	PM ₁₀ g	PM _{2,5} g	C _x H _y g	NMHC g	benzo[a]pyren µg
za 24 h	172,746	2,1002	171,047	37,3798	29,3671	24,9698	16,7364	26,6212	1,6855	2792,9769

3.9 Vypočtené hodnoty – Úsek 3 (Rudolfovská třída)

Tabulky 24, 25 a 26 zobrazují teoretické hodnoty produkce emisních látek pro jedno vozidlo na 1 km ujeté vzdálenosti, při průměrné rychlosti $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a plynulosti dopravy 1, vygenerované programem MEFA 13.

Tabulka 24 - Palivo BENZIN, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	μg·km ⁻¹
1	0.7912	0.0044	0.9641	0.0482	0.0259	0.0202	0.0114	0.2167	0.0010	3.6863
2	0.6968	0.0043	0.4254	0.0213	0.0257	0.0199	0.0112	0.0932	0.0010	3.6863
3	0.5309	0.0042	0.2097	0.0105	0.0255	0.0197	0.0110	0.0616	0.0010	3.6863
4	0.2861	0.0037	0.1337	0.0067	0.0249	0.0191	0.0104	0.0286	0.0010	3.6863
5	0.1887	0.0031	0.1058	0.0032	0.0247	0.0190	0.0103	0.0223	0.0010	3.6863
6	0.1820	0.0029	0.0984	0.0030	0.0247	0.0190	0.0103	0.0206	0.0010	3.6863

Tabulka 25 - Palivo NAFTA, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	μg·km ⁻¹
1	0.3343	0.0032	1.0602	0.0848	0.2342	0.2243	0.1820	0.0736	0.0034	4.1282
2	0.1979	0.0030	0.6032	0.0664	0.1001	0.0928	0.0720	0.0357	0.0034	4.1282
3	0.1693	0.0029	0.3640	0.1249	0.0673	0.0607	0.0452	0.0314	0.0034	4.1282
4	0.1567	0.0023	0.2230	0.1061	0.0458	0.0397	0.0275	0.0284	0.0034	4.1282
5	0.1128	0.0020	0.2140	0.0749	0.0271	0.0213	0.0122	0.0277	0.0034	4.1282
6	0.1505	0.0020	0.0779	0.0234	0.0268	0.0210	0.0119	0.0250	0.0034	4.1282

Tabulka 26 - Palivo LPG/CNG, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	g·km ⁻¹	μg·km ⁻¹
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1.0867	0.0000	0.1667	0.0033	0.0249	0.0191	0.0104	0.2162	0.0000	0.0400
3	0.8280	0.0000	0.0822	0.0016	0.0249	0.0191	0.0104	0.1429	0.0000	0.0400
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.4463	0.0000	0.0524	0.0010	0.0249	0.0191	0.0104	0.1007	0.0000	0.0400
6	0.4463	0.0000	0.0524	0.0010	0.0249	0.0191	0.0104	0.1007	0.0000	0.0400

Vozidla poháněná plynnými palivy LPG/CNG nebyla pro kategorie EURO 1, a 4 ve vozovém parku v úseku 2 obsažena.

3.9.1 Výsledky – Vyprodukované emise v úseku 3 (Rudolfovská třída)

Hodnoty vyprodukovaných emisních látek (tabulky 28, 29 a 30) (použit vzorec A), dle počtu vozidel vozového parku (tabulka 27), na 130m úseku 1, v čase 60 minut.

Tabulka 27 - Vozový park (Rudolfovská tř.) – počet vozidel za 60 minut

Palivo	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Celkem
BA	8	41	47	126	111	61	1005 vozidel
NM	2	28	62	163	203	144	
LPG/CNG	-	2	4	-	2	1	

Tabulka 28 - Palivo BENZIN, vypočtené emise pro vozový park na úseku 130 m

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g	g	g	g	g	g	g	g	g	µg
1	0,8228	0,0046	1,0027	0,0501	0,0269	0,0210	0,0119	0,2254	0,0010	3,8338
2	3,7139	0,0229	2,2674	0,1135	0,1370	0,1061	0,0597	0,4968	0,0053	19,6480
3	3,2438	0,0257	1,2813	0,0642	0,1558	0,1204	0,0672	0,3764	0,0061	22,5233
4	4,6863	0,0606	2,1900	0,1097	0,4079	0,3129	0,1704	0,4685	0,0164	60,3816
5	2,7229	0,0447	1,5267	0,0462	0,3564	0,2742	0,1486	0,3218	0,0144	53,1933
6	1,4433	0,0230	0,7803	0,0238	0,1959	0,1507	0,0817	0,1634	0,0079	29,2324
Celkem	16,6331	0,1815	9,0483	0,4075	1,2799	0,9851	0,5394	2,0521	0,0512	188,8123

Tabulka 29 - Palivo NAFTA, vypočtené emise pro vozový park na úseku 130 m

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g	g	g	g	g	g	g	g	g	µg
1	0,0869	0,0008	0,2757	0,0220	0,0609	0,0583	0,0473	0,0191	0,0009	1,0733
2	0,7204	0,0109	2,1956	0,2417	0,3644	0,3378	0,2621	0,1299	0,0124	15,0266
3	1,3646	0,0234	2,9338	1,0067	0,5424	0,4892	0,3643	0,2531	0,0274	33,2733
4	3,3205	0,0487	4,7254	2,2483	0,9705	0,8412	0,5827	0,6018	0,0720	87,4766
5	2,9768	0,0528	5,6475	1,9766	0,7152	0,5621	0,3220	0,7310	0,0897	108,9432
6	2,8174	0,0374	1,4583	0,4380	0,5017	0,3931	0,2228	0,4680	0,0636	77,2799
Celkem	11,2865	0,1741	17,2363	5,9334	3,1551	2,6818	1,8012	2,2030	0,2661	323,0729

Tabulka 30 - Palivo LPG/CNG vypočtené emise pro vozový park na úseku 130 m

LÁTKY	CO	SO ₂	NO _x	NO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	C _x H _y	NMHC	benzo[a]pyren
EURO	g	g	g	g	g	g	g	g	g	µg
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,2825	0,00	0,0433	0,0009	0,0065	0,0050	0,0027	0,0562	0,00	0,0104
3	0,4306	0,00	0,0427	0,0008	0,0129	0,0099	0,0054	0,0743	0,00	0,0208
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,1160	0,00	0,0136	0,0003	0,0065	0,0050	0,0027	0,0262	0,00	0,0104
6	0,0580	0,00	0,0068	0,0001	0,0032	0,0025	0,0014	0,0131	0,00	0,0052
Celkem	0,8872	0,00	0,1065	0,0021	0,0291	0,0223	0,0122	0,1698	0,00	0,0468

Celkové produkce emisí ze všech vozidel – součet hodnot z předchozích tabulek 28, 29 a 30 – na 130m úseku 1, v čase 60 minut, viz tabulka 31.

Tabulka 31 - Celkové vypočtené emise v úseku 3, 130 m, za 60 minut

LÁTKY	CO g	SO ₂ g	NO _x g	NO ₂ g	PM g	PM ₁₀ g	PM _{2,5} g	C _x H _y g	NMHC g	benzo[a]pyren µg
BA	16,6331	0,1815	9,0483	0,4075	1,2799	0,9851	0,5394	2,0521	0,0512	188,8123
NM	11,2865	0,1741	17,2363	5,9334	3,1551	2,6818	1,8012	2,2030	0,2661	323,0729
LPG/CNG	0,8872	0,00	0,1065	0,0021	0,0291	0,0223	0,0122	0,1698	0,00	0,0468
Celkem	28,8067	0,3556	26,3911	6,3430	4,4641	3,6893	2,3528	4,4249	0,3173	511,9320

Následující tabulka 32 zobrazuje hodnoty vypočtené celkové teoretické produkce emisí v tomto úseku komunikace za 24 hodin (viz výše uvedený výpočet vzorcem B), uvažujeme-li skladbu vozového parku z daného úseku a denní průměrnou průjezdnost 10073 osobních vozidel dle sčítání dopravy ŘSD ČR z roku 2016.

Tabulka 32 - Teoretická produkce emisí v úseku 3, 130 m, za 24 h

LÁTKY	CO g	SO ₂ g	NO _x g	NO ₂ g	PM g	PM ₁₀ g	PM _{2,5} g	C _x H _y g	NMHC g	benzo[a]pyren µg
za 24 h	288,726	3,5641	264,515	63,5752	44,7432	36,9774	23,5818	44,3503	3,1803	5131,0359

4. Diskuse

Podle hodnot vygenerovaných programem MEFA 13 při identických podmínkách (rychlost jízdy, plynulost provozu, stoupání, palivo atd.) bez ohledu na emisní kategorii vozidel, respektive na použité zařízení pro úpravu spalin, produkují všechna vozidla (jedné palivové skupiny) stejné množství NMHC – nonmetanových uhlovodíků (těkavých organických látek – VOC), a také produkují stejné množství benzo[a]pyrenu. Například při rychlosti $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ je ze všech benzinových vozidel produkováno $0,0010 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$ NMHC a $3,6863 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$ benzo[a]pyrenu). Zatím neexistují technologie k redukcí těchto látek. Nejlepší, respektive nejčistější hodnoty produkce emisí vykazují vozidla poháněná plynnými palivy LPG a CNG. Jejich motory, ve srovnání s vozidly na benzin a motorovou naftu, produkují emisní látky v desetinásobně až tisícinásobně menším množství a některé emise vůbec neprodukují. Například oxid siřičitý (SO_2) či těkavé organické látky – VOC (NMHC).

Množství vypočtených produkcí emisí na sledovaných úsecích zřetelně dokazují, jak značně je okolí těchto úseků znečišťováno škodlivinami z automobilů. Z vypočtených produkcí emisí je patrné, že vozidla jich produkují tím větší množství, vzhledem k ujeté dráze, čím pomalejší a neplynulejší je jízda (viz výpočty pro jedno vozidlo – úsek 1, Pekárenská ulice), neboť nejsou plně a plynule využity výkony motorů vozidel. Motory častěji pracují při zařazeném nízkém převodu (více otáček motoru na kratší ujeté vzdálenosti), dále při častém vyřazování běží na volnoběh (při dojíždění kolon, při dojíždění pomalejších vozidel, zastavování na křižovatkách, před přechody pro chodce atd.), poté dochází k častějším rozjezdům, kdy motor běží ve zvýšených otáčkách při ujetí jen krátké vzdálenosti. Jedná se o nejméně efektivní jízdu. Velký vliv na plynulost jízdy má vhodné umístění přechodů pro chodce, umístění světelné signalizace a vůbec zvážení její nutnosti, zpomalovací prahy a body – rovněž zvážení opravdové nutnosti jejich instalace.

Naproti tomu v úsecích s plynulým provozem a vyššími rychlostmi je potenciál motorů mnohem lépe využit a produkce emisí, vzhledem k ujeté dráze, je nižší. Jednoduše lze říci, že čím dříve (čím rychleji) vozidla danou dráhu opustí, tím méně času budou mít k tomu, aby na této dráze produkovala škodlivé emise.

V případě úseku 1 na Pekárenské ulici jsou škodlivým vlivům emisí vystaveni především obyvatelé domů podél komunikace, škodliviny pronikají do interiérů budov, fasády a okna a střechy budov jsou znečišťovány a poškozovány, dále jsou

škodlivinám vystaveni chodci na veřejném prostranství kolem komunikace a také lidé navštěvující obchodní centrum IGY a další obchody. Emise jsou navíc zanášeny dále do okolní zástavby, kde se nacházejí také budovy základních a středních škol.

Okolí úseku 2 na Ledenické ulici je rovněž sužováno vlivem škodlivých látek, jejichž působením jsou poškozovány domy, zdraví obyvatel domů i rostliny v jejich zahradách. Naštěstí je tato okrajová část města vystavena častějšímu a silnějšímu proudění vzduchu, než například uzavřenější koridor úseku 1, a škodliviny tak jsou lépe rozředěny do ovzduší.

Koridor úseku 3 kolem Rudolfovské třídy trpí expozicí emisím nejvíce, a to v důsledku vyšší intenzity dopravy. Umístění budovy základní a mateřské školy poblíž této komunikace je dosti nevhodné. Především při suchém počasí v horkých letních dnech a také při inverzním počasí se prach a výfukové plyny z dopravy zvířením a působením proudění vzduchu vnáší do budov škol, ale i do malého parku za nimi, kde školní děti denně tráví několik hodin při tělesné výchově a při družinovém odpoledním programu. Situace je ale horší především před hlavním vchodem, umístěným směrem ke komunikaci. Obě školy jsem navštěvoval a dodnes si vzpomínám, jak byl vzduch před školou cítit zápachem spalin a zvířeným prachem od projíždějících vozidel. Situace se od té doby samozřejmě o něco zlepšila, neboť došlo k obměně vozového parku a novější vozidla již neprodukují škodlivé emise v tak velké míře, především díky používání zařízení pro úpravu spalin. Stále však není situace ideální, ovzduší je nadále zamořené toxickými a karcinogenními látkami.

I včetně všech výše uvedených negativ byla znečištění nejpatrnější přímo na vozovkách a na chodnicích pro chodce v jejich těsné blízkosti. Dále od vozovky se znečištění zdálo o něco slabší (pocitově lépe se dýchalo). Emise se při příznivých rozptylových podmínkách rychle rozředují do okolního vzduchu a stoupají vzhůru do atmosféry či klesají k povrchu vozovky

Při pořizování videozáznamů fotoaparátem na stativu jsem strávil několik hodin jen pár metrů od projíždějících vozidel. Vzduch byl v těchto místech hůře dýchatelný, bylo cítit především znečištění zvířeným prachem a typický dusivý zápach, který způsobují především oxidy dusíku (NO_x). Rovněž oděv jsem měl poté načichlý zápachem výfukových plynů.

Škodlivost působení emisí z výfuků automobilů je nesporná.

Z negativních dopadů automobilové dopravy je znečištěné ovzduší jedním z nejvíce vnímaných rizik pro lidské zdraví. Především v městských zástavbách, kde je intenzita dopravy velmi vysoká, je tento problém nejzřetelněji pozorován. Hlavní příčinou tvorby škodlivých emisí a jejich rozptylu do volného ovzduší je spalování fosilních paliv v motorech silničních vozidel.

Emisní zatížení z automobilové dopravy představuje dlouhodobě největší problém ochrany ovzduší měst a obcí České republiky. Limity emisní zátěže jsou plošně překračovány prakticky ve všech silněji dopravně zatížených oblastech – zejména ve městech, ale také v menších obcích podél hlavních dopravních tahů. (12)

Znečištěné ovzduší je prokázanou příčinou řad úmrtí a nemocí na celém světě. Například nemoci dýchacích cest (bronchitida, astma), rakovinná onemocnění respiračních orgánů, kardiovaskulární choroby, kožní záněty, alergie, ohrožení vývoje plodu, poškozování pohlavních buněk, genetické informace a další.

Podle studie čínských vědců má znečištění ovzduší negativní dopad na zhoršenou kvalitu lidského spermatu. Jednou z možností je, že se na hlavním vlivu podílí těžké kovy a polycyklické aromatické uhlovodíky, které mohou být na prachové částice vázány. Výsledky výzkumu dokázaly, že existuje silná úměrnost mezi vystavením jedinců vysoké úrovni znečištění jemnými prachovými částicemi (PM_{2,5}) a abnormálním tvarem spermií, což má značný dopad na plodnost a zdraví lidí. (53)

Ke stejným závěrům došly i výzkumy znečištění ovzduší v Teplicích již na konci 90. let minulého století a další lékařské výzkumy. (Například viz článek J. Rubeše a kol. Znečištění ovzduší a kvalita spermií, Časopis lékařů českých 2000, ročník 139, str. 174-176). (26)

Jak například uvádí Ing. Rudolf Mrzena: „*Lidské zdraví poškozují zejména prachové částice, těkavé organické látky, oxidy dusíku a přízemní ozón.*“ (20)

K šíření a transportu škodlivých látek do organismu dochází navázáním látek na pórovitý povrch prachových částic, které navíc působí škodlivě mechanickým zraňováním tkání. Na tomto faktu se shodují mnozí vědci a odborníci.

Například Doc. Ing. Vladimír Adamec, CSc. a kol. v publikaci Doprava, zdraví a životní prostředí uvádí, že „*Nebezpečnost PM nespočívá jen v jejich mechanických vlastnostech, ale především v obsahu rizikových organických (především PAH) nebo*

celé řady anorganických škodlivin jako např. molybden, měď, nikl, kadmium, platina....“ (1)

Ing. Ivo Celjak, CSc. uvádí v časopisu Komunální technika (článek Vozidla poháněná elektromotory mají budoucnost především ve větších městech): *„Podle svého složení a chemických látek, které jsou na něm zachycovány, má prach různé účinky. Může dráždit, způsobovat alergie nebo jiné závažnější obtíže, včetně negativního ovlivnění činnosti mozku.“ (3)*

Doc. Michal Vojtíšek, M.S., Ph.D., pedagog na fakultě strojní, ČVUT v Praze, ve své výukové prezentaci k předmětu Zkoušení vozidel a jejich částí (2015) uvádí: *„Částice a ozon v přízemních vrstvách atmosféry jsou příčinou cca 406 tisíc předčasných úmrtí v EU ročně.“ (32)*

RNDr. Bohumil Kotlík, Ph.D. (vedoucí Národní referenční laboratoře (NRL) pro vnitřní a venkovní ovzduší), ve svém příspěvku ke 2. schůzce Fóra kvality vnitřního prostředí a semináři projektu InAirQ SZÚ uvádí, že *„Znečištění ovzduší v ČR prachem – částicemi $< 10 \mu\text{m}$ (PM_{10} v roce 2015 = cca $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$) přispělo asi 4 800 předčasnými úmrtími a představuje pro každého z nás ročně ztrátu 5 až 6 dnů.“ (13)*

Na odborné konferenci EKOLOGIE 2018, konané 28. 4. 2018 v Praze, prezentoval MUDr. Radim J. Šrám, DrSc. svůj příspěvek Vliv znečištěného ovzduší na lidské zdraví, zkušenosti z Programu Teplice. V něm uvádí mnoho potvrzených skutečností vlivu znečištěného ovzduší na lidský organismus. Například vliv zvýšených koncentrací prachových částic $\text{PM}_{2,5}$ na centrální nervový systém způsobuje výskyt autismu, poruch kognitivních funkcí u dětí, onemocnění depresí, incidence demence, Parkinsonovy choroby, ovlivňují hladinu proteinu BDNF (brain-derived neurotrophic factor = mozkový neurotrofický faktor) – protein podněcující například růst mozkových buněk.

Expozice zvýšeným koncentracím polyaromatických uhlovodíků (PAU) ovlivňují koncentraci BDNF, redukuje bílou hmotu mozku, snižují kognitivní funkce u dětí a zvyšují výskyt ADHD (porucha pozornosti s hyperaktivitou). Zvýšená koncentrace benzo[a]pyrenu nad $1 \text{ ng}/\text{m}^3/\text{rok}^{-1}$ (standard EU) je dlouhodobě překračována u 50 % populace České republiky a lze proto zátěž populace benzo[a]pyrenem považovat za nejvýznamnější riziko znečištěného ovzduší. (29)

5. Závěr

Provedením výpočtů produkce emisí bylo zjištěno emisní zatížení sledovaných úseků dopravních tras. Například produkce velmi nebezpečné látky benzo[a]pyrenu jsou vysoké. Emisní látky produkované spalováním fosilních paliv v automobilových motorech jsou velkým zdrojem problémů znečištění životního prostředí a negativního vlivu na organismy, především na lidskou populaci.

Snižování produkce emisí je důležitou otázkou dnešní doby.

Světové organizace a vlády vyvinuly a stále vyvíjejí snahy o omezení, nejlépe však o úplné eliminování množství vypouštěných škodlivých látek do ovzduší zaváděním různých zákonných opatření a nařízení. V několika posledních desetiletích tak vznikly emisní limity a zákony o ochraně ovzduší. Především pro automobily byly zavedeny limity, které se více a více zpříšňovaly s postupem stále přesnějších zjištění lékařů a dalších odborníků o velikosti rozsahu negativního vlivu škodlivin na zdraví lidí a na stav životního prostředí. V návaznosti na dodržování těchto limitů byla vyvinuta a do automobilové praxe uvedena řada technických opatření, zařízení a systémů, jejichž účelem je snížení množství škodlivin ve výfukových plynech automobilů. Cílem je ochrana ovzduší před emitací – vnášením škodlivých znečišťujících látek do ovzduší, a tím i zlepšení kvality životního prostředí pro život lidí, zvířete a rostlin.

Pro evropské země, a především pro členské státy Evropské unie, byly vytvořeny závazné emisní limity – normy EURO, určené pro silniční motorová vozidla. Zatím posledními limity je norma EURO 6d-Temp, která (pro všechna nově vyrobená vozidla) vešla v platnost v září roku 2017, a norma EURO 6d, jež je již stanovena a pro nově vyráběné vozy začne platit v lednu roku 2020.

Tyto normy jsou považovány za již téměř nejnížší fyzicky možné s ohledem na technická opatření, kterými se výrobci automobilů snaží tyto limity dodržovat. Zdá se, že množství nutných technologií pro úpravu spalin umístěných na vozidlech jsou již nyní tak obsáhlé, nákladné a těžké, že jsou pro provoz vozidel, jejich spotřebu paliva a tudíž i množství produkovaných emisí spíše kontraproduktivní. Jednoduše řečeno s sebou vozidla musí vozit nadbytečnou zátěž. Rovněž i v továrnách při výrobě zařízení a systémů na úpravu spalin vznikají škodlivé emise.

Ke snížení produkce škodlivých emisí zpravidla nemůže dojít hned, a to kvůli obměně vozového parku. Ta také nemůže nastat ihned. Rovněž snaha zavést nařízení pro okamžitou eliminaci vozidel plnicích horší emisní limity, by se zřejmě neobešla bez silného odporu. Majitelům starších vozidel, plnicích méně přísné emisní limity, totiž patrně nikdo nenabídne prostředky k pořízení nového, emisně čistšího vozidla. A může se téměř s jistotou říci, že pokud by takoví řidiči dostatečné finanční prostředky měli, jistě by si novější vozidlo již pořídili. Zatím tak lze snad pouze čekat, až tato starší vozidla postupně zaniknou v důsledku již špatného technického stavu.

Budoucností bezemisní vozidlové dopravy se tak může jevit doprava vozidly poháněnými elektrickou energií, která se již nyní pomalu vzmáhá, nebo přechod od používání konvenčních fosilních paliv (benzin, nafta) na paliva čistší. Například stlačený zemní plyn, plyn vyrobený z biomasy nebo vodík.

6. Seznam použitých informačních zdrojů

Literatura

- (1) ADAMEC, Vladimír, Ivo DOSTÁL, Jiří DUFEK, Petra DVOŘÁKOVÁ, Rudolf CHOLAVA, Jiří JEDLIČKA, Roman LIČBINSKÝ, Vojtěch MÁCA, Alexandr PEŠÁK, Monika SCHWARZOVÁ, a Petr SMÉKAL. *Doprava, zdraví a životní prostředí*. První vydání. Praha: GRADA, 2008. ISBN 978-80-247-2156-9.
- (2) CELJAK, Ivo. Ovlivnění řidičů emisemi prachových částic v interiérech vozidel. *Komunální technika*. Praha: Profi Press s. r. o., únor 2015, (2), 40-43.
- (3) CELJAK, Ivo. Vozidla poháněná elektromotory mají budoucnost především ve větších městech. *Komunální technika*. Praha: Profi Press s. r. o., duben 2017, (4), 40-43.
- (4) DOLAN, Antonín. *Diagnostika a servis zemědělských strojů. Interní učební text* [online]. České Budějovice, 2015. (Učební text). Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: http://kzt.zf.jcu.cz/wpcontent/uploads/2015/10/diagnostika_a_servis_zem_stroju.pdf
- (5) GÁLIK, Roman, Štefan MIHINA, Štefan BOĎO, Ivana KNÍŽKOVÁ, Petr KUNC, Ivo CELJAK, Marie ŠÍSTKOVÁ, Ľubomír BOTTO, a Vojtech BRESTENSKÝ. *Technika pre chov zvierat*. Druhé nezmenené vydanie. Nitra: Slovenská poľnohosp. univerzita v Nitre, 2018. ISBN 978-80-552-1906-6.
- (6) GSCHEIDLE, Rolf. a kol. *Průručka pro automechanika*. 2. vydání. Praha: Sobotáles, 2002. ISBN 80-85920-83-2.
- (7) HLADNÝ, Radek. *Spalování a jeho produkty. Emise a jejich snižování* [online]. Kyjov. (Učební text). Střední škola automobilní Kyjov, příspěvková organizace [cit. 2018-10-19]. ISSN 1802-4785. Dostupné z: http://www.sossoukyjov.cz/data/file/SIV/VY_32_INOVACE_4c%20PS/VY_32_INOVACE_4c10.ppt
- (8) HOLOUBEK, Ivan. *Chemie životního prostředí II., Znečištění složek prostředí – Atmosféra, Těkavé organické látky (VOCs)* [online]. Brno, (Učební text). Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <http://www.mb-eko.cz/sites/default/files/chzp-iii-atmosfera-11-vocs.pdf>

- (9) HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Vladimír HÖNIG, a Petr MILER. *Spalovací motory*. Praha: GRADA, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- (10) HŮNOVÁ, Iva. Přízemní ozon. *Chemické listy* [online]. Asociace českých chemických společností, září 2018, CHLSAC **112**(9), 573-632 [cit. 2019-02-03]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/download/3175/3152/+&cd=3&hl=cs&ct=clnk&gl=cz&client=firefox-b-d
- (11) KAHUDA, Jan. *Měření emisí pevných částic u vznětových motorů rozdílných emisních kategorií EURO*. České Budějovice, 2017. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky.
- (12) KAREL, Jan, Radek JAREŠ, Josef MARTINOVSKÝ, Robert POLÁK, Eva SMOLOVÁ, a Kateřina ŠIMONOVÁ. *Metodika pro výpočet emisí částic pocházejících z resuspenze ze silniční dopravy* [online]. Praha, 2015. CENEST, s. r. o. Zadal: Ministerstvo životního prostředí ČR [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vypocet_emisi_castic_metodik_a/\\$FILE/000-resuspenze_metodika-20171011.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vypocet_emisi_castic_metodik_a/$FILE/000-resuspenze_metodika-20171011.pdf)
- (13) KOTLÍK, Bohumil. *Znečištění ovzduší* [online]. Praha, 2017. (Prezentace). Státní zdravotní ústav, Seminář k projektu InAirQ 19. 6. 2017 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/inairg/seminar_19_6_2017/inairq_2_znecistení_ovzdusi_kotlik.pdf
- (14) KRAJČOVIČ, Marián. *Místní komunikace* [online]. Ostrava. (Příprava přednášky). Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/krajcovic!/prezencni/!dopravni_a_hydrotechnicke_stavby/pomucky_k_reseni/pdf/MISTNI_KOMUNIKACE_DaHS.pdf
- (15) KVASNICA, Roman. *Měření spotřeby AdBlue traktorového motoru* [online]. Brno, 2013. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?podrobnosti_zp=34133;zpet=;prehled=vedouci;vzorek_vedouci=%C4%8Dupera;typ=2;obdobi=2013;jazyk=1

- (16) KYJOVSKÝ, Jindřich. *Měření exhalací zážehových a vznětových motorů* [online]. Ostrava, 2012. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Katedra elektroniky [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/94220/KYJ0006_USP_B3943_3906R007_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- (17) *MEFA 06 Uživatelská příručka* [online]. Praha, 2006. ATEM, s.r.o. a VŠChT v Praze [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: http://www.atem.cz/soubory/ke_stazeni/Mefa06-manual.pdf
- (18) *MEFA 13 Aktualizace 2013, Uživatelská příručka* [online]. Praha, 2013. ATEM, s.r.o. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: http://www.atem.cz/soubory/ke_stazeni/Mefa13-manual.pdf
- (19) MIKULÁŠEK, Jan. *Emise vozidlových motorů* [online]. Brno, 2011. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=42308
- (20) MRZENA, Rudolf. Environmental impact comparison of individual and public transport. Porovnání vlivu individuální a hromadné dopravy na životní prostředí. *Perner's Contacts* [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra technologie a řízení dopravy, listopad 2010, 5(3), 218-227 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: http://pernerscontacts.upce.cz/19_2010/Mrzena.pdf
- (21) NOVOTNÝ, Jiří. *Hodnocení hmotnostní koncentrace polévatého prachu v silniční dopravě v závislosti na intenzitě provozu a prostředí*. České Budějovice, 2015. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky.
- (22) PAVLOVSKÝ, Jiří, Jiřina VONTOROVÁ, a Petr PRAUS. *Metody monitorování životního prostředí* [online]. Ostrava, 2013. (Učební text). Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství [cit. 2018-12-8]. Dostupné z: https://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-1-procesni-inzenyrstvi/metody-monitorovani-zivotniho-prostredi/Pavlovsky_Metody_monitorovani-zivotniho-prostredi.pdf

- (23) PEXA, Martin. *Produkce emisních složek výfukových plynů, zážehové a vznětové motory* [online]. Praha, 2007. (Učební text). Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Katedra jakosti a spolehlivosti strojů [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: http://tf.czu.cz/~pexa/Predmety/TD/Prednasky/7p_TechDiag.pdf
- (24) *Program MEFA – Aktualizace 2013* [online]. Praha, 2013. ATEM, s.r.o. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <http://www.atem.cz/mefa.php>
- (25) PRŮŠA, Radek. *Analýza možností zmírnění negativních vlivů silniční dopravy ve prospěch ochrany životního prostředí*. České Budějovice, 2012. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra zemědělské techniky a služeb.
- (26) RUBEŠ, Jiří, a kol. (Z. ZUDOVÁ, M. VOZDOVÁ, R. HAJNOVÁ, J. URBANOVÁ, L. BORKOVEC, a A. NOVÁKOVÁ). Air pollution and sperm quality. Znečištění ovzduší a kvalita spermií. *Časopis lékařů českých*. Praha: Česká lékařská společnost J.E. Purkyně, 2000, **139**(6), 174-176. ISSN 00087335.
- (27) RUDINSKYI, Mykhailo. *Ověření vlivů úspor energie na výslednou spotřebu paliva v jízdních cyklech* [online]. Plzeň, 2016/17. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/28886/1/DP_2017_Rudinskyi.pdf
- (28) STAREČEK, Jakub. *Filtry pevných částic a způsoby jejich regenerace* [online]. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65274
- (29) ŠRÁM, Radim, J. *Vliv znečištěného ovzduší na lidské zdraví, zkušenosti z Programu Teplice* [online]. Praha, 2017. (Prezentace). Ústav experimentální medicíny AV ČR, Konference EKOLOGIE 2018, Praha, 28. 4. 2017 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://www.fgu.cas.cz/upload/files/RJSram%20EKOLOGIE%202018%2028.%204.%2017.pdf>

- (30) ŠTEFKA, Michal. *Měření expozice anestetickým plynům na operačních sálech* [online]. Praha, 2008. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta, Zdravotnická technika [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/download/130073146>
- (31) THORŽ, František. *Emise, jejich měření a principy konstrukce systémů pro jejich snižování* [online]. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=3883
- (32) VOJTÍŠEK, Michal. *Výfukové emise a jejich měření* [online]. Praha, 2015. (Učební text). České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Centrum vozidel udržitelné mobility [cit. 2019-01-11]. Dostupné z: http://www.medetox.cz/wp-content/uploads/2015/07/2015-08_ZVC-Vojtisek-Vyfukove_emise_a_jejich_mereni-Zkouseni_vozidel_a_jejich_casti.pdf
- (33) ZELENKOVÁ, Veronika. *Analýza emisí polévatého prachu při provozu dopravních a pracovních zařízení v zemědělství ve vybrané farmě a obci*. České Budějovice, 2014. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky.
- (34) ZMEK, Martin. *Snižování emisí ve výfukových plynech vznětových a zážehových motorů* [online]. Pardubice, 2012. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky [cit. 2018-12-08]. Dostupné ze: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/49022/ZmekM_SnizovaniEmisi_PJ_2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Internet

- (35) <https://www.ahaonline.cz/clanek/musite-vedet/66073/dusime-se-po-ostrave-smog-zahalil-i-prahu-a-stredocesky-kraj.html?fsize=2> „staženo: 2019-01-09“
- (36) <https://arnika.org/benzoapyren> „staženo: 2019-01-09“
- (37) <http://arnika.org/oxid-uhelnaty> „staženo: 2019-01-09“
- (38) <http://arnika.org/oxid-uhlicity> „staženo:2019-02-04“

- (39) <https://arnika.org/polycyklicke-aromaticke-uhlovodiky-pahs>
„staženo: 2019-01-13“
- (40) <http://www.auto.cz/wltp-novy-homologacni-emisni-test-110305>
„staženo: 2019-03-07“
- (41) <http://www.auto.cz/technika-evropske-emisni-normy-jsou-s-nami-uz-od-roku-1970-94232> „staženo: 2019-03-03“
- (42) <https://autobible.euro.cz/nove-metodiky-mereni-wltp-rde-reforma-vyhodou-zakazniky/> „staženo: 2019-03-20“
- (43) <http://www.autoforum.cz/zajimavosti/mereni-emisi-v-provozu-v-evrope-mozna-vubec-nebude-pry-je-nekvalitni/> „staženo: 2019-01-09“
- (44) http://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_dpf_001.jpg „staženo: 2019-01-09“
- (45) <http://www.autolexicon.net/cs/articles/egr-exhaust-gas-recirculation/>
„staženo: 2019-01-21“
- (46) <http://www.azfoto.cz/fotoaparaty/sony-cybershot-dsc-hx100v>
„staženo: 2019-04-05“
- (47) http://www.biotox.cz/toxikon/anorgan/ja_6a.php „staženo: 2019-02-16“
- (48) http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/mes_zpravy/LEDEN_2019.pdf
„staženo: 2019-02-14“
- (49) <https://www.clm.co.uk/wp-content/uploads/2014/10/emissions-standards-s.jpg>
„staženo: 2019-01-09“
- (50) <https://chmibrno.org/blog/2018/12/27/benzoapyren-popis-zdroje-dopady-aktualni-stav/> „staženo: 2019-01-09“
- (51) http://www.ecmost.cz/clanky.php?page=znecistujici_latky
„staženo: 2019-02-21“
- (52) <http://www.cistenebe.cz/slovnicek-pojmu/223-prizemni-ozon-o3>
„staženo: 2019-01-28“
- (53) <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2311909-znecistene-ovzdusi-muze-nicit-lidske-spermie-potvrdila-vedecka-studie> „staženo: 2019-04-01“
- (54) <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/dotazy-a-odpovedi/ozon-stit-proti-sluncnimu-zareni> „staženo: 2019-02-07“

- (55) <https://www.euro.cz/byznys/mereni-emisi-v-provozu-automobilky-uz-si-zaridily-ulevy-1336147> „staženo: 2019-01-09“
- (56) <http://www.externiservis.cz/katalyzatory-nett/katalyzatory-pro-vznetove-dieselove-motory.php> „staženo: 2019-03-23“
- (57) <http://hluk.eps.cz/hluk/emise/mereni-emisi-a-imisi/> „staženo: 2019-02-23“
- (58) <https://iszp.msk.cz/cz/ovzdusi/smogove-situace/co-to-je-teplotni-inverze--24596/> „staženo: 2019-03-09“
- (59) http://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf „staženo: 2019-01-26“
- (60) https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_siry.pdf „staženo: 2019-02-09“
- (61) <http://lekarske.slovniky.cz/pojem/mukociliarni> „staženo: 2019-03-04“
- (62) <https://mapy.cz/letecka?mereni-vzdalenosti&x=14.4747508&y=48.9834188&z=19&rm> „staženo: 2019-01-09“
- (63) <https://mapy.cz/letecka?mereni-vzdalenosti&x=14.5062883&y=48.9662726&z=18&l=0&rm> „staženo: 2019-01-09“
- (64) <https://mapy.cz/letecka?mereni-vzdalenosti&x=14.5124547&y=48.9846123&z=19&l=0&rm> „staženo: 2019-01-09“
- (65) http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/IV9_beZLV_CZ.html „staženo: 2019-03-14“
- (66) http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html „staženo: 2019-02-28“
- (67) <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=567> „staženo: 2019-02-26“
- (68) https://safe-welding.com/blog/wp-content/uploads/2018/05/Partikel_und_ihre_Wirkung_EN.jpg „staženo: 2019-01-09“
- (69) <http://scitani2016.rsd.cz/pages/map/default.aspx> „staženo: 2019-03-22“
- (70) <http://www.tesin.cz/wp-content/uploads/2017/06/obr.-1-300x259.jpg> „staženo: 2019-01-09“
- (71) <https://www.turistika.cz/mapy> „staženo: 2019-01-09“
- (72) http://www.tznj.cz/uploads/ucebnice_top1/files/16.html „staženo: 2019-01-09“

- (73) <http://uamk.cz/aktuality/1752-benziny-s-filtry-od-zari-2018>
„staženo: 2019-04-06“
- (74) https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards
„staženo: 2019-03-19“
- (75) https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards
„staženo: 2019-01-09“
- (76) https://cs.wikipedia.org/wiki/Lambert%C5%AFv%E2%80%93Beer%C5%AFv_z%C3%A1kon „staženo: 2019-02-27“
- (77) <http://zakony.centrum.cz/zakon-o-pozemnich-komunikacich/cast-1-paragraf-6>
„staženo: 2019-03-19“
- (78) <http://www.stk-roudnice.cz/> „staženo: 2019-01-09“
- (79) <https://www.novinky.cz/domaci/463811-v-moravskoslezskem-kraji-plati-smogova-situace.html> „staženo: 2019-04-06“

7. Seznam obrázků a tabulek

Obrázky

Obrázek 1 - Názorné porovnání velikostí částic s lidským vlasem

Obrázek 2 - Pronikání frakcí PM do lidského organismu

Obrázek 3 - Mapa koncentrací PM10 ze dne 21. 1. 2019

Obrázek 4 - Mapa koncentrací PM10 ze dne 22. 1. 2019

Obrázek 5 - Mapa koncentrací PM10 ze dne 23. 1. 2019

Obrázek 6 - Mapa koncentrací PM10 ze dne 24. 1. 2019

Obrázek 7 - Smog nad Českými Budějovicemi – pohled od Hlinska

Obrázek 8 - Smog nad Českými Budějovicemi – pohled od Rudolfova

Obrázek 9 - Město Ostrava zahalené do hustého smogu

Obrázek 10 - Smog v ostravských ulicích

Obrázek 11 - Graf obsahu látek ve výfukových plynech zážehových motorů

Obrázek 12 - Graf obsah látek ve výfukových plynech vznětových motorů

Obrázek 13 - Graf vývoje a poměrů emisních norem EURO

Obrázek 14 - Schéma zkušebního stanoviště, válcové zkušebny pro měření emisí

Obrázek 15 - Umístění zařízení PEMS na závěsné zařízení za automobilem

Obrázek 16 - Umístění zařízení PEMS do zavazadlového prostoru

Obrázek 17 - Budova stanice technické a emisní kontroly

Obrázek 18 - Schéma opacimetru

Obrázek 19 - Schéma filtračního kouřoměru BOSCH

Obrázek 20 - Schéma čtyřsložkového infraanalyzátoru BOSCH ETT

Obrázek 21 - Schéma akustického infraanalyzátoru INNOVA 1412

Obrázek 22 - Schéma NDIR ultrafialového analyzátoru

Obrázek 23 - Schéma konstrukce a funkce katalyzátoru

Obrázek 24 - Schéma funkce filtrační vložky a znázornění mechanismu filtrace

Obrázek 25 - Rozdělení pozemních komunikací

Obrázek 26 - Místní komunikace Pekárenská ulice

Obrázek 27 - Úsek 1, Pekárenská ulice /Kostelní – K. Weise/, 120 m

Obrázek 28 - Místní komunikace (č. 157) Ledenická ulice

Obrázek 29 - Úsek 2, Ledenická ulice /Otakara Ševčíka – Želivského/, 120 m

Obrázek 30 - Místní komunikace (č. 634) Rudolfovská třída

Obrázek 31 - Úsek 3, Rudolfovská třída /K Lučinám – B. Martinů/, 130 m

Obrázek 32 - Úvodní okno programu MEFA 13 – hlavní nabídka

Obrázek 33 - Příklad zadání vstupních hodnot do programu a vygenerované hodnoty pro benzínová vozidla v úseku 1, emisní kategorie EURO 1 (plynulost provozu 2, průměrná rychlost jízdy $37 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$)

Tabulky

Tabulka 1 - Emisní limity EURO norem pro vznětové motory

Tabulka 2 - Emisní limity EURO norem pro zážehové motory

Tabulka 3 - Vozový park (Pekárenská ul.) – počet vozidel za 60 minut

Tabulka 4 - Vozový park (Ledenická ul.) – počet vozidel za 60 minut

Tabulka 5 - Vozový park (Rudolfovská ul.) – počet vozidel za 60 minut

Tabulka 6 - Palivo BENZIN, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $37 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Tabulka 7 - Palivo NAFTA, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $37 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Tabulka 8 - Palivo LPG/CNG, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $37 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Tabulka 9 - Vozový park (Pekárenská ul.) – počet vozidel za 60 minut

Tabulka 10 - Palivo BENZIN, vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

Tabulka 11 - Palivo NAFTA, vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

Tabulka 12 - Palivo LPG/CNG, vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

Tabulka 13 - Celkové vypočtené emise v úseku 1, 120 m, za 60'

Tabulka 14 - Teoretická produkce emisí v úseku 1, 120 m, za 24 h

Tabulka 15 - Palivo BENZIN, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Tabulka 16 - Palivo NAFTA, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Tabulka 17 - Palivo LPG/CNG, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Tabulka 18 - Vozový park (Ledenická ul.) – počet vozidel za 60 minut

Tabulka 19 - Palivo BENZIN, vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

Tabulka 20 - Palivo NAFTA, vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

Tabulka 21 - Palivo LPG/CNG, vypočtené emise pro vozový park na úseku 120 m

Tabulka 22 - Celkové vypočtené emise v úseku 2, 120 m, za 60 minut

Tabulka 23 - Teoretická produkce emisí v úseku 1, 120 m, za 24 h

Tabulka 24 - Palivo BENZIN, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Tabulka 25 - Palivo NAFTA, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Tabulka 26 - Palivo LPG/CNG, vygenerované emise pro 1 vozidlo, $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Tabulka 27 - Vozový park (Rudolfovská tř.) – počet vozidel za 60 minut

Tabulka 28 - Palivo BENZIN, vypočtené emise pro vozový park na úseku 130 m

Tabulka 29 - Palivo NAFTA, vypočtené emise pro vozový park na úseku 130 m

Tabulka 30 - Palivo LPG/CNG, vypočtené emise pro vozový park na úseku 130 m

Tabulka 31 - Celkové vypočtené emise v úseku 3, 130 m, za 60 minut

Tabulka 32 - Teoretická produkce emisí v úseku 1, 120 m, za 24 h

8. Přílohy

Zdroj: vlastní foto – Jan Kahuda

Foto 1



Umístění fotoaparátu a nastavení nahrávání videozáznamu na Pekárenské ulici.

Foto 2



Nahrávání videozáznamu projíždějících vozidel na Pekárenské ulici.

Foto 3



Umístění fotoaparátu a nastavení nahrávání videozáznamu na Ledenické ulici.

Foto 4



Nahrávání videozáznamu projíždějících vozidel na Ledenické ulici.

Foto 5



Umístění fotoaparátu a nastavení nahrávání videozáznamu na Rudolfovské třídě

Foto 6



Nahrávání videozáznamu projíždějících vozidel na Rudolfovské třídě.