

Česká zemědělská univerzita v Praze  
Technická fakulta

**Analýza produkce plynných emisí spalovacích motorů  
v reálném provozu**

**Diplomová práce**

Vedoucí práce: Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Autor práce: Bc. David Znamenáček

Praha 2019

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. David Znamenáček

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Analýza produkce plynných emisí spalovacích motorů v reálném provozu**

Název anglicky

**Analysis of the gaseous emission production of combustion engines under real traffic conditions**

---

### Cíle práce

Cílem práce je analýza a zhodnocení stěžejních vlivů působících na výslednou produkci emisí na základě provedených experimentálních jízd v reálném provozu.

### Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce – postup měření
4. Rešerše – přehled systémů pro snižování produkce plynných emisí spalovacích motorů
5. Praktická část práce – popis uskutečněných experimentálních jízd
6. Výsledky a diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

**Doporučený rozsah práce**

50 stran

**Klíčová slova**

katalyzátory, denox, PEMS, EGR

---

**Doporučené zdroje informací**

FIRST, J.: Zkoušení automobilů a motocyklů, Praha: S&T CZ s.r.o., 2008, ISBN 978-80-254-1805-5  
GSCHEIDLE, R., Příručka pro automechaniku, Sobotáles, Praha, 2015, ISBN 978-3-8085-2163-2  
HROMÁDKO, J. et al., Spalovací motory, Grada Publishing a.s., Praha, 2011, 296s, ISBN 978-80-247-3475-0  
LUJÁN, M.J. et al., An assessment of the real-world driving gaseous emissions from a Euro 6 light-duty diesel vehicle using a portable emissions measurement system (PEMS), Atmospheric Environment 1774, Elsevier, 2018  
TAKÁTS, M., Měření emisí spalovacích motorů, Praha, vydavatelství ČVUT, 1997, 111 s, ISBN 80-01-01632-3

---

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – TF

**Vedoucí práce**

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vozidel a pozemní dopravy

---

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2018

**doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2019

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Analýza produkce plynných emisí spalovacích motorů v reálném provozu“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji diplomové práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne \_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a užitečné rady při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat České zemědělské univerzitě za možnost zapůjčení potřebného vybavení a v neposlední řadě mé rodině a blízkým, kteří mě neustále podporovali v psaní a při studiu.

# **Analýza produkce plynných emisí spalovacích motorů v reálném provozu**

## **Abstrakt:**

Diplomová práce se zabývá problematikou analyzování a experimentálního ověření možnosti měření jednotlivých složek plynných emisí u vozidel se spalovacím motorem v reálném provozu. Součástí práce je literární rešerše zabývající se problematikou vlivu plynných složek emisí na zdraví člověka, metod měření obsahu emisí, možnosti konstrukčního řešení, jak snížit produkci jednotlivých složek emisí, vývoje a aktuálního stavu předpisů, které stanovují maximální limity. Na základě provedeného experimentu se zpracovávají a porovnávají naměřené hodnoty jednotlivých testovaných jízd a hodnotí se jejich výsledky.

**Klíčová slova:** katalyzátory, Denox, PEMS, EGR

## **Analysis of the gaseous emission production of combustion engines under real traffic conditions**

### **Summary:**

This diploma thesis applies to analysis and experimental verification of the possibility of measuring the individual components of gaseous emissions in vehicles with an internal combustion engine in real operation. First part of the work is literature review dealing with gaseous components of emissions on human health, methods of measuring emissions, possibilities of constructional solutions, how to reduce the production of individual components of emissions, development and current state regulations that set maximum limits. Based on experiment are processed and compared values of each test and then their results are evaluated.

**Keywords:** Catalysts, Denox, PEMS, EGR

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Cíle práce</b> .....	<b>2</b>
<b>3. Metodika práce – popis měření</b> .....	<b>3</b>
3.1 Měřený automobil.....	3
3.2 Diagnostické měření.....	4
3.3 Emisní analyzátor VMK.....	5
3.4 Postup měření .....	8
3.4.1 Trasa 1 – Měření mimo město .....	9
3.4.2 Trasa 2 – Měření ve městě.....	9
3.4.3 Trasa 3 - Jízda do strmého kopce .....	10
3.4.4 Trasa 4 – Jízda po rovině .....	11
3.4.5 Trasa 5 – Jízda po dálnici .....	11
3.4.5 Použité jízdní styly.....	12
<b>4. Literární řešerše</b> .....	<b>14</b>
4.1 Emise vznikající při spalování paliva.....	14
4.1.1 Dokonalé spalování .....	14
4.1.2 Nedokonalé spalování .....	14
4.1.3 Spalování v reálném provozu .....	15
4.2 Produkce škodlivých látek ve výfukových plynech.....	16
4.2.1 Složení výfukových plynů spalovacích motorů.....	16
4.3 Charakteristika a proces vzniku výfukových plynů.....	18
4.3.1 Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> ) .....	18
4.3.2 Uhlovodíky (HC).....	19
4.3.3 Oxidy dusíku (NO <sub>x</sub> ) .....	20
4.3.4 Pevné částice (PM) .....	20
4.3.5 Oxid uhelnatý (CO) .....	22
4.3.6 Další emisní složky.....	23
4.4 Faktory ovlivňující vznik emisí .....	23
4.4.1 Stechiometrický poměr .....	23
4.4.2 Součinitel přebytku vzduchu $\lambda$ .....	24
4.4.3 Vliv velikosti součinitele přebytku vzduchu .....	25
4.4.4 Součinitel přebytku vzduchu a jeho vliv na složení emisí .....	25
4.4.5 Lambda sonda .....	26
4.5 Dopad automobilové dopravy na životní prostředí .....	28

4.5.1 Vliv znečištění na ovzduší.....	28
4.5.2 Ostatní negativní faktory ovlivňující životní prostředí .....	32
4.6 Přehled emisních norem a předpisů .....	34
4.6.1 Emisní norma EURO .....	34
4.6.2 Průběh zkoušky EURO .....	35
4.6.3 Pravidelné emisní kontroly .....	37
4.7 PEMS.....	38
4.7.1 Obecná charakteristika PEMS .....	38
<b>5. Praktická část práce.....</b>	<b>40</b>
5.1 Výpočet dat .....	40
5.2 Výsledek měření .....	41
5.2.1 Trasa 1 – Mimo město.....	41
5.2.2 Trasa 2 – Město.....	43
5.2.3 Trasa 3 – Jízda do strmého kopce .....	45
5.2.4 Trasa 4 – Rovina .....	46
5.2.5 Trasa 5 - Dálnice .....	48
<b>6. Porovnání výsledků a diskuze.....</b>	<b>49</b>
<b>7. Závěr .....</b>	<b>52</b>
<b>8. Zdroj.....</b>	<b>54</b>
<b>Seznam použitých zkratk .....</b>	<b>57</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>58</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>60</b>



# 1. Úvod

Automobily a celý automobilový průmysl je nedílnou součástí moderní doby. Vlivem zvyšujícího se počtu obyvatel a jejich čím dál větších potřebách cestovat, roste i poptávka po automobilech. Další významnou část zastává i potřeba přepravovat osoby či věci z jednoho určitého místa na druhé po konkrétních dopravních cestách.

Základem všeho je spalovací motor, který zajišťuje energii pro chod vozidla. Je to složitý mechanismus, který se skládá z velkého množství součástí. Cílem je spalování benzínu, zemního plynu či nafty na základě termodynamických dějů. Výsledkem této činnosti je požadovaná přeměna chemické energie na tepelnou, dále pak na tlakovou a finálně s určitými ztrátami na energii mechanickou.

V dnešní době se konstruují motory o různých velikostech a na různá paliva, což zvyšuje možnosti využití v praxi a případné ekonomické úspory. Nicméně je zde i řada negativních důsledků, které při činnosti spalovacího motoru vznikají. Jako první je nutné zdůraznit účinnost, která je i přes snahu všech konstruktérů vzhledem k potenciálu používaných paliv poměrně nízká. Další negativní vlastností spalovacích motorů jsou spaliny, jako vedlejší produkt spalování. Tyto výfukové plyny, jak spaliny odborně nazýváme, obsahují množství látek, které jsou pro člověka nebezpečné a zároveň nemají pozitivní dopad na životní prostředí.

## 2. Cíle práce

Cílem diplomové práce je analýza a následné zhodnocení vlivů působících na výslednou produkci emisí na základě provedených experimentálních jízd v reálném provozu. Tyto experimentální jízdy budou prováděny na vozidle Škoda Felicia.

Dílčí cíle experimentu:

- Určit podíl emisí u různých jízdních stylů v městském provozu, při jízdě mimo město, po dálnici či do strmého stoupání.
- Určit, zda se produkuje více emisí při rychlém dosahování maximální povolené rychlosti nebo při pozvolné a plynulé akceleraci na delším časovém úseku.
- Prokázat vliv akcelerace na produkci emisí.
- Porovnat množství jednotlivých složek produkovaných emisí s limity emisí, které jsou stanovené legislativou.
- Porovnávání, zda produkce emisí vozidla naměřená v reálném provozu nepřekračuje maximální povolené limity určené legislativou.

### 3. Metodika práce – popis měření

#### 3.1 Měření automobil

K měření je použito vozidlo značky Škoda Felicia LX, které bylo vyrobeno roku 1999. Vozidlo bylo vyráběno ve dvou verzích, a to combi a hatchback. Pro měření je vybrána varianta karoserie hatchback. Pohonnou jednotkou vozidla je benzínový čtyřválcový motor, který využívá rozvod OHV, tedy typ ventilového rozvodu pístového motoru, kde jsou ventily umístěné v hlavě válců a vačkový hřídel je v bloku motoru. Klikový hřídel je uložený na třikrát.

Zdvihový objem motoru je 1,289 cm<sup>3</sup>, který zajišťuje výkon 50 kW při 5 000 ot/min. Vzhledem k roku výroby spadá vozidlo do požadavků dle normy EURO 2. To znamená, že musí splňovat emisní limity stanovené roku 1996, které jsou uvedené v tab. 1.

Tabulka 1: Požadavky normy EURO 2 [35]

Rok	Norma	CO (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	HC (g/km)	HC + NO <sub>x</sub> (g/km)
1996	Euro 2	2,2	-	-	0,5

Před samotným experimentem byly na vozidle v nedávné době provedeny úpravy ve formě výměny výfukového vedení, motorového oleje, olejového filtru a vzduchového filtru. Na vozidle jsou též nové letní pneumatiky. Všechny tyto úpravy by měly mít pozitivní vliv na snížení produkce emisí.



Obrázek 1: Testované vozidlo Škoda Felicia

### 3.2 Diagnostické měření

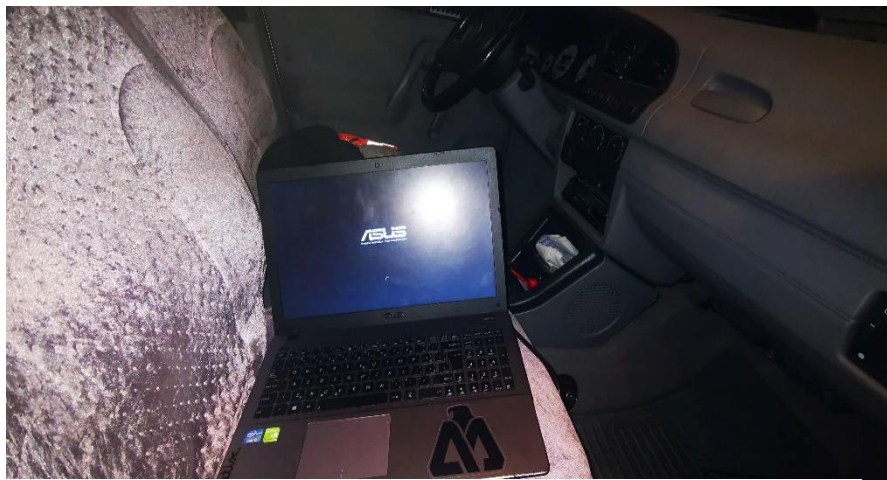
Vozidlo je vybaveno řídicí jednotkou, ze které je možné načítat aktuální hodnoty snímaných a následně přepočítaných veličin. Využívá se zde koncernové diagnostiky, která umožňuje spojení pouze s řídicími jednotkami, které se týkají emisních systémů. Nelze se například připojit na řídicí jednotku airbagu, radia, palubního počítače a dalších systémů, pokud jimi vozidlo disponuje.



Obrázek 2: Přípojka diagnostiky

Hodnoty z řídicí jednotky se přenášejí přes diagnostickou přípojku, kabel a následně USB port do laptopu umístěného ve vozidle. Samotná komunikace mezi řídicí jednotkou a počítačem se zajistí prostřednictvím programu VAG-COM 10.6.1. Z hlediska bezpečnosti je laptop připojen k síti automobilu, aby se zamezilo vypnutí a následné ztrátě dat.

Výhodou programu VAG-COM jsou jeho velmi nízké požadavky, jak na softwarové, tak na hardwarové vybavení počítače, což znamená, že lze využít libovolný běžně dostupný laptop. Pro námi zvolené měření je využit laptop značky Asus viz (obr. 3).



Obrázek 3: Použitý laptop ASUS

### 3.3 Emisní analyzátor VMK

K měření emisí v reálném provozu je použit přenosný analyzátor, který je zapůjčený od univerzity a je vlastní výroby. Data získávaná po čas měření jsou zaznamenávány na externí datové uložení, v tomto případě na paměťovou kartu. Následně se budou moci jednoduše přenést do počítače pro jejich další zpracování a vyhodnocení v programu excel.

Přístroj snímá a s frekvencí 1 Hz ukládá okamžité hodnoty emisí CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub> a O<sub>2</sub>. Emise uhlíkatých složek jsou vyhodnocovány metodou NDIR, pro snímání emisí NO<sub>x</sub> a O<sub>2</sub> jsou použity elektrochemické články.

Tabulka 2: Základní parametry analyzátoru VMK

Měřená složka	Rozsah	Rozlišení	Nejistota měření
CO	0 - 10 % vol	0,001 % vol	0 - 0,67%: 0,02% absolutně, 0,67 - 10%: 3% z naměřené hodnoty
CO <sub>2</sub>	0 - 16 % vol	0,01 % vol	0 - 10%: 0,3% absolutně, 10 - 16%: 3% z n.h.
HC	0 - 20 000 ppm	1 ppm	10 ppm or 5% z n.h.
NO <sub>x</sub>	0 - 5 000 ppm	1 ppm	0 - 1000 ppm: 25 ppm, 1000 - 4000 ppm: 4% z n.h.
O <sub>2</sub>	0 - 22 % vol	0,1 % vol	0 - 3%: 0,1% 3 - 21%: 3% z n.h.

Samotné měření si vyžaduje určitý postup, který je popsán níže:

- 1) Připojit analyzátor na externí baterii umístěnou v zavazadlovém prostoru
- 2) Zapnout analyzátor
- 3) Analyzátor nechat zapnutý alespoň 10 minut před měřením
- 4) Připojit laptop do zapalování a nastavit program VAG-COM
- 5) Připojit GPS k analyzátoru a zkontrolovat jeho činnost
- 6) Těsně před měřením připojit hadičku od výfuku do analyzátoru
- 7) Před každým úsekem měření kalibrace přístroje pomocí tlačítka F1
- 8) Po ukončení měření stisknout tlačítko F4
- 9) Odpojení hadičky z výfuku od analyzátoru
- 10) Nechat analyzátor opět alespoň 10 min běžet před úplným vypnutím

Analyzátor je umístěn na zadním sedadle a z důvodu bezpečnosti je upevněn k sedadlu upínacím popruhem, aby nedošlo při prudkém brzdění ke zranění osob ve vozidle nebo k poškození samotného měřicího zařízení viz (obr. 4)



*Obrázek 4: Přenosný analyzátor VMK*

Další důležitou součástí je výfuková sonda viz (obr. 5), která se umístí do koncovky výfukového potrubí a výfuková hadice z ní vedoucí, je tažena přes spodní otvor zavazadlového prostoru v oblasti rezervy. Dále pak samotným zavazadlovým prostorem a přes zadní sedadla až k analyzátoru. Rezervní pneumatika je po čas měření vyndána, aby nedošlo vlivem jízdy k přiškrcení hadice vedoucí od výfukové sondy. To by mohlo způsobit, že by naměřená data nemusela odpovídat skutečnosti, jelikož by analyzátor nemohl pracovat se skutečným množstvím plynů.



*Obrázek 5: Výfuková sonda*



Pro jistotu je hadice ještě na několika místech přichycena plastovými stahovacími páskami ke konstrukci vozidla tak, aby nikde nepřechýla a nehrozilo, že se při jízdě někde přetrhne, viz (obr. 6)

Analýzátor využívá pro odvod analyzovaných výfukových plynů a kondenzovaných vodních par samostatnou hadici. U této hadice je nutné dodržet její převýšení, jelikož musí být zajištěno, aby nedocházelo k samovolnému odtoku vlivem gravitace. Hadice je vedena stejnou cestou jako je upevněna hadice pro výfukovou sondu, a to otvorem ve dně prostoru pro rezervní pneumatiku viz (obr. 6)



*Obrázek 6: Instalace hadic pro výfukovou sondu*

Vlastní napájení analyzátoru zajišťuje externí autobaterie umístěná v zavazadlovém prostoru, od které vede kabel přes zadní sklopené sedadlo k analyzátoru. Autobaterie je pevně uchycena a před měřením dobíta na maximum.



*Obrázek 7: Instalace autobaterie*

Poslední součástí měřicí aparatury je snímač polohy GPS viz (obr. 8), který je umístěn na střeše vozidla. Jeho poloha je zajištěna díky magnetu, který je ve snímači obsažen. Následné propojení s analyzátozem je pomocí kabelu, který je veden přes částečně stažené okénko spolujezdce.

Data jsou zapisovány na externí paměťovou kartu společně s daty od emisního analyzátoru. Použitý GPS snímač je od značky Garmin typ 18x – 5 Hz.



*Obrázek 8: Snímač GPS upevněný na vozidle*

### **3.4 Postup měření**

Pro měření je zapotřebí, aby byl ve vozidle přítomen jeden spolujezdec, který bude zajišťovat obsluhu analyzátoru. Obsluha spočívá v kontrole všech jeho funkcí a následně kalibrace přístroje po naměření konkrétního potřebného úseku.

Dále je nutné kontrolovat data z diagnostiky, zda ukazují správné hodnoty a zda jsou vybrané správné měřené veličiny. V neposlední řadě je ještě nutná obsluha laptopu z hlediska kontroly funkce GPS.

Řidič vozidla projíždí předem vybrané úseky komunikace, na kterých jsou testovány dva různé jízdní styly. První jízdní styl je agresivní. To znamená, že jízda je charakteristická tím, že se vždy zrychluje sešlápnutím plynového pedálu až do koncové polohy na maximální povolenou rychlost, nebo na rychlost, která je v daném úseku

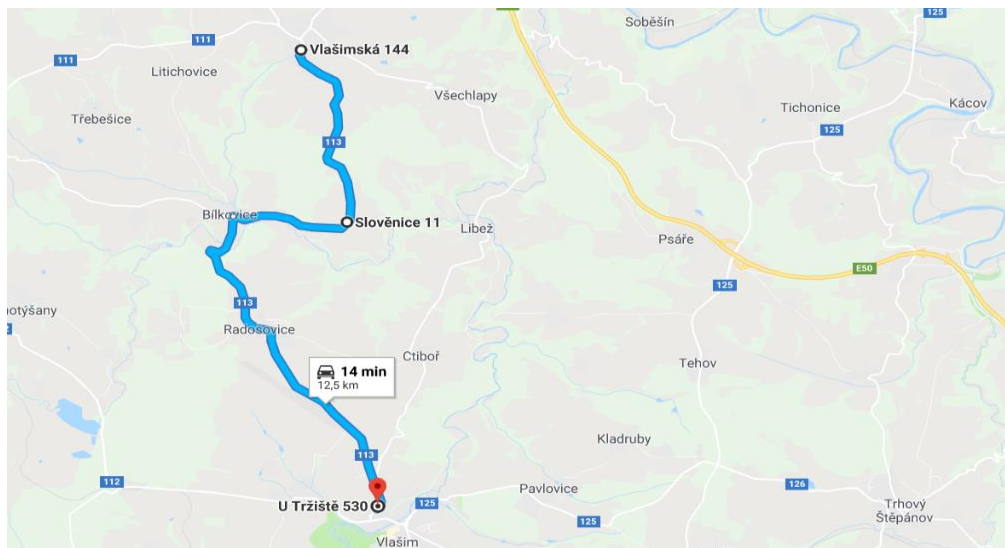


bezpečná. Zároveň se udržuje kratší vzdálenost mezi vozidly, která jedou před testovaným automobilem.

Druhý jízdní styl je defenzivní. Ten se vyznačuje především tím, že řidič je pozorný a snaží se předvídat situace, které před ním mohou vzniknout. Cílem je dosáhnout menšího využití brzd, nižšího zrychlování a celkově plynulejšího a úspornějšího pohybu vozidla.

### 3.4.1 Trasa 1 – Měření mimo město

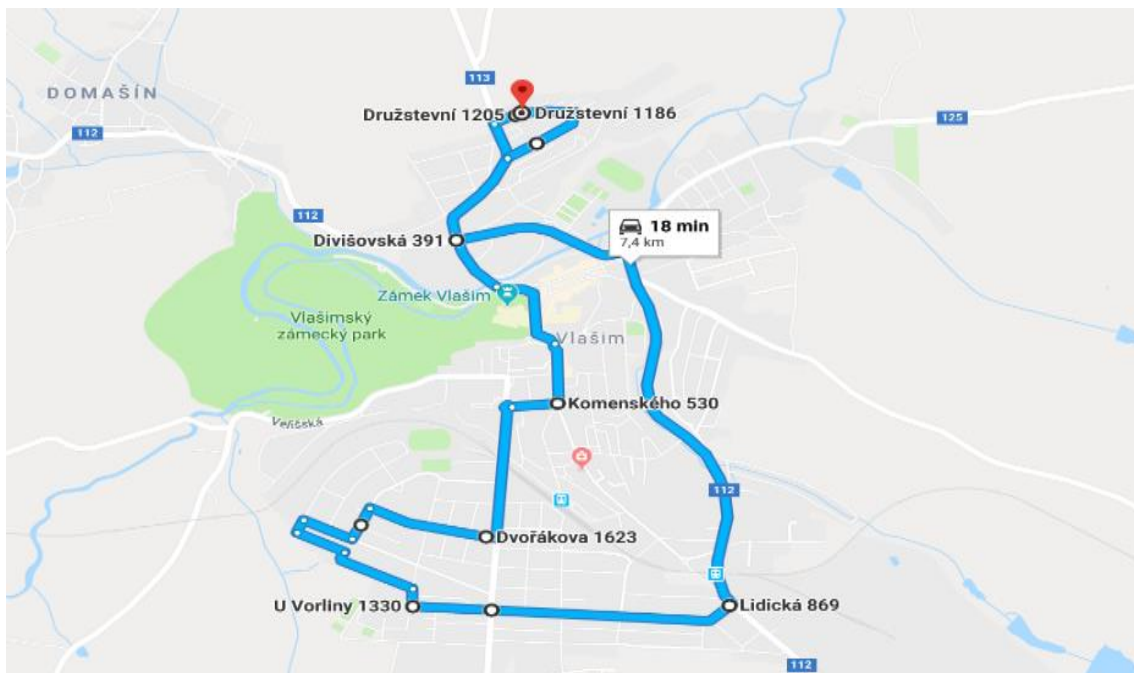
Na této trase i na trasách následujících, řidič testuje nejprve defenzivní styl jízdy a následně pro porovnání i agresivní styl. Výsledkem jsou různé hodnoty naměřených emisí. První trasa vede z Divišova do Vlašimi. Tento úsek je dlouhý 12,4 km a jedná se o rovinný terén s pouze jedním větším stoupáním.



Obrázek 9: Graficky znázorněná trasa 1 [39]

### 3.4.2 Trasa 2 – Měření ve městě

Další měřený úsek se nachází v městě Vlašim, viz (obr. 10). Cílem tohoto měření je více než zkoumání vlivu agresivního a následně defenzivního stylu jízdy především porovnání produkce emisí v hustém odpoledním provozu oproti plynulému provozu mimo hlavní špičku, kdy je intenzita dopravy nízká. Zvolená trasa je tedy testována ve dvou různých časech.

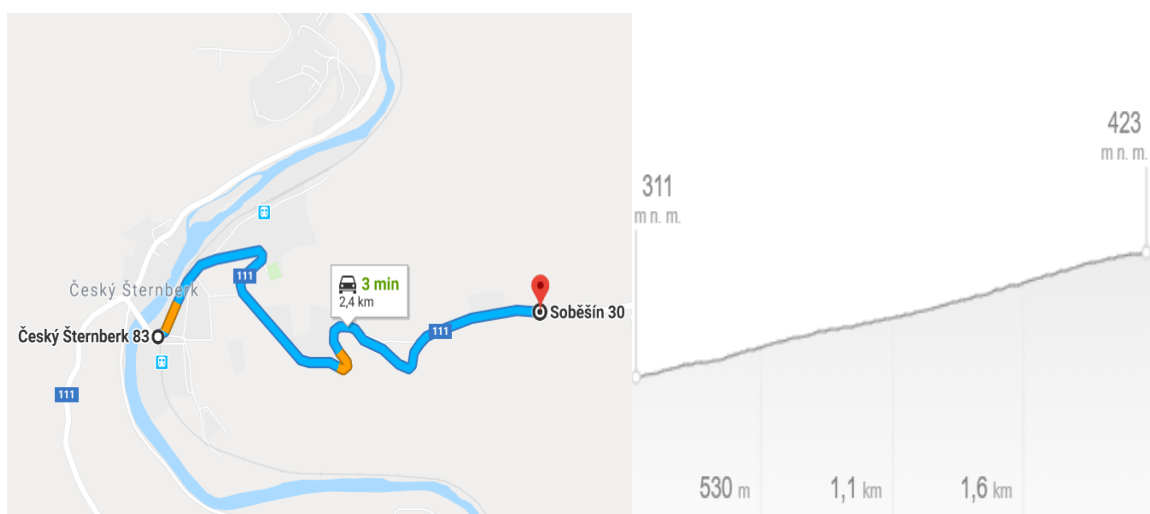


Obrázek 10: Graficky znázorněná trasa 2 [39]

První varianta zaměřená na plynulý provoz se testuje kolem 10:00 hodiny dopolední, kdy je provoz téměř nulový. Druhá varianta zaměřená na hustý provoz se měří kolem 17:00 odpolední, kdy je hlavní dopravní špička.

### 3.4.3 Trasa 3 - Jízda do strmého kopce

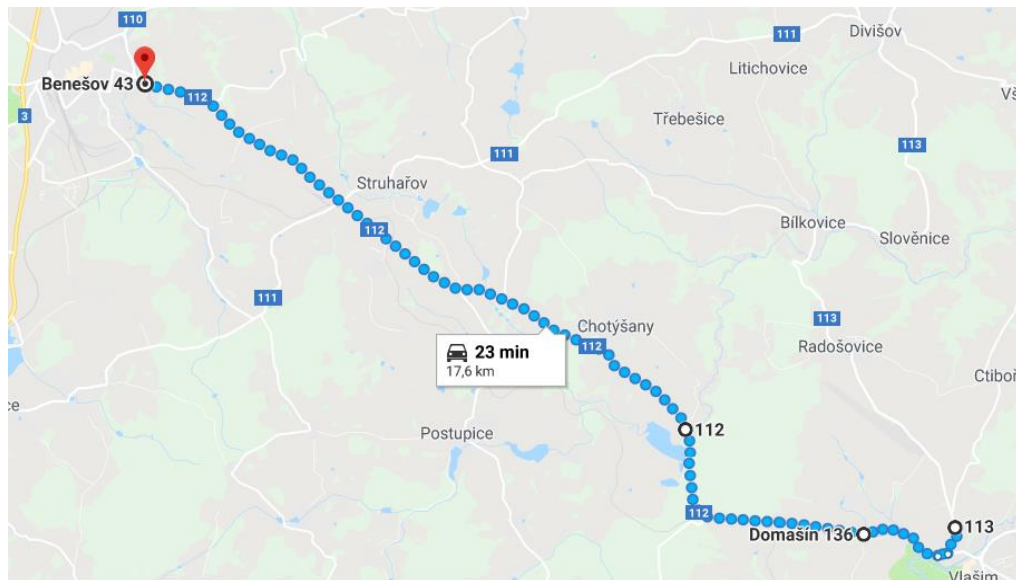
Další důležitý měřený úsek je porovnání agresivního a defenzivního stylu jízdy při jízdě do strmého kopce. Pro toto měření je vybrán silniční úsek v oblasti Českého Šternberka, viz (obr. 11). Důležitým parametrem pro vhodnost dané trasy k prováděnému měření je především její stoupání a celkově její výškový profil, který tvoří rozdíl 112 m na úseku dlouhém 2,4 km.



Obrázek 11: Graficky znázorněná trasa 3 [39]

### 3.4.4 Trasa 4 – Jízda po rovině

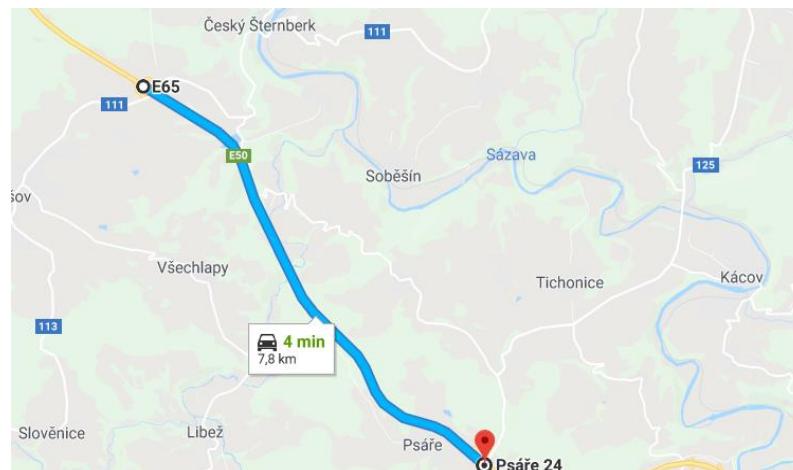
Zde se porovnává rozdíl v produkci emisí v reálném provozu mezi defenzivním a agresivním stylem jízdy. Pro toto měření je vybrána trasa mezi městy Vlašim a Benešov viz (obr. 12). Testovaný úsek má délku 17,6 km a na většině této vzdálenosti se výškový profil mění pouze v rámci několika metrů, což jsou plně vyhovující parametry pro potřebné měření.



Obrázek 12: Graficky znázorněná trasa 4 [39]

### 3.4.5 Trasa 5 – Jízda po dálnici

Tento úsek je měřený na dálnici. Výsledkem měření je rozdíl v produkci emisí při agresivním stylu jízdy v plynulém provozu mimo hlavní špičku a následně stejnou trasu otestovat v čase největší dopravní špičky, kdy se na dálnici tvoří kongesce a testovací jízda je zatížena neustálými rozjezdy a následným brzděním. Délka úseku je 7,5 km a nachází se na dálnici D1 mezi sjezdy Divišov a Psáře viz (obr. 13).



Obrázek 13: Graficky znázorněná trasa 5 [39]

### **3.4.5 Použité jízdní styly**

#### **1) Agresivní jízdní styl**

Pro prováděný experiment jsou použity 2 základní jízdní styly. První je agresivní jízdní styl, jehož cílem je větší zatížení motoru a s tím související větší tvorba emisních plynů. Konkrétně pro tento styl platí následující parametry. Vozidlo se rozjíždí na 1. rychlostní stupeň a plynový pedál je sešlápnutý do maximální polohy. Po rozjezdu je zařazen 2. rychlostní stupeň, dokud se vozidlo nerozjede na rychlost 50 km/h. Následně po dosažení této rychlosti se přeřadí 3. rychlostní stupeň, na kterém se tato rychlost udržuje v případě, že se jedná o maximální povolenou rychlost na daném úseku. Pokud se vozidlo pohybuje mimo město či obec, přeřadí se na 4. převodový stupeň a rychlost 70 km/h. Poslední rychlostní stupeň se zařadí pouze v případě delšího úseku po rovině, nebo při jednom z měřených úseků, který probíhal na úseku dálnice D1. Dalším důležitým parametrem je udržování co nejmenší, a přesto stále bezpečné vzdálenosti od vozidla jedoucího před vozidlem měřeným. Tato činnost způsobí častější prudší brzdění a následné rychlé akcelerování na maximální dovolenou rychlost

Tyto stanovené parametry agresivního stylu jízdy se mohou v některých případech mírně lišit, a to z důvodu zajištění bezpečného pohybu na daném úseku pozemní komunikace, kde je vozidlo právě testováno.

#### **2) Defenzivní jízdní styl**

Defenzivní jízdní styl je opakem agresivního jízdního stylu. Motor vozidla se zatěžuje co nejméně, což znamená, že se nedostává do příliš vysokých otáček. Tím se zajistí menší spotřeba paliva a též menší produkce emisí.

Na začátku měření je opět zařazen 1. rychlostní stupeň. Plynový pedál tentokrát není sešlápnutý do maximální polohy, jak to bylo u agresivního stylu jízdy, ale plynule do polohy poloviční. Po rozjezdu vozidla se zařadí 2. rychlostní stupeň, na který se vozidlo rozjede na rychlost 50 km/h. Po dosažení této rychlosti se přeřadí na 3. rychlostní stupeň, na kterém se rychlost 50 km/h udržuje, pokud komunikace vyšší rychlost zakazuje, nebo se pozvolna akceleruje na rychlost 70 km/h, pokud to pravidla silničního provozu dovolují. Po dosažení této rychlosti se zařadí 4. rychlostní stupeň, na kterém dosáhne vozidlo 90 km/h. Na 5. převodovém stupni se tato rychlost udržuje. Důležitým parametrem je, že se pedál nesmí sešlápnout více jak na poloviční polohu. Co se týče udržování bezpečné vzdálenosti, tak u tohoto stylu jízdy se praktikuje větší odstup od

vozidla jedoucího před vozidlem testovaným, a to z důvodu větší předvídatelnosti situace, která může na komunikaci před vozidlem nastat. Tato pravidla umožní plynulejší jízdu, menší využívání brzd a tím menší nutnost akcelarovat zpět na dovolenou rychlost. Celý tento styl je založený na dobré předvídavosti a zkušenostech řidiče.

Jak u agresivního stylu jízdy, tak i zde platí, že veškeré stanovené parametry tohoto jízdního stylu se mohou mírně lišit v závislosti na možnostech, které konkrétní daný úsek vybrané komunikace umožňuje.

## 4. Literární rešerše

### 4.1 Emise vznikající při spalování paliva

Emise jsou kapalné, plynné nebo tuhé látky, které jsou obsažené ve výfukových plynech. Ty vycházejí ze znečišťujícího zdroje přímo do ovzduší. V našem konkrétním řešení případě je zdrojem znečištění automobil [1],[2].

V této problematice lze rozpoznávat dva pojmy, emise a imise. Imise je možno charakterizovat jako emise, které jsou přímo v kontaktu s životním prostředím. Jedná se o výsledek emisí, jejichž koncentrace je stálá nebo případně nižší než emise. Tyto látky se následně hromadí ve vodě, půdě nebo v živých organismech. V dnešní době bývají ve větších městech velice často monitorovány [1],[2].

#### 4.1.1 Dokonalé spalování

Pojem dokonalé spalování se používá hlavně z toho důvodu, aby se charakterizovala dokonalost proběhnuté chemické reakce. Při dokonalém spalování nedochází ke vzniku zplodin, které by byly schopné dalšího hoření. Ve většině případů dochází pouze k uvolnění oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) a vodní páry [5].

Motorová nafta či automobilový benzín jsou popsány obecným vzorcem  $\text{C}_m\text{H}_n$ . Jedná se tedy o uhlovodíky. Při samotném spalování pak vznikají chemické reakce, které nám popisují následující rovnice [3],[5],[6]:

Uhlík se zde sloučí s kyslíkem za vzniku oxidu uhličitého.



Současně se slučuje vodík s kyslíkem za vzniku vodní páry.



#### 4.1.2 Nedokonalé spalování

Naopak pojem nedokonalé spalování nám říká, že dochází ke vzniku zplodin, které jsou schopné dalšího hoření [3].

Z hlediska škodlivých látek vznikajících při nedokonalém spalování, lze říci, že jsou poměrně nebezpečné. Nejčastějším produktem tohoto spalování je oxid uhelnatý (CO). Ten je schopný vytvořit se vzduchem výbušnou směs [4].

Samotnou chemickou reakci pak lze charakterizovat jako sloučení uhlíku s kyslíkem za vzniku oxidu uhelnatého. Velmi častou příčinou nedokonalého hoření je nedostatek kyslíku [4],[6].



#### 4.1.3 Spalování v reálném provozu

Při reálném provozu spalovacího motoru, je nutné říci, že při nedokonalém spalování nevzniká pouze oxid uhelnatý (CO), ale i množství dalších škodlivých látek. Samotný proces spalování je ovlivňován řadou faktorů. Ty pak mají velký vliv na dokonalost spalování a složení výfukových plynů [4],[6].

Faktory, které ovlivňují dokonalost spalování:

- a) nedostatek vzduchu,
- b) vysoké spalovací tlaky,
- c) vysoké spalovací teploty,
- d) nedostatečné množství času ke spalování.

Následkem těchto faktorů nedochází ke správnému průběhu chemických reakcí, dle výše uvedených rovnic. Dalším negativním důsledkem nedokonalého spalování je snížení výkonu motoru a též hospodárnosti [6].

Z důvodu vzniku celé řady škodlivin jsou také povinné přísné kontroly emisí, které se provádějí například u osobních automobilů do 3500 kg pravidelně každé 2 roky. Dále jsou stanovovány emisní normy. Ty nesmí být v žádném případě překročeny. S rostoucím vývojem automobilového průmyslu a veškerých technologií v oblasti spalovacích motorů, jsou tyto normy neustále zpříšňovány. Oficiální název této normy je „Emisní norma EURO“ [4],[6].

První emisní norma vznikla již v roce 1993 a to pod názvem EURO 1. V průběhu let docházelo k jednotlivým úpravám této normy, a to až do dnešní verze, která nese název EURO 6. Ta je platná už od roku 2014.

Hlavním cílem norem je dosáhnout co možná nejmenšího množství škodlivých látek, které se dostávají z výfukového systému do ovzduší [4],[6].

## 4.2 Produkce škodlivých látek ve výfukových plynech

Již podle samotného označení složek jako škodlivé látky je zřejmé, že jejich měrná a absolutní produkce by měla být vlivem konstrukce motoru a způsobu jeho provozování co nejvíce snižována. To však bývá velice často spojováno se zhoršováním jiných vlastností motorů, například paradoxně produkcí jiných škodlivých látek. Z tohoto důvodu je nutné hledat co možná neoptimálnější postupy. Důležitým parametrem je i to, že koncentrace emisí je závislá především na teplotě a složení spalované směsi [1].

### 4.2.1 Složení výfukových plynů spalovacích motorů

Podstatou pístového spalovacího motoru je spalování paliva ve spalovacím prostoru, kde dochází ke slučování spalitelných prvků. Jedná se hlavně o vodík a uhlík s kyslíkem. Samotné spalování probíhá ve velmi krátkém čase a je tvořeno souborem složitých chemických a fyzikálních jevů. Při využití vzduchu jakožto okysličovačla je nejvýznamnější měřenou složkou dusík ( $N_2$ ) [1], [2].

Díky dokonalé oxidaci vodíku a uhlíku, které jsou obsažené v palivu, vzniká při spalování uhlovodíkového paliva se vzduchem voda ( $H_2O$ ) a oxid uhličitý ( $CO_2$ ). Pokud dochází k nedokonalé oxidaci výše zmíněných prvků, vznikají ve spalinách vodík ( $H_2$ ) a oxid uhelnatý ( $CO$ ). Ve výfukových plynech se také vyskytuje kyslík ( $O_2$ ), jeho množství se odvíjí od množství kyslíku nevyužitého při oxidaci paliva. To může být způsobené jeho přebytkem v čerstvé směsi paliva, nebo nedošlo k jeho využití z jiných důvodů [1].

Při oxidaci vzdušného dusíku vznikají ve spalovacím prostoru při vysokých teplotách oxidy dusíku ( $NO_x$ ). Ty se skládají z oxidu dusnatého ( $NO$ ) a malého množství oxidu dusičitého ( $NO_2$ ). Dalším prvkem, který může být obsažen ve výfukových plynech, jsou nespálené uhlovodíky ( $HC$ ), ty vznikají při nepříznivých lokálních, či globálních podmínkách při oxidaci paliva. Jejich složení se odvíjí od obsahu individuálních uhlovodíků ve směsi [2].

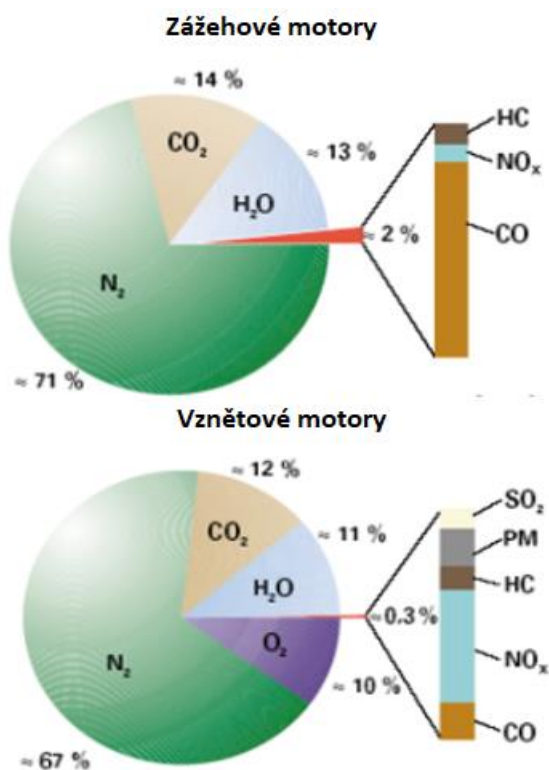
U motorů využívajících vnější tvorbu směsi se nespálené uhlovodíky objevují jako součást výfukových plynů i z toho důvodu, že část čerstvé směsi může unikat přímo do výfukového systému. Příčinou může být zkratové vyplachování. Jeho principem je, že čerstvá směs proudí přímo do výfukového kanálu a nepodílí se na vyplachování válce. V situaci, kdy není zajištěn přístup vzduchu, dochází při vysoké teplotě k dekompozici molekul uhlovodíků, což má za následek vznik pevného uhlíku neboli sazí [1].



Společně s výfukovými plyny opouští motor též určité malé množství dalších částic. Příkladem můžou být částice prachu, rzi, popel či produkty vzniklé tepelnou degradací mazacího oleje [1].

Například u motorové nafty je legislativně velice sledovaným parametrem obsah síry. Celosvětovým požadavkem je pak, aby byl její obsah co možná nejmenší. Důvodem je, že se při jejím spalování uvolňují oxidy síry, které se usazují na aktivní povrch oxidačního katalyzátoru a tím snižují jeho účinnost [2].

Z výše uvedených polutantů se řadí mezi sledované škodlivé látky CO, NO<sub>x</sub>, HC. Tyto látky se objevují jak u vznětových, tak i zážehových motorů. U vznětových se dále ještě vyskytují saze a částice [1].



Obrázek 14: Porovnání emisí vznětových a zážehových motorů [2]

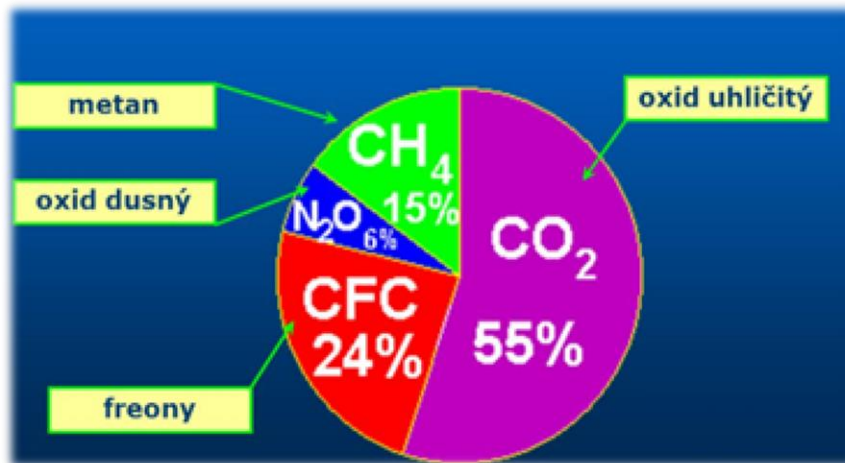
Na výše uvedených grafech je zřetelné, že základním rozdílem mezi vznětovým a zážehovým motorem je obsah a množství kyslíku (O<sub>2</sub>), síry a pevných částic u vznětového motoru. Z části složek výfukových plynů mohou vlivem působení slunečního záření vznikat oxidanty, mezi ně lze zařadit organické peroxidy, či ozón, ty pak mohou poškozovat životní prostředí. Z tohoto důvodu se redukuje pomocí většího množství opatření, jednak přímo u motoru a následně ve výfukovém systému [3].

### 4.3 Charakteristika a proces vzniku výfukových plynů

Vliv a případné následky působení jednotlivých složek výfukových plynů na lidský organismus se často liší. Důležitým parametrem jsou fyzické dispozice konkrétních jedinců a též doba, po kterou jsou dané složky vystaveny [3].

#### 4.3.1 Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)

Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) je plyn, který je pro lidský organismus neškodný. Přesto však patří mezi nejvýznamnější složku skleníkových plynů, které mají výrazný vliv na globálním oteplování planety viz (obr. 15). Podílí se na vzniku radiační clony, která následně omezuje odvod tepla ze země formou sálání. Tato situace se nazývá skleníkový efekt [9].



Obrázek 15: Přehled skleníkových plynů [9]

#### Vznik oxidu uhličitého

Následek dokonalé oxidace uhlovodíkových paliv je vznik oxidu uhličitého. Čím vyšší je jeho obsah ve spalinách, tím bylo dosaženo lepšího procesu spalování, a to jak po stránce emisí, tak i po stránce energetické [3].

Jedná se o látku, jejíž produkované množství je omezeno emisními limity, které stanovila EU. Momentálně je tento limit stanoven na hodnotu 136 g/km. Od roku 2021 by měla všechna vozidla splňovat maximální možnou produkci CO<sub>2</sub> ve výši 95 g/km. Dá se však předpokládat, že maximální povolené limity se budou neustále zpřísnovat, a proto je snahou konstruktérů jeho obsah co nejvíce snížit. Dnešní možnosti nám nabízejí pouze dvě možnosti, jak jeho množství omezit. Buď snížit množství spalovaných uhlovodíkových paliv, nebo využívat neuhlovodíková paliva [1].

### 4.3.2 Uhlovodíky (HC)

Uhlovodíky se řadí mezi nejrůznější komponenty, které mají rozdílné škodlivé účinky. Lze je charakterizovat jako nespálené uhlovodíky, které obsahují nejedovaté alkany, jedovaté aldehydy, karcinogenní aromaty a další [1], [9].

Uhlovodíky na denním světle reagují s oxidy dusíku a tím vznikají nebezpečné látky. V letních měsících se pak podílejí na vzniku jedovatého ozónu [9].

Uhlovodíky, které jsou obsažené v palivu, mají nejmenší obsah škodlivých látek a tím jsou řazeny mezi nejméně nebezpečné uhlovodíky pro lidský organismus. Oproti tomu máme nejnebezpečnější polutanty obsažené ve výfukových plynech, kam lze zařadit polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Jejich největší nebezpečí spočívá v možnosti vzniku rakovinotvorného účinku [9].

Negativně působí už při velmi malých expozičních dobách nebo nízkých koncentracích. V lidském organismu způsobují poruchu dýchacích cest a dráždí sliznice. Co se týče aromatických uhlovodíků, ty se vstřebávají v plicích a mohou být karcinogenní nebo mutagenní. Jedním z nejznámějších je benzo-a-pyren, který je karcinogenní [9].

#### Vznik uhlovodíků

Zkratka HC nám označuje nespálené uhlovodíky, které vznikají vlivem nedokonalé oxidační reakce mezi palivem a vzduchem. V některých případech se může stát, že neproběhla vůbec. Pokud dojde ke spalování extrémně chudé směsi, objeví se vysoká koncentrace nespálených uhlovodíků, stejný případ nastane i v případě, že směs je naopak extrémně bohatá [1], [9].

Do spalin se tyto látky dostávají z míst spalovacího prostoru, která mají nižší teplotu hoření. Často se jedná o okraje spalovacího prostoru, nebo úzké štěrbiny. Tyto místa se mohou někdy nazývat zhášecí zóny. Dalšími možnostmi vzniku uhlovodíků jsou například přímá ztráta paliva při procesu zkratového vyplachování, a to v čase překryvání ventilů nebo vznik při vnější tvorbě směsi [1].

Často dochází ke vzniku uhlovodíků i tím, že neproběhne dokonalá oxidace mazacího oleje. V praxi je požadováno, aby rychlost této reakce byla nejlépe nulová nebo alespoň co nejpomalejší, protože mazací olej by neměl být vůbec spalován. Toto platí pro čtyřdobé spalovací motory [1].

V neposlední řadě je negativním důsledkem vzniku nespálených uhlovodíků nejen znečišťování životního prostředí, ale i zhoršená energetická účinnost. Příčinou je, že

nespálené uhlovodíky mohly být při dokonalém spalování přeměněny na energii tepelnou a ve finále na mechanickou práci [1],[22].

### **4.3.3 Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>)**

Zkratka NO<sub>x</sub> je obecné označení pro mono-oxidy dusíku NO a NO<sub>2</sub>. Prvně jmenovaný oxid dusnatý (NO) je za normálních okolností jedovatý a bezbarvý. Ve vlhkém prostředí pak může mít leptající účinek. Zajímavostí může být, že mají relativně významnou biologickou roli v lidském organismu. Jejich přímá účinnost na lidský organismus je však nízká [1],[7].

Druhý jmenovaný je oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>), jedná se o červenohnědý a prudce jedovatý plyn. Ve volné přírodě ho lze zařadit k plynům, které mohou způsobovat kyselé deště. V lidském organismu působí na dýchací cesty a způsobuje jejich záněty, a to od lehkých forem až po vážný edém plic. Příznakem otravy tímto plynem je především nucení ke kašli a dušení. Tyto zdravotní problémy mohou nastat již při krátké expoziční době nebo nízké koncentraci [1],[7].

### **Vznik oxidů dusíku**

Některé oxidy dusíku mohou být zdraví škodlivé. Tyto oxidy vznikají v motoru, a to při vysokých teplotách a tlacích v průběhu hoření při přebytku kyslíku. Problémem jejich vzniku je především to, že moderní doba též vyžaduje nižší a nižší spotřebu paliva. Nižší spotřeby paliva však dosáhneme tím, že zajistíme vyšší teploty a tlak spalování a tím se zvýší i jeho účinnost. Nicméně vlivem vyšší teploty a tlaku dochází i ke zvýšení obsahu oxidu dusíku ve výfukových plynech [7].

V praxi to může znamenat, že „ekologický“ turbodiesel dosahuje sice nižších emisí CO<sub>2</sub>, ale z důvodu vysoké produkce látek NO<sub>x</sub> spadá pouze do emisní normy EURO 4. V dnešní době se problém s vysokým množstvím oxidů dusíku řeší tak, že pro jeho redukci se do výfukového systému vstříkuje kapalné aditivum AdBlue [1],[7].

### **4.3.4 Pevné částice (PM)**

Pevné částice (Particulate Matter), neboli saze jsou částice, které způsobují mechanické dráždění. Zároveň jde o nosiče nebezpečných mutagenů a karcinogenů. Jedná se o velmi malé částice vznikající u zážehových motorů, které využívají přímé i nepřímé vstřikování paliva a u vznětových motorů [10].

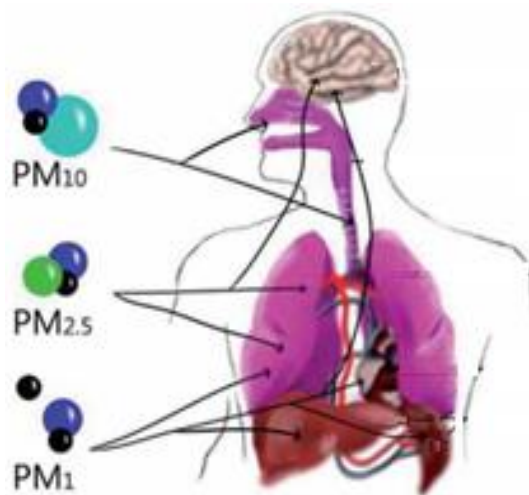
Samotné částice jsou tvořeny hlavně uhlíkem, sírany, amonné soli, dusičnany, některými kovy a případně se zde mohou objevit i polyaromatické uhlovodíky a těkavé

organické látky. Z hlediska velikosti se dělí na  $PM_{1,0}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  viz (obr. 16). Například částice  $PM_{1,0}$  je částice do velikosti 1  $\mu m$ . Platí zde pravidlo, že čím menší částice je, tím déle je schopna se udržet v ovzduší, než dojde k usazení. Konkrétně částice  $PM_{1,0}$  se může v ovzduší udržet až několik týdnů, pokud nedojde k jejímu spláchnutí deštěm [1].

Částice přesahující velikost 10  $\mu m$  by se měly bez větších problémů zachytit již v horních cestách dýchacích a níže do organismu se už nedostat, oproti tomu  $PM_{10}$  se usazují dále, a to v průduškách. Při hlubokém nádechu mohou putovat do vzdálených částí dýchacího ústrojí. Částice  $PM_{2,5}$  a  $PM_{1,0}$  jsou schopny v některých případech putovat až do plicních sklípků. Z tohoto důvodu se považují za nejnebezpečnější [10].

Prachové částice usazené v plicích a průduškách škodí nejen samotným mechanickým zaprášením, ale mnohem větší problém je obsah rakovinotvorných a jedovatých látek, které jsou v prachu. Mezi tyto látky patří kadmium, nikl, chrom, arzen, mangan nebo olovo [10].

Při dlouhodobějším vystavení těmto látkám ve vysokých koncentracích hrozí, že dojde k poškození srdečního a dýchacího ústrojí, to může mít za následek zkrácení délky života a vyšší kojeneckou úmrtnost. V dnešní době je největším producentem těchto nebezpečných látek právě automobilová doprava, a to až ze 2/3 [10].



Obrázek 16: Pronikání částic do lidského těla [11]

### **Vznik pevných částic**

Pevné částice jsou částice vznikající při spalování uhlovodíkových paliv při vysokých teplotách bez přístupu kyslíku. Na základě tohoto faktu je zřejmé, že nejvyšší koncentrace částic nastane při nízkém podílu kyslíku ve spalovacím prostoru. Hlavním

důvodem vysoké koncentrace je nehomogenita směsi, která vzniká uvnitř kapek paliva, jelikož zde není obsažen žádný kyslík [1],[22].

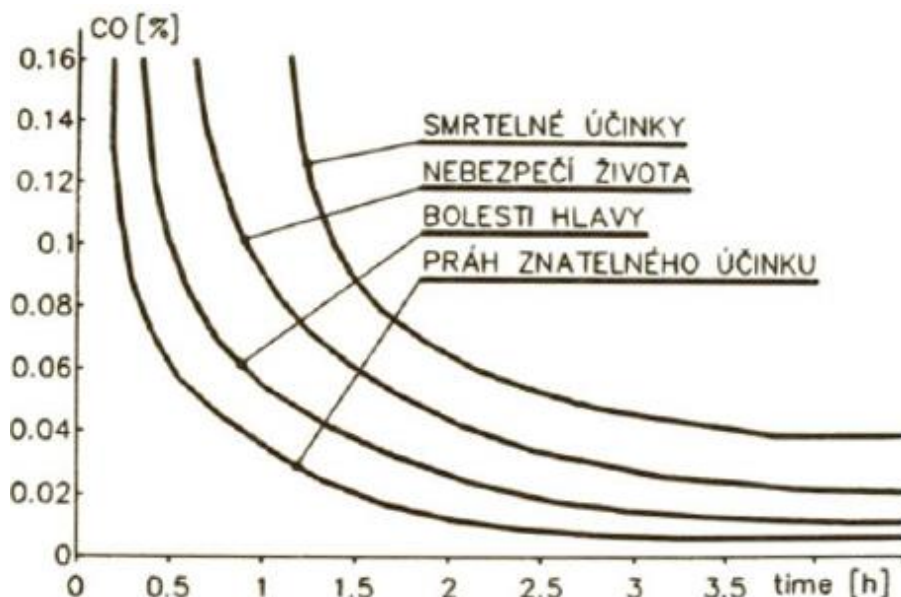
Tyto pevné částice byly dříve záležitostí pouze vznětových motorů. Dnes se však tento problém týká i zážehových motorů s využitím přímého vstřikování. Zde vznikají částice na stejném principu jako u vznětových motorů [22].

#### 4.3.5 Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn, bez zápachu a bez chuti. Dále je dráždivý, hořlavý a lehčí než vzduch [7].

Jedná se o plyn, který se snadno váže na krevní barvivo, jinak řečeno hemoglobin, a to 200 - 300x rychleji, než tomu je u kyslíku. Z tohoto důvodu je kyslík vytěšňován, což způsobuje, že nedochází k dostatečnému přenosu kyslíku z plic do tkání. Proto se označuje jako jedovatý [7].

Jelikož tento plyn není schopen pronikat pokožkou, je jedinou možností, jak se dostane do těla, vdechování. Příznakem lehčí otravy může být bolest hlavy, tlak na prsou, bušení srdce v hlavě či závratě. Dostavuje se i celková nevolnost a zvracení. V nejkrajnějším případě může dojít i ke smrti člověka. Z hlediska statistik je oxid uhelnatý jednou z nejčastějších příčin otravy vůbec. [7],[12].



Obrázek 17: Závislost doby expozice na koncentraci CO [2]

#### Vznik oxidu uhelnatého

Oxid uhelnatý je produkt nedokonalého spalování směsi, která je vstřikovaná do spalovacího prostoru. Důvod nedokonalého spalování je ten, že je při něm nedostatek

kyslíku, nízká teplota nebo krátký čas spalování, který nedovoluje vstříkované směsi oxidovat za vzniku oxidu uhličitého. Obecně platí, že oxid uhelnatý hoří modrým plamenem a při hoření se při správných podmínkách oxiduje na oxid uhličitý, jehož produkované množství je v dnešní době též regulované dle evropských předpisů [12].

S neustálým rozvojem techniky a technologii je jednou z možností i elektrický pohon. Jedná se o označení souboru všech technických prostředků, které zajišťují pohon jakéhokoliv strojního mechanismu pomocí elektrické energie [12].

#### **4.3.6 Další emisní složky**

**N<sub>2</sub>** – mezi další látky obsažené v emisích patří i dusík. Je to bezbarvý, nejedovatý plyn bez zápachu a je nehořlavý. Je též hlavní složkou vzduchu. Větší část dusíku se po ukončení spalovacího procesu vrací zpět do ovzduší ve výfukových plynech. Jeho další část pak reaguje s kyslíkem za vzniku oxidů dusíku NO<sub>x</sub> [7].

**O<sub>2</sub>** – kyslík je nejedovatý, bezbarvý plyn bez zápachu a chuti. Je jednou z nezbytných součástí pro proces spalování [7].

**H<sub>2</sub>O** – voda se do výfukových plynů dostává převážně ve formě vodní páry, a to společně s nasávaným vzduchem [7].

### **4.4 Faktory ovlivňující vznik emisí**

Samotný proces spalování paliva v pístovém spalovacím prostoru je velmi složitý fyzikálně-chemický děj, který probíhá při každém oběhu za velice krátký časový úsek. Aby došlo k oxidaci paliva, je nutné zvolit vhodný způsob přivedení okysličovadla. V tomto případě kyslík ze vzduchu [13],[14].

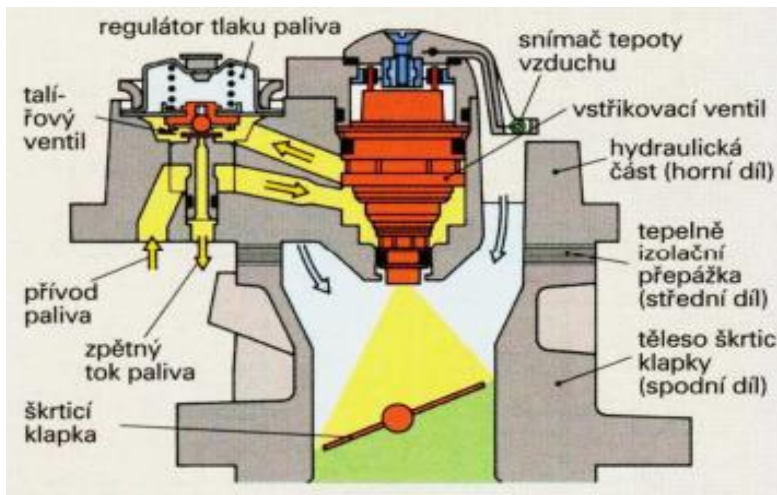
K dokonalé oxidaci spalovaného paliva, což znamená úplné vyhoření veškerého paliva a vzniku produktu odpovídajícího dokonalému hoření (tj. CO a H<sub>2</sub>O), je nutné zajistit k 1 kg paliva minimálně takzvané teoretické množství suchého vzduchu. Vytvořená směs paliva se vzduchem, která obsahuje toto teoretické množství vzduchu, se v praxi označuje jako stechiometrická směs [13],[14],[15].

#### **4.4.1 Stechiometrický poměr**

K ideálnímu a tím i úplnému spalování u zážehových motorů dochází tehdy, když je poměr paliva a vzduchu ve spalované směsi 14,7 kg vzduchu na 1 kg paliva. Objemově lze tento poměr vyjádřit jako 1,3 litru benzínu ku 11,4 m<sup>3</sup> vzduchu. V reálných

podmínkách se pak používá směšovací poměr v intervalech od 12:1 (bohatá směs) do 18:1 (chudá směs). K regulaci se využívá škrticí klapka viz (obr. 18) [15].

U vznětových motorů je stechiometrický poměr o něco nižší než u motorů zážehových. Jeho hodnota je 14,5 kg vzduchu na 1 kg paliva. V reálných podmínkách se u vznětových motorů používá směšovací poměr v intervalu 18:1 (bohatá směs) až 70:1 (velmi chudá směs) [13],[14],[15].



Obrázek 18: Princip funkce škrticí klapky [15]

#### 4.4.2 Součinitel přebytku vzduchu $\lambda$

Součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$  patří mezi hlavní faktory určující složení paliva. Přesně vyjadřuje, v jakém poměru je skutečně přivedená hmotnost vzduchu k hmotnosti vzduchu, která je potřebná pro dosažení stechiometrického spalování. Poměr lze spočítat dle následujícího vzorce [16]:

$$\lambda = \frac{\text{množství přivedeného vzduchu v kg}}{\text{teoreticky potřebné množství vzduchu v kg}} \quad (4)$$

Nebo lze využít vzorec:

$$\lambda = \frac{M_V}{M_P L_{VT}} \quad (5)$$

$M_V$ .... hmotnost suchého vzduchu obsaženého ve směsi (kg)

$M_P$ .... hmotnost paliva obsaženého ve směsi (kg)

$L_{VT}$ .... teoreticky potřebné množství suchého vzduchu k zajištění dokonalé oxidace 1 kg paliva (kg/kg) [13],[16].

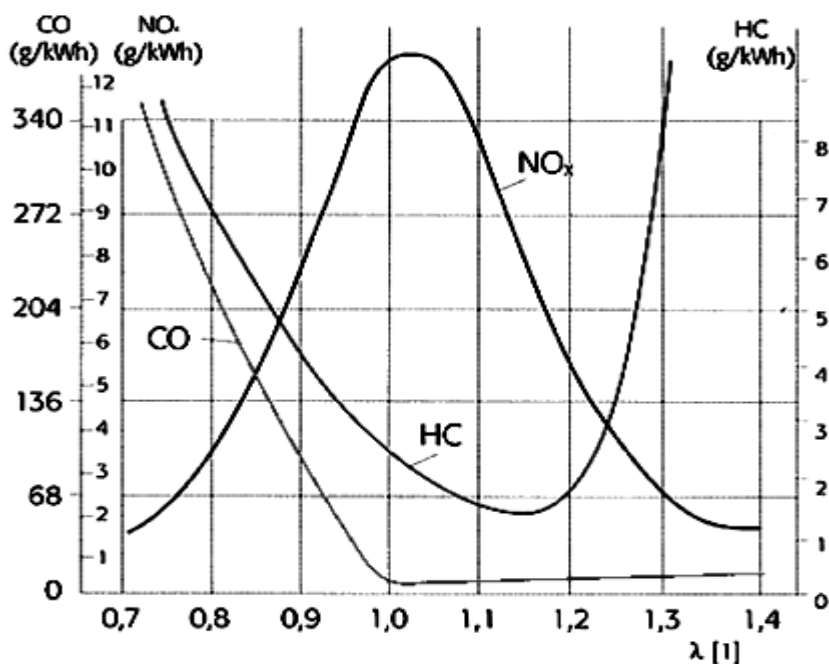


#### 4.4.3 Vliv velikosti součinitele přebytku vzduchu

- $\lambda = 1$  – skutečně přivedené množství vzduchu je shodné s teoretickou spotřebou [2].
- $\lambda < 1$  – nedostatečné množství vzduchu, jedná se o bohatou směs. Nejvyššího výkonu je možné dosáhnout při hodnotách 0,85 až 0,95 [2].
- $\lambda > 1$  – jedná se o přebytečné množství vzduchu, to znamená, že směs je chudá. Tato situace nastává od hodnot 1,05 až 1,3. Při těchto hodnotách součinitele přebytku vzduchu je možné zpozorovat snížení spotřeby paliva a nižší výkon [2].
- $\lambda > 1,3$  – směs s těmito hodnotami už není možné zapálit. Způsobuje vynechávání spalování a nerovnoměrný chod motoru [2].

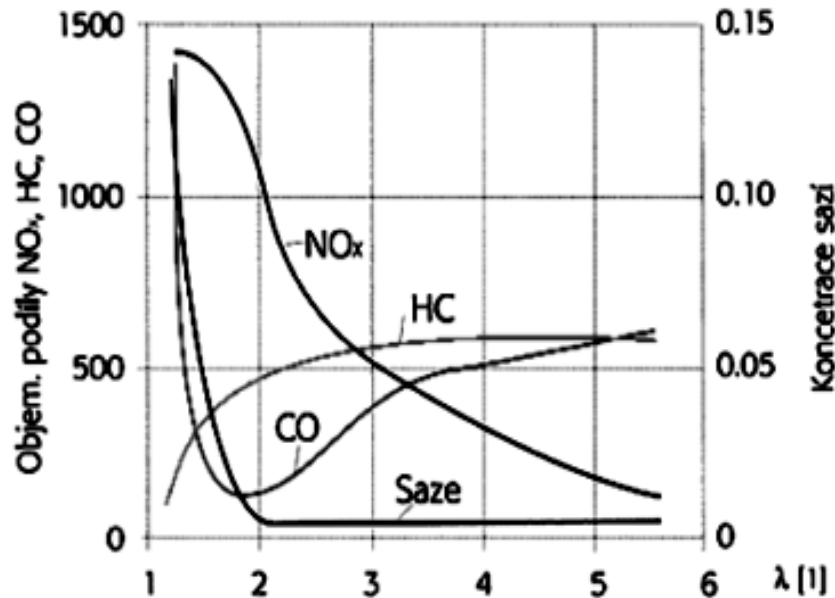
#### 4.4.4 Součinitel přebytku vzduchu a jeho vliv na složení emisí

V praxi neexistuje přesná a ideální hodnota součinitele přebytku vzduchu, která by zajišťovala, že sledované emisní složky budou dosahovat nejideálnějších hodnot. Za nejideálnější se proto uvádí rozmezí hodnot  $\lambda = 0,9 - 1,1$ , které se v praxi osvědčily. Tyto hodnoty jsou charakteristické pro zážehové motory, které při provozu využívají homogenní směs. Pokud by se jednalo o chod při vrstvené směsi, pak by se součinitel přebytku vzduchu pohyboval okolo  $\lambda = 1,5 - 3,0$  [2].



Obrázek 19: Vliv součinitele přebytku vzduchu na složení emisí u zážehového motoru [1]

Z pohledu dnešních moderních vznětových motorů, je součinitel přebytku vzduchu při plném zatížení  $\lambda = 1,4$ . Což znamená, že se směs obohacuje až na samou hranici kouření. Pokud jde o chod naprázdno, pak se hodnota bude pohybovat okolo hodnoty  $\lambda = 3,4$  [2].



Obrázek 20: Vliv součinitele přebytku vzduchu na složení emisí u vznětových motorů [1]

#### 4.4.5 Lambda sonda

Lambda sonda je v dnešní době nedílnou součástí každého výfukového potrubí automobilů. A jejím hlavním úkolem je měření výfukových plynů a zajištění signálu pro řízení spalování motoru. Zajišťuje tedy zpětnou vazbu pro řídicí jednotku [16].

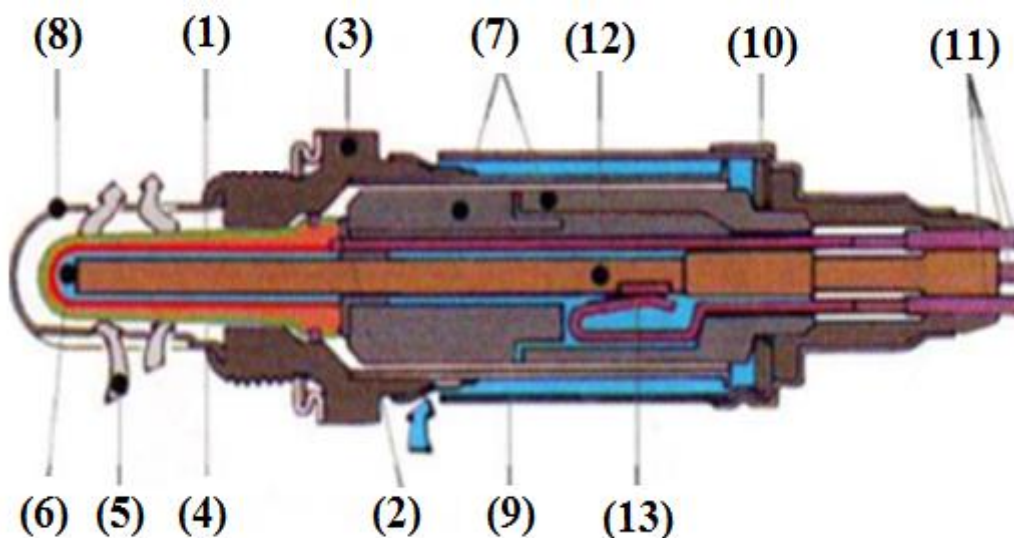
To, co se odborně nazývá Lambda sonda, je tedy ve skutečnosti senzor kyslíku ve výfukových plynech, který je nutno využívat pro řízení spalování u motorů s třicestným katalyzátorem. Cílem je především snížit koncentraci škodlivých látek. To znamená, že Lambda sonda udává přesnou koncentraci kyslíku ve výfukovém potrubí. Získaná hodnota napětí na výstupu pak řídí poměr paliva a vzduchu ve válci nebo sání tak, aby bylo dosaženo co neoptimálnější směsi. Za tu se považuje stechiometrický poměr [16].

Princip funkce samotného lambda senzoru je na bázi baterie, kde za přítomnosti různé koncentrace kyslíku na mikropórovitých platinových elektrodách, mezi kterými se nachází pevný elektrolyt, vzniká elektrické napětí. To je přímo úměrné rozdílu koncentrace kyslíku. Pro zajištění co nejlepší funkce je zapotřebí, aby byl senzor zahřát na provozní teplotu, která se pohybuje okolo 550 °C [17].

Životnost Lambda sondy se při dodržování předepsané údržby vozidla a tankování kvalitního paliva uvádí přibližně 160 až 200 000 kilometrů. Senzor může selhat i předčasně, a to z důvodu zanesení uhlíkem, olovem z paliva nebo průnikem nemrznoucí směsi do výfukového potrubí [19].

Provozní schopnost sondy má tendenci se s jejím stářím snižovat tak, jak se akumulují nečistoty na hrotu senzoru a postupně redukuje její schopnost vytvářet napětí. Tento druh zhoršení účinnosti může být způsoben různými látkami, které se dostávají do výfuku. Patří sem například olovo, síra, silikon, spálený olej či aditiva z paliva. Senzor může být poškozen i environmentálními faktory jako voda, sůl, olej nebo jiné nečistoty [20],[21].

#### 4.4.5.1 Schéma lambda sondy



Obrázek 21: Konstrukce lambda sondy [18]

- |                                |                                    |
|--------------------------------|------------------------------------|
| (1) – aktivní keramika sondy   | (8) – ochranná kovová trubka       |
| (2) – kontaktní část           | (9) – ocelové pouzdro              |
| (3) – těleso sondy             | (10) – talířová pružina            |
| (4) – porézní keramická vrstva | (11) – připojovací vodiče          |
| (5) – výfukové plyny           | (12) – vyhřívací tělísko           |
| (6) – vzduch                   | (13) – kontakt vyhřívacího tělíska |
| (7) – opěrná trubka            |                                    |

## 4.5 Dopad automobilové dopravy na životní prostředí

Jak může být zřejmé z předchozích kapitol, pokud dochází při dopravě k produkci škodlivých látek, je jisté, že z dlouhodobého hlediska bude mít tato činnost obecně nějaký negativní dopad a vliv na životní prostředí [22].

Tato situace je o to horší, že na rozdíl od průmyslových továren a dalších podobných zařízení viz (obr. 22) doprava uvolňuje škodlivé látky přímo do nejnižší vrstvy atmosféry. To je problém především v oblastech, které jsou hustě obydlené, jako jsou centra měst a podobné lokality [23].



*Obrázek 22: Znečištění ovzduší [24]*

### 4.5.1 Vliv znečištění na ovzduší

Negativní dopady na životní prostředí se rozdělují do několika skupin. První skupinou je znečištění ovzduší.

Při zaměření na jednotlivé složky vznikajících látek, pak lze hlavní dopady shrnout zhruba tímto způsobem – oxid uhličitý je v dnešní době jednou z nejvíce diskutovaných látek z hlediska znečištění ovzduší [25].

Hlavním důvodem je to, že se jedná o nejdůležitější skleníkový plyn a podílí se na globálním oteplování až z 50 % [25]. Pro lidský organismus není oxid uhličitý nebezpečný. Oxidy dusíku napomáhají ke vzniku přízemního ozónu. Jedná se o ozón, který výrazně zhoršuje kvalitu ovzduší, a to hlavně v letních měsících [26]. Pevné neboli prašné částice mají původ v činnosti vznětových motorů. Příčinou je složení nafty, která

na rozdíl od benzínu obsahuje více uhlíku a nedochází zde k tak dokonalému spalování, jak tomu je u zážehových motorů. Tyto částice mají různou velikost a různé složení. Jejich vliv na okolní prostředí je viditelný na první pohled, a to znečištěním v okolí vytěžovaných pozemních komunikací. Další rizika jsou spojená přímo s lidským organismem, kde pevné částice mohou způsobit jak lehčí, tak i závažná onemocnění. Největší nebezpečí hrozí od částic menších než 1  $\mu\text{m}$ , protože se díky svým rozměrům mohou dostat skrz plicní sklípky až do krevního oběhu. Následky se pak odvíjí od složení pevných částic. Nejnebezpečnějšími sloučeninami jsou arzen, olovo či kadmium, což jsou rakvinotvorné a jedovaté látky [25].

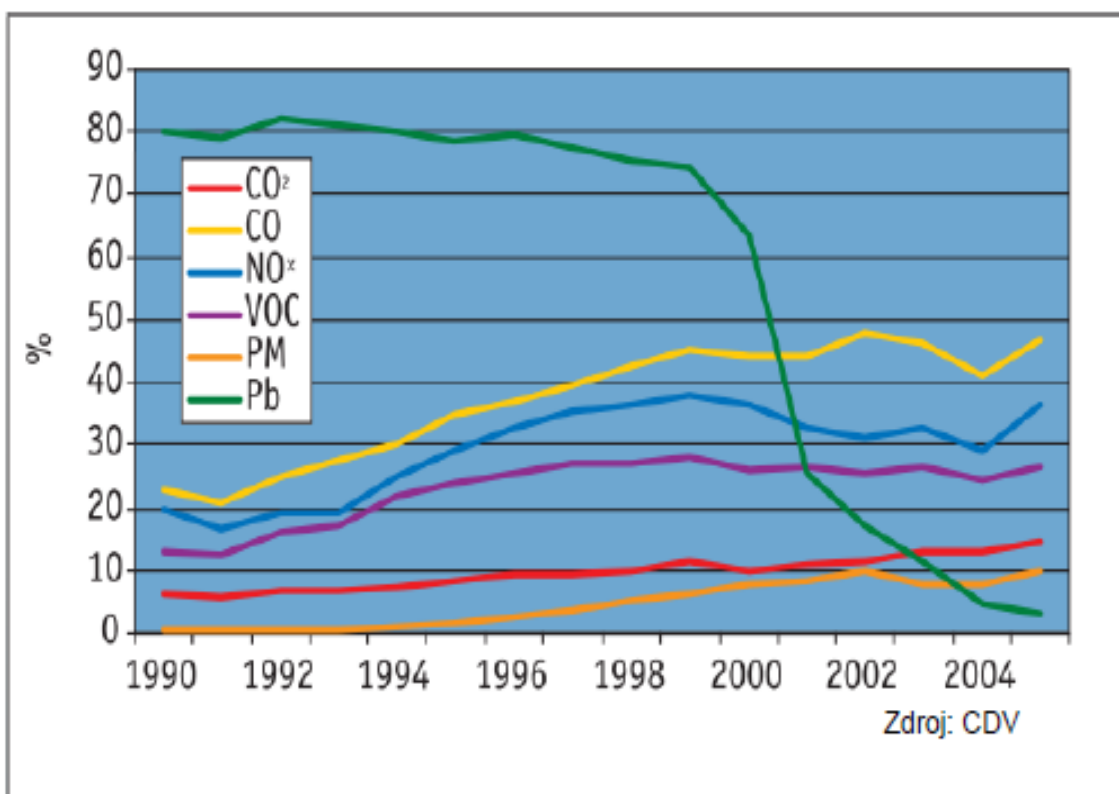
Jako názorný příklad je možné ukázat vůz Ford Ranger se vznětovým motorem a vůz Porsche Boxter S se zážehovým motorem viz (obr. 23).



Obrázek 23: Porsche Boxter S a Ford Ranger [27]

Znečišťování ovzduší vlivem nárůstu dopravy se od roku 1990 zvyšovalo jak v relativním, tak i v absolutním měřítku, a to z pohledu celkových emisí jednotlivých látek. Toto tvrzení však neplatí pro všechny škodliviny [26].

V některých případech byl nárůst využití dopravy, a tím i spotřebovaného paliva, převážen zavedením katalyzátorů, jejichž úkolem je co nejvíce eliminovat znečištění. Dalším důležitým faktorem je zákaz používání olovnatého benzínu, čímž se radikálně snížilo množství olova v benzínu viz (obr. 24). Toto nařízení platí od 1.1.2001 [26].



Obrázek 24: Vývoj složek emisí v dopravě na celkových emisích v ČR [26]

#### 4.5.1.1 Statistické údaje o znečištění ovzduší

Pokud se budou brát v úvahu statistické údaje, které vydává Ministerstvo dopravy pro Českou republiku, lze získat přibližný přehled o tom, jaký je trend ve využívání paliv. Také je možné získat povědomí o jednotlivých látkách uvolňovaných do ovzduší za roky 2010 až 2016 [28].

#### Spotřeba pohonných hmot v automobilové dopravě (tis. t)

	2010	2012	2013	2014	2015	2016 <sup>4)</sup>
Motorový benzin <sup>2)</sup>	1 845	1 656	1 557	1 557	1 563	1 592
Letecký benzin	2	2	2	2	3	3
Letecký petrolej	310	286	276	285	287	309
Motorová nafta <sup>3)</sup>	3 593	3 696	3 746	3 943	4 145	4 336
Biosložky do MOBI	90	87	83	102	98	74
Biosložky do MONA	196	248	253	284	264	286
LPG	77	86	89	98	98	99

Obrázek 25: Spotřeba pohonných hmot v automobilové dopravě [28]

Z předešlých údajů je zřejmé, že od roku 2010 do roku 2016 se spotřeba motorového benzínu pozvolna snižovala. Přesně opačný trend měla spotřeba motorové nafty, která v posledních letech roste. Hlavním důvodem tohoto nárůstu je pravděpodobně ekonomický faktor, kde se nafta prokazuje nižší cenou. Celková spotřeba nafty za uplynulé období, se pohybuje okolo 23 500 tisíc tun, oproti spotřebě motorového benzínu, která činí 12 770 tisíc tun, což je 1,8x méně. Dalším důvodem tohoto značného rozdílu může být i rozvoj nákladní a autobusové dopravy, kde je využíváno prakticky pouze vznětových motorů, tedy motorů na motorovou naftu, jejich zásadní výhodou je menší spotřeba, delší životnost. Vzhledem k výše uvedeným statistickým údajům je možno konstatovat, že i přes menší spotřebu vznětové motory produkují větší množství emisí než motory zážehové [28].

Závěrem lze aktuální situaci zhodnotit tak, že ačkoli spotřeba benzínu klesla o 14 % a spotřeba nafty vzrostla o 18 %, dochází z dlouhodobého hlediska ke zhoršení situace. Východiskem může být další rozvoj systémů pro snižování emisí automobilových spalovacích motorů [28].

### **Celkové emise vznikající v dopravě (tis. t)**

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
CO <sub>2</sub>	18 113,5	18 124,3	17 742,2	17 578,0	18 241,4	18 960,7
CO	104,6	90,7	79,0	70,9	68,1	62,9
NO <sub>x</sub>	54,6	50,1	45,2	42,5	42,1	40,4
N <sub>2</sub> O	2,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3
těkavé organické látky	19,3	16,7	14,6	13,2	12,7	11,7
CH <sub>4</sub>	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0
SO <sub>2</sub>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
částice	3,3	2,9	2,6	2,4	2,3	2,1
Pb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Zdroj: MD

Obrázek 26: Celkové emise v automobilové dopravě [29]

Z uvedené tabulky hodnot pro roky 2010 až 2015 lze vyčíst, že hodnoty legislativně sledovaných látek mají z dlouhodobého hlediska klesající trend. Nejvíce viditelné je to u oxidu uhelnatého, kde se jeho produkce snížila až o 41,7 tisíc tun. Oxidy dusíky poklesly o 11,8 tisíc tun. Opačný trend se objevuje u oxidu uhličitého, který nepatří mezi sledované a zdraví nebezpečné látky. Jeho nárůst činí 847,2 tisíc tun. Až v posledních letech se klade důraz na konstruování motorů, tak aby bylo zajištěno snižování i tohoto plynu [29].



## 4.5.2 Ostatní negativní faktory ovlivňující životní prostředí

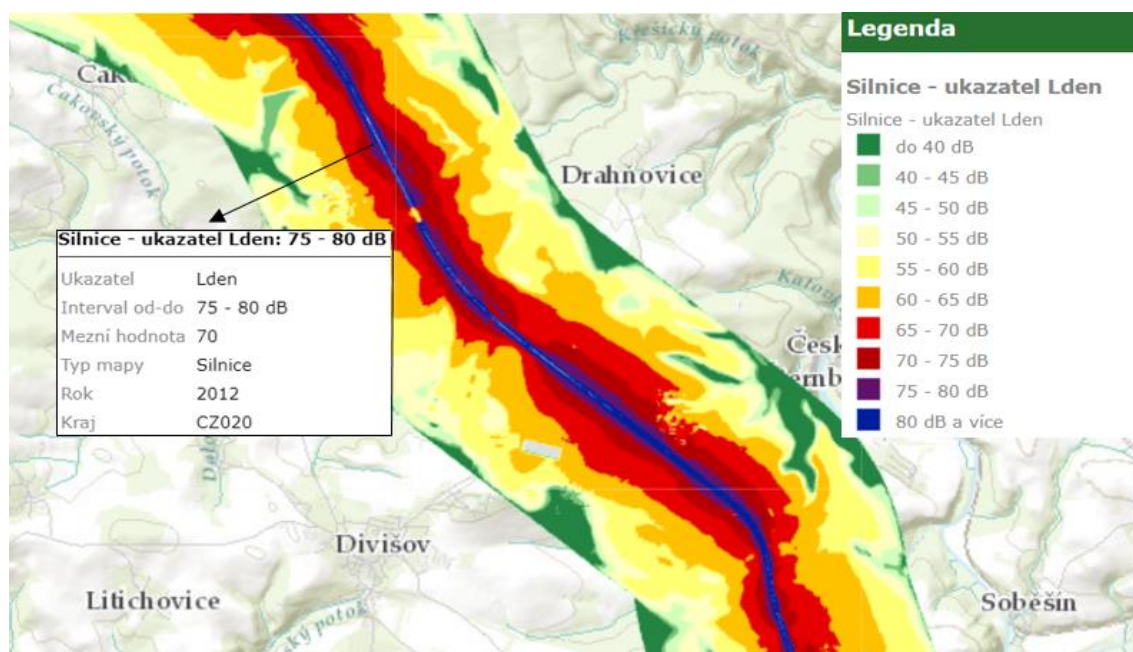
Mezi další negativní faktory dopravy, které mají neblahý dopad na životní prostředí, mimo znečištění ovzduší jsou například hluk, vibrace a zábory půdy [30],[32].

### 4.5.2.1 Vibrace a hluk

Hluk lze definovat jako nepříjemný zvuk, který je ve většině případů vydáván v nadměrné intenzitě. Při velmi nízkých frekvencích je pak doprovázen vibracemi. Co se jednotek týče, zvuk je uváděn v decibelech [dB] a je obecně platné, že hodnota 40 dB je hraniční hodnota pro označení hluku jako rušivého. Při překročení hodnoty 60 dB už lze mluvit o riziku nebezpečných účinků na zdraví člověka a všech ostatních živočichů. S hlukem v dopravě se lze nejčastěji setkat na hodně frekventovaných místech městských částí [30].

Vliv na člověka je pak prokázán studií. Studie uvádí, že může způsobovat zvýšení krevního tlaku, stažení cév, zvýšená hladina adrenalinu, ztráta hořčičku, zrychlený tep. Pokud by byl člověk hluku vystavován častěji a po delší dobu, mohlo by dojít ke zhoršení paměti, depresím, únavě a dalším podobným stavům, které by zhoršovaly kvalitu života. Hluk je rizikový i v nočních hodinách, kdy negativním způsobem ovlivňuje kvalitu a hloubku spánku [30].

Snížení hluku a tím i vibrací je možné hned několika způsoby. Nevýhodou však je, že s většinou z nich se musí počítat už dopředu, a to už při projektování. Hlavními prvky jsou vhodná konstrukce, znalost prostorové akustiky a jiná technická opatření. Další možnost je pak využití zvukové izolace [30].



Obrázek 27: Grafické znázornění hluku na úseku dálnice D1 [31]



Pokud se vezme v potaz hodnocení výsledků měření Ministerstva zdravotnictví z roku 2012, které spolupracuje se společností Var viz (obr. 27), je vidět, že na 45 km dálnice D1 je hlukové zatížení v rozmezí 75-80 dB. Tato hodnota přesahuje bezpečnou mez, pokud se vezme v úvahu vliv na lidské zdraví. Důležité je i říci, že zobrazený úsek dálnice patří mezi méně frekventované. Toto je jeden z důvodů, proč není povolena výstavba obydlí v těsné blízkosti těchto lokalit [30].

#### **4.5.2.2 Zábory půdy**

Zábory půdy vlivem výstavby pozemních komunikací se dá hodnotit jak kladně, tak i záporně. Kladem je spojování obcí, měst či zemí mezi sebou a tím zajišťovat co nejlepší přepravní podmínky. Naopak negativem je, že komunikace od sebe oddělují rostliny a živočichy, a to rozdělením jejich přirozeného prostředí [32].

Pod pojem zábory půdy lze zařadit nejen výstavbu pozemních komunikací, ale též i nákupní střediska, obytné prostory, průmyslové stavby a další výstavby. Zajímavým faktem je i to, že Česká republika má ve srovnání s okolními státy nejrychleji klesající podíl půdy vlivem jeho zastavění. Konkrétně se jedná až o 25 ha půdy, které jsou každý den zastavěny [32].

Se záborem půdy, též souvisí i další znečištění ovzduší. Mimo prachu se vlivem využití velkého množství stavebních strojů viz (obr. 28), které jsou poháněny silnými vznětovými motory, dostávají do vzduchu i výfukové plyny. Problémem však je, že v dnešní neustále se rozvíjející době, není možné s touto situací příliš dělat [32].



*Obrázek 28: Zábory půdy [33]*

## 4.6 Přehled emisních norem a předpisů

Při uvažování, že dochází k dokonalému spalování paliva v motoru, poté by výfukové plyny obsahovaly pouze oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a vodu (H<sub>2</sub>O). Nicméně tak pokročilou technikou žádný stroj nedisponuje, a z toho důvodu je nutné mít stanovené předpisy. Ty jsou omezeny konkrétními mezinárodními normami. Normy limitují výše zmíněné nežádoucí škodlivé látky ve výfukových plynech. Jedná se o oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), oxid uhelnatý (CO), uhlovodíky (HC) a množství pevných částic (PM) [34].

První předpis byl zaveden už v roce 1970, který vycházel z technické úrovně a vyspělosti tehdejšího automobilového průmyslu. S uplynulým časem dochází k neustálým úpravám a zpřísnování těchto norem. Tento trend má za následek, že konstruktéři jsou nuceni hledat stále nová a lepší řešení [34].

### 4.6.1 Emisní norma EURO

Jedná se o mezinárodní ustanovení, které stanovuje limitní hodnoty pro výfukové plyny v zemích Evropské unie. První norma EURO byla uvedena v platnost v roce 1992. Od této doby dochází prakticky pravidelně k vydání nové a upravené normy, a to v intervalu čtyř let. Poslední normou je EURO 6 z roku 2014. Podrobný přehled vydaných norem lze vidět v tabulce 1 a 2. Hodnoty v normě EURO se udávají v gramech na kilometr [35].

#### 4.6.1.1 Přehled norem EURO vztahujících se na zážehové motory

Tabulka 3: Přehled norem EURO pro zážehové motory [35]

Rok	Norma	CO (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	HC (g/km)	HC + NO <sub>x</sub> (g/km)
1992	1	3,16	-	-	1,13
1996	2	2,2	-	-	0,5
2000	3	2,3	0,15	0,2	-
2005	4	1	0,08	0,1	-
2009	5	1	0,06	0,1	-
2014	6	1	0,06	0,1	-

Z výše uvedené tabulky je viditelné, že od roku 1992 do roku 2014 došlo k razantnímu zpřísnění limitních hodnot. K největšímu rozdílu došlo v povoleném množství oxidu uhelnatého (CO), které je více než trojnásobně menší. Od roku 2000 také došlo k rozdělení limitů produkovaných uhlovodíků (HC) a oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>), které byly do té doby brány společně [35].

#### 4.6.1.2 Přehled norem EURO vztahujících se na vznětové motory

Tabulka 4: Přehled norem EURO pro vznětové motory [35]

Rok	Norma	CO (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	HC + NO <sub>x</sub> (g/km)	PČ (g/km)
1992	1	3,16	-	1,13	0,18
1992	2	1	-	0,7	0,08
2000	3	0,64	0,5	0,56	0,05
2005	4	0,5	0,25	0,3	0,025
2009	5	0,5	0,18	0,23	0,005
2014	6	0,5	0,08	0,17	0,005

Na této tabulce lze pozorovat, že oproti zážehovému motoru přibyla jedna položka a to pevné částice. Tyto limitní hodnoty částic se pro jejich nebezpečnost zpřísnily od normy EURO 1 do normy EURO 6 dokonce 36x [35].

Při porovnání obou předpisů současně, je viditelné, že normy pro zážehové a vznětové motory byly v normě EURO 1 prakticky bez rozdílu.

Až později s vydáním upravených norem začalo docházet k snižování povolených limitních hodnot výfukových plynů, které převládaly u jednotlivých druhů motorů. Příkladem je vyšší tolerance u oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) vznětových motorů oproti motorům zážehovým, nebo naopak vyšší tolerance oxidu uhelnatého (CO) u zážehových motorů. Obecně lze ale konstatovat, že došlo ke snížení všech emisních složek s cílem chránit životní prostředí [34], [35].

#### 4.6.2 Průběh zkoušky EURO

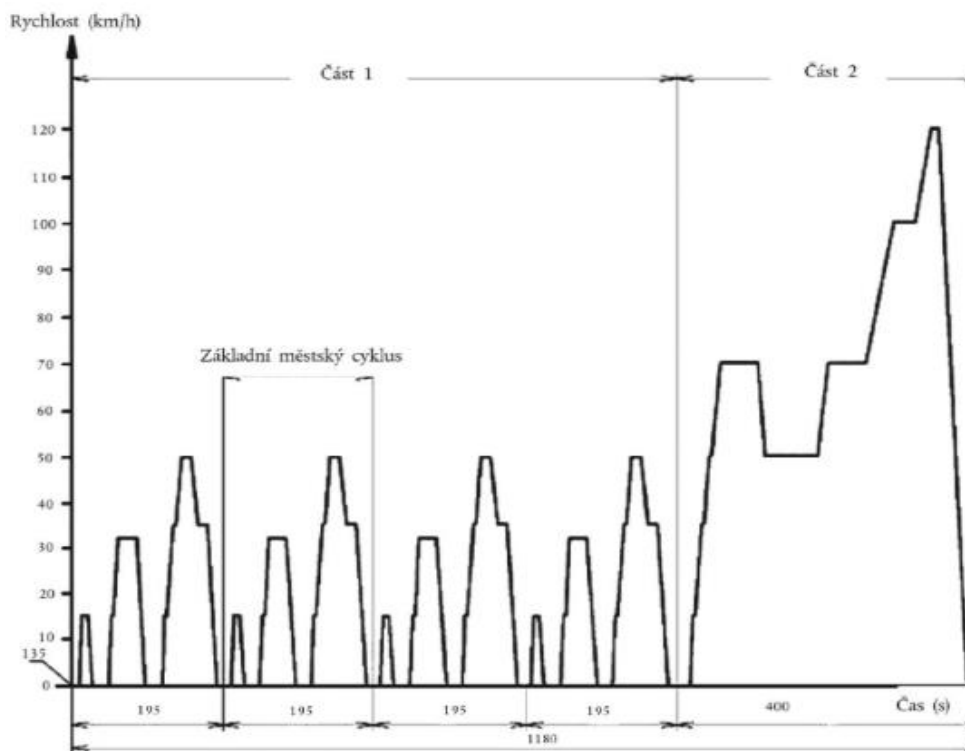
Aby byla zkouška EURO splněna, musí testované vozidlo splnit dohromady 7 základních zkoušek [35]. Tyto zkoušky jsou:

### a) Zkouška I

Tato zkouška je nejdůležitější zkouškou ze všech. Ověřuje složení emisí, které vznikají po studeném startu. Podmínky zkoušky a jednotlivé postupy jsou detailněji popsány v kapitole č.3. Obecně se ale dá říci, že zkouška probíhá v laboratorních podmínkách na vozidlovém dynamometru. Zde se simuluje městský i mimoměstský cyklus jízdy viz (obr. 29) [35].

První část níže zobrazené zkoušky obsahuje čtyři hlavní městské cykly a má přesně danou dobu trvání, to je 780 sekund. Také si lze všimnout, že se využívají jen tři rychlostní stupně. Průměrná rychlost se v první části pohybuje okolo hodnoty 19 km/h a to na úseku dlouhém 4 km. Každý ze čtyř cyklů má 1 km [35].

V druhé části zkoušky je simulován provoz mimo město. Doba trvání je 400 sekund a průměrná rychlost se pohybuje okolo 62 km/h. Za těchto podmínek urazí vozidlo 6,955 km [35].



Obrázek 29: Průběh jednotlivých cyklů při zkoušce EURO [35]

Je však nutné brát tyto testy s rezervou. Důvodem je, že takový test se může značně lišit od reality. Například je složité simulovat jízdu do kopce a další podobné podmínky. Vzniká pak riziko, že si výrobci pod tíhou zpřísnování limitů, budou hledat legální nebo nelegální cesty, jak si testy upravit ve svůj prospěch [35].

b) Zkouška II

Tato zkouška je zaměřená na zjišťování množství oxidu uhelnatého (CO) a oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), jehož maximální produkce je stanovena předpisy EU. Měří se na standartně zahřátém motoru [35].

c) Zkouška III

Zde je zkouška zaměřena na tlak v klikové skříni. Aby byla zkouška splněna, musí být tlak nižší, než je atmosférický [35].

d) Zkouška IV

V této zkoušce se měří množství vypařených uhlovodíků u vozidel se zážehovým motorem. Měření probíhá v uzavřeném prostoru 24 hodin a to se zahřátým vozidlem, které má najeto minimálně 3000 km [35].

e) Zkouška V

Cílem zkoušky je testování životnosti vozidla, které má najeto 80 000 km. Důležitým faktorem je to, že nezáleží jestli byly tyto kilometry ujety na zkušební dráze, dynamometru či silnici. Poté se měří v různých režimech poměru paliva a vzduchu jeho emisní způsobilost [35].

f) Zkouška VI

Zde se vyhodnocuje množství uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO) při studeném startu za nízké teploty -7 °C [35].

g) Zkouška VII

Poslední zkouškou je zkouška OBD<sup>1</sup>. Principem je simulace chybně fungující součásti řídicí jednotky motoru či systému zajišťující regulaci emisí. Systém OBD musí být schopen reagovat na chybnout funkci odpovídajícím způsobem [35].

### 4.6.3 Pravidelné emisní kontroly

V průběhu životnosti vozidla je nutné provádět pravidelné měření emisí. Toto měření se uskutečňuje ve většině případů měsíc před vypršením platnosti technické prohlídky a to ve lhůtě, která je pro dané vozidlo stanovena [36]. Například pro nové osobní automobily je pravidelná kontrola stanovena na čtyři roky. To platí ode dne zaregistrování vozidla na příslušném obecním úřadě, následně se kontrola provádí v dvouletých intervalech [35].

---

<sup>1</sup> OBD – On-Board Diagnostics je systém, který slouží k diagnostice systémů měřících emise.

Pro nákladní automobily, které nepřesahují svojí hmotností 3 500 kg, jsou tyto intervaly stejné. Pokud však mají hmotnost vyšší než 3 500 kg nebo se jedná o autobusy, poté jsou intervaly kratší. Jak první, tak i následné kontroly se provádí každý rok [36].

## 4.7 PEMS

PEMS (Portable Emission Measuring Systém) nebo-li přenosný měřicí systém emisí pro čítání a klasifikaci nanočástic, je zařízení pro měření středního průměru pevných částic, jejichž velikost se pohybuje v rozmezí 10 až 700 nm a to za skutečného provozu. Měří se též koncentrace počtu částic [37].

### 4.7.1 Obecná charakteristika PEMS

Obecně se jedná o velice kompaktní přístroj v robustním provedení, který je snadno přenosný a je schopen poskytovat přímou odezvu v širokém rozsahu koncentrací viz (obr. 30). Tyto základní parametry dělají z tohoto zařízení vhodný nástroj pro uskutečňování přesného měření koncentrace počtu nanočástic i v reálném provozu a ne jen v laboratorních podmínkách. Výhodou je též i to, že je možné provádět měření i bez využití palubní diagnostiky [37], [38].

Mimo standartního napájení střídavým napájecím zdrojem 100 až 240 V, je možné toto zařízení propojit i s klasickou baterií 12 až 24 V a to jak pro palubní měření, tak i pro měření v terénu. Doba odezvy je dostatečně rychlá, což umožňuje měření i krátkodobého chodu motoru, což poskytuje kompletní datový řetězec s průměrnou velikostí částic, koncentrací počtu částic, LDSA a také vypočtené množství částic s rozlišením 1 Hz. Široký rozsah měření 104 -108 pt/ccm, je schopen pokrýt prakticky všechny normy, které se týkají počtu částic, a to i nejnovější požadavky EURO 6. [37].



Obrázek 30: Přenosné zařízení pro měření emisí v reálném provozu [37]



Výrazným problémem pro automobilový průmysl se v poslední době stavá rostoucí důležitost přenosného a zároveň cenově výhodného testování. Řešením tohoto problému je právě zmíněné zařízení PEMS umožňující měření pro automobilový průmysl v laboratorních i venkovních podmínkách [37].

Koncepce a metodika tohoto systému měření byla uznána již mnoha státními organizacemi. Mezi hlavní patří například USEPA (Agentura pro ochranu životního prostředí) nebo Rámcová úmluvou OSN pojednávající o změně klimatu.

Čítání emisí pro lehká užitková vozidla je v Evropě od září 2011 povinné a to pro schválení vozidla prostřednictvím EURO 5b. V září 2014 se rozšířilo i pro technologii GDI (systém přímého vstřikování) a to prostřednictvím EURO 6. Evropská unie společně s ostatními státy po celém světě pokračují v integrování čítačů emisí do svých norem, hlavním důvodem je, že Světová zdravotnická organizace prohlásila vznětové motory za karcinogenní a tím nebezpečné pro člověka [37], [38].

Budoucí testovací postupy pro normu EURO 6c by mohly obsahovat silniční měření a to jako rozšíření pro PMP (Particle Measurement Program). Uvedený přenosný měřicí systém emisí (PEMS) prokázal, že je schopen v určitých aplikacích rozpoznat výkon vozidla lépe než klasické měření v laboratořích. Je totiž navržen tak, aby měřil emise během skutečného chodu motoru za reálných podmínek [37].

Velkou výhodou je i to, že vytváří cenově velmi výhodné řešení pro uskutečňování provozních testů u těžkých užitkových vozidel. Jinak by bylo nutné vyjmout motor z vozidla a jeho následná instalace na dynamometr [38].

Aby mohly být prováděny oficiální regulační cykly, musí být vozidla vybavena palubním systémem zajišťujícím měření emisí v reálného provozu [38].



Obrázek 31: Využití PEMS v reálném provozu [38]

## 5. Praktická část práce

### 5.1 Výpočet dat

Z důvodu, že emisní analyzátor, použitý pro tento pokus, vyhodnocuje produkci emisí pouze v objemových koncentracích, je pro tento experiment vhodnější tyto hodnoty přepočítat na hmotnostní produkci. Díky tomuto kroku bude porovnávání hodnot průkaznější.

Pro tento přepočet hodnot je nutné znát především veličinu, která se nazývá hmotnostní průtok výfukových plynů. Nevýhodou této veličiny je to, že se relativně těžce zjišťuje. Pro měření tohoto experimentu je však možné nahradit hmotnostní průtok výfukových plynů hmotnostním průtokem nasávaného vzduchu. Při výpočtech může tato změna způsobit drobné nepřesnosti, nicméně díky relativnímu srovnání dosažených výsledků, je možné tuto drobnou nepřesnost ve výpočtech zanedbat. V následně uvedených rovnicích se bude hodnota hmotnosti nasávaného vzduchu označovat zkratkou MAF (Manifold air flow). Pod touto zkratkou je hmotnost nasávaného vzduchu definována v palubní diagnostice. Přesné hodnoty jsou zajišťovány pomocí snímače hmotnosti vzduchu.

K zjištění hmotnostní koncentrace je nutný přepočet objemové koncentrace získané emisním analyzátozem, a to je možné prostřednictvím vzorce, který lze v obecném tvaru zapsat jako:

$$X_{hmot} = \frac{MAF * \rho_{vz}}{M_{vz}} * X_{obj} * M_x \quad (6)$$

$X_{hmot}$	hmotnostní koncentrace jednotlivých složek emisí [g/s]
$MAF$	hmotnost nasávaného vzduchu [g/s]
$X_{obj}$	naměřená objemová koncentrace jednotlivých složek emisí [%]
$\rho_{vz}$	hustota vzduchu [kg*m <sup>-3</sup> ]
$M_{vz}$	molární hmotnost vzduchu [g/mol]
$M_x$	molární hmotnost jednotlivých složek emisí [g/mol]



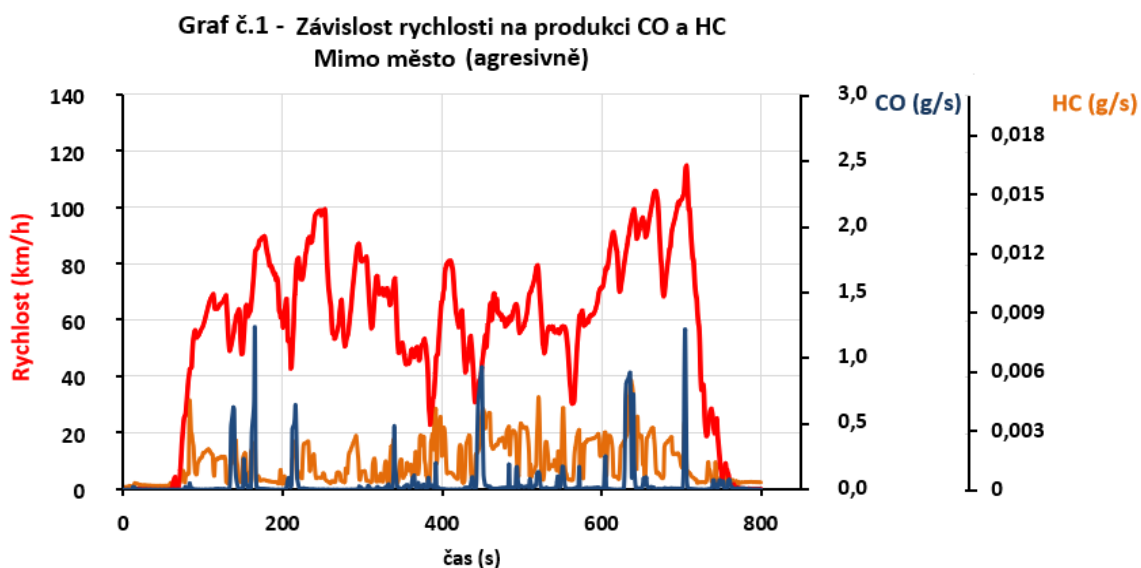
Dle vzorce (6) je možné dopočítat hmotnostní koncentrace všech složek emisí, které emisní analyzátor zaznamenal. Za proměnou  $X_{obj}$  se dosadí hodnota objemové koncentrace složky, pro kterou se momentálně hmotnostní koncentrace zjišťuje. Stejný postup platí i pro proměnou  $M_x$ , neboli molární hmotnost zjišťované látky. Hodnota hustoty vzduchu  $\rho_{vz}$  a jeho molární hmotnost  $M_{vz}$  zůstává neměnná.

Po zjištění hmotnostních koncentrací všech látek, je nutné zjistit produkci jednotlivých složek v závislosti na ujeté vzdálenosti. Konkrétně počet gramů emisní látky na jeden kilometr. Tento parametr je možné vypočítat na základě dat získaných ze snímače polohy GPS a celkové hmotnostní koncentrace látky na měřeném úseku. Jako první je nutné přepočítat hodnoty GPS z km/h na m/s. Díky tomu, že jak GPS snímač polohy, tak emisní analyzátor zaznamenávaly data po sekundách, je možné využít funkci „SUMA“ a zjistit celkovou ujetou vzdálenost v metrech, kterou je nutno převést na kilometry. Výsledný parametr v g/km se pak vypočte z podílu celkové sumy hmotnostní koncentrace dané látky a ujeté vzdálenosti v km.

## 5.2 Výsledek měření

### 5.2.1 Trasa 1 – Mimo město

Výsledkem jednotlivých jízd, které byly postupně měřeny, je průběh produkce emisí v reálném provozu a jeho ovlivnění působením různých stylů jízdy. Konkrétně agresivního a defenzivního stylu, zároveň též vliv plynulé jízdy a jízdy v dopravní špičce, kde je testované vozidlo zatěžováno častým brzděním a rozjezdy. Jako první byla provedena jízda mimo město, a to agresivním způsobem. Průběh produkce emisí v závislosti na rychlosti je zobrazen na grafu č. (1).



Obrázek 32: Graf produkce CO a HC (Mimo město agresivně)

Na výše uvedeném grafu je na ose x znázorněn čas, po který bylo dané měření prováděno. Na ose y jsou znázorněny hned tři měřené parametry a jejich průběhy. Na levé straně je rychlost uvedená v km/h, na straně pravé jsou konkrétní složky emisí, které jsou uvedeny už v přepočítaných hmotnostních jednotkách.

V grafu jsou zobrazeny pouze dvě složky produkovaných emisí, a to CO a HC, přestože použitý emisní analyzátor je schopný zaznamenávat produkci i CO<sub>2</sub> a NO. Hlavním důvodem, proč nejsou tyto dvě složky též vyobrazeny je ten, že naměřené hodnoty NO byly v průběhu experimentu prakticky zanedbatelné.

Co se týče už konkrétních průběhů produkce emisí, pak lze konstatovat, že k nárůstu produkce CO docházelo vždy v úseku, kdy testované vozidlo zrychlovalo při plně sešlápnutém pedálu plynu, jelikož se jednalo o agresivní styl jízdy. Navíc v oblastech, kdy dosahuje produkce CO více, než 1 g/s, což nastalo při tomto měření 3x, se vozidlo pohybovalo do kopce. To mělo za následek výrazně zvýšenou produkci. Společně s CO se zvyšovala i produkce HC vlivem nedokonalého spalování velmi bohaté směsi.

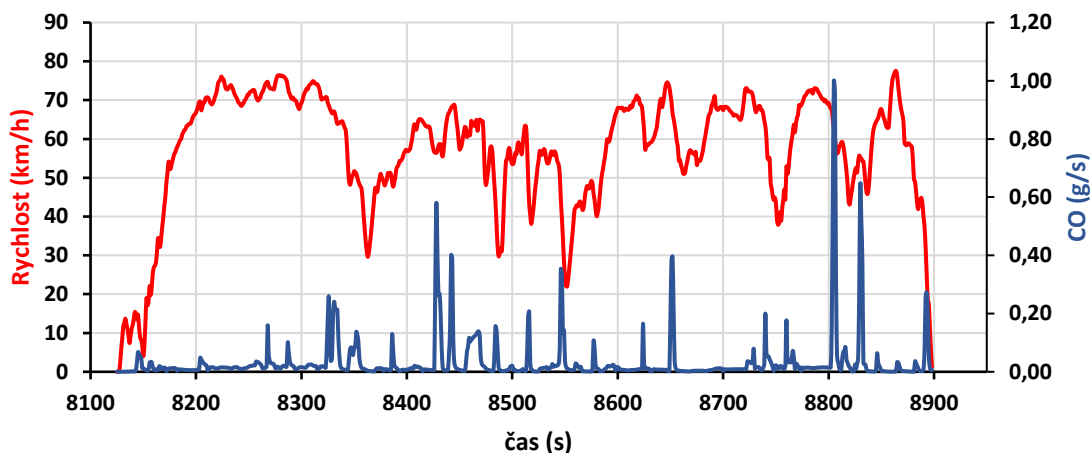
Celkové zhodnocení této jízdy je možné provést vyčíslením jednotlivých složek produkovaných emisí v přepočtených hmotnostních jednotkách g/s viz tab. (5), ve které jsou uvedeny i jednotlivé limity odpovídající normě EURO 2, které se vztahují na testovaný automobil Škoda Felicia.

*Tabulka 5: Výsledné hodnoty jízdy (Mimo město – agresivně)*

Složky emisí	CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
Naměřeno	3,15	214	0,04	0,08
Norma	2,20	-	-	0,20

Z tabulky je patrné, že produkce CO ve výši 3,15 g/km, je znatelně vyšší, než je maximální povolená produkce CO dle normy EURO 2, která stanovuje maximální povolenou hodnotu na 2,2 g/km, což znamená, že produkce CO je 1,5x vyšší než dovoluje norma. Tato skutečnost může být s největší pravděpodobností dána agresivním stylem jízdy a s ním související podstatně vyšší zatížení motoru vozidla, nedostatečně zahřátým motorem, případně obecně stářím testovaného vozidla, kde se může projevat opotřebení jednotlivých komponentů.

**Graf č.2 - Závislost rychlosti na produkci CO  
Mimo město (defenzivně)**



*Obrázek 33: Graf produkce CO (Mimo město defenzivně)*

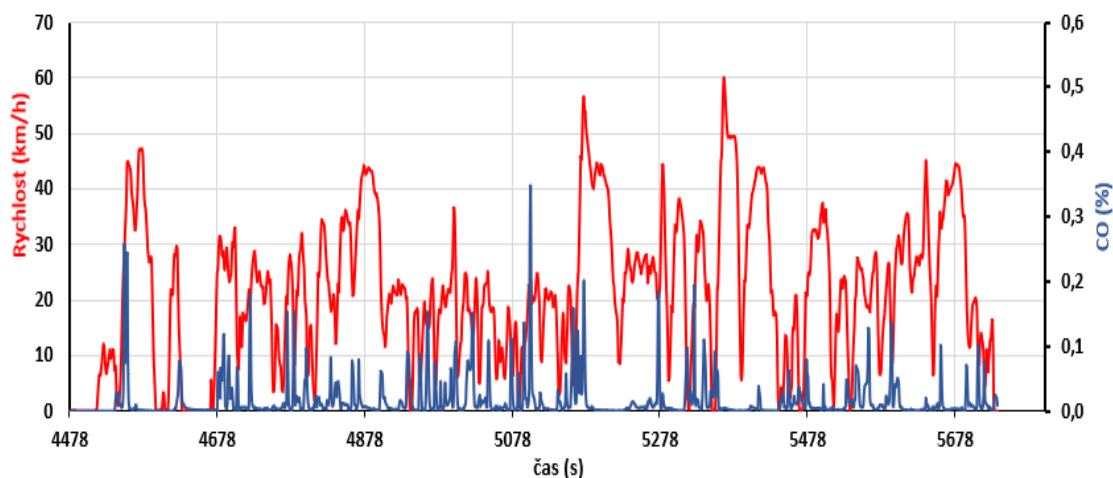
Druhý graf viz (obr. 33), znázorňuje tutéž trasu jako graf předešlý. Rozdílem je použitý styl jízdy. Při tomto měření byl použit defenzivní styl, což je viditelné z průběhu rychlosti a CO. Křivky nemají tak strmý nárůst, jelikož byla jízda plynulejší a zároveň i menší počet brzdění a akcelerací. Tyto skutečnosti mají významný vliv na nižší produkci emisí, viz tab. (6)

*Tabulka 6: Výsledné hodnoty jízdy (Město – defenzivně)*

CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
2,15	198	0,02	0,05

### 5.2.2 Trasa 2 – Město

**Graf č.3 - Závislost rychlosti na produkci CO  
Město hlavní dopravní špička**



*Obrázek 34: Graf produkce CO (Město hlavní špička)*

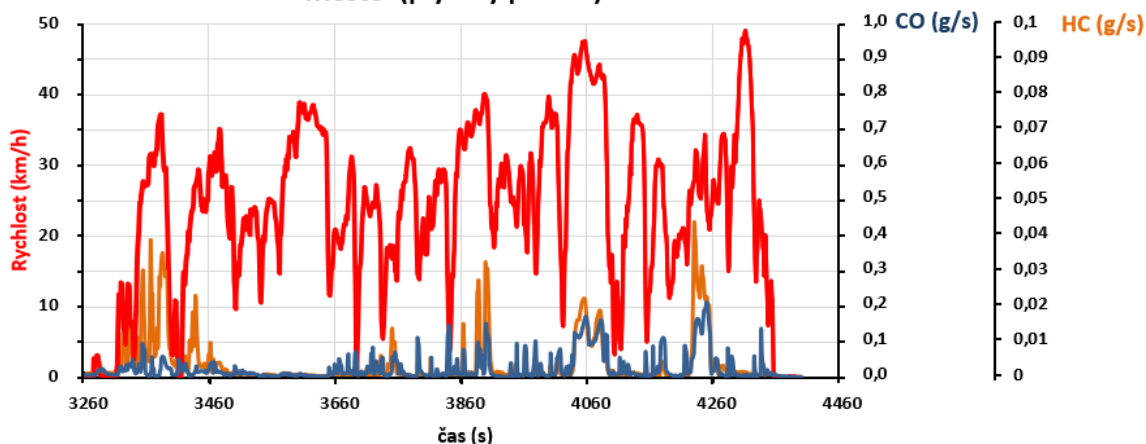
Na grafu č. (3) je znázorněn průběh produkce CO v závislosti na rychlosti, a to při testování vozidla ve městě v čase hlavní dopravní špičky. To znamená, že se vozidlo pohybovalo po většinu testované doby v rychlostech okolo 30 km/h a docházelo k velkému množství rozjezdů.

Tabulka 7: Výsledné hodnoty jízdy (Město – hlavní dopravní špička)

CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
2,80	332	0,01	0,07

Přestože je na grafu patrné, že ani nejvyšší okamžité hodnoty CO nedosahují vysokých hodnot, došlo i tak k překročení maximální možné produkce emisí CO na 1 km. Konkrétně se jedná o hodnotu 2,80 g/km viz tab. (7). Tato skutečnost je způsobena hustým provozem v hlavní dopravní špičce a s ní související velký počet rozjezdů a akcelerací.

Graf č.4 - Závislost rychlosti na produkci CO a HC  
Město (plynulý provoz)



Obrázek 35: Graf produkce CO a HC (Město plynulý provoz)

Graf č. (4) popisuje průběh jízdy ve městě mimo hlavní dopravní špičku. Na první pohled je vidět, že na rozdíl od předešlého grafu, je zde menší počet rozjezdů díky plynulejšímu provozu. Co se týče produkce jednotlivých složek, tak CO dosahuje ve své nejvyšší okamžité hodnotě maximálně 0,2 g/s, navíc se zde objevuje i větší produkce nespálených uhlovodíků (HC), jejich přepočtená hodnota činí 0,61 g/km.

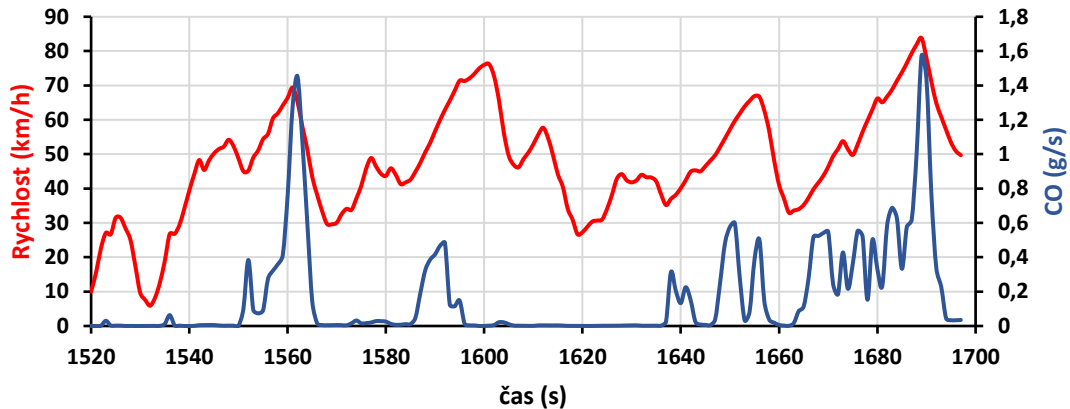
Tabulka 8: Výsledné hodnoty jízdy (Město – plynulý provoz)

CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
4,10	266	0,03	0,61

V tomto případě jsou hodnoty CO i HC podstatně vyšší než jsou povolené limity. Pro HC je maximální hodnota 0,20 g/km, což znamená, že naměřená hodnota je 3x vyšší. Důvodem je agresivnější styl jízdy, kdy v oblasti akcelerací docházelo k nedokonalému spalování směsi paliva a tím nadměrné produkci výše zmíněných látek.

### 5.2.3 Trasa 3 – Jízda do strmého kopce

**Graf č.5 - Závislost rychlosti na produkci CO  
Kopec (agresivně)**



Obrázek 36: Graf produkce CO (Kopec agresivně)

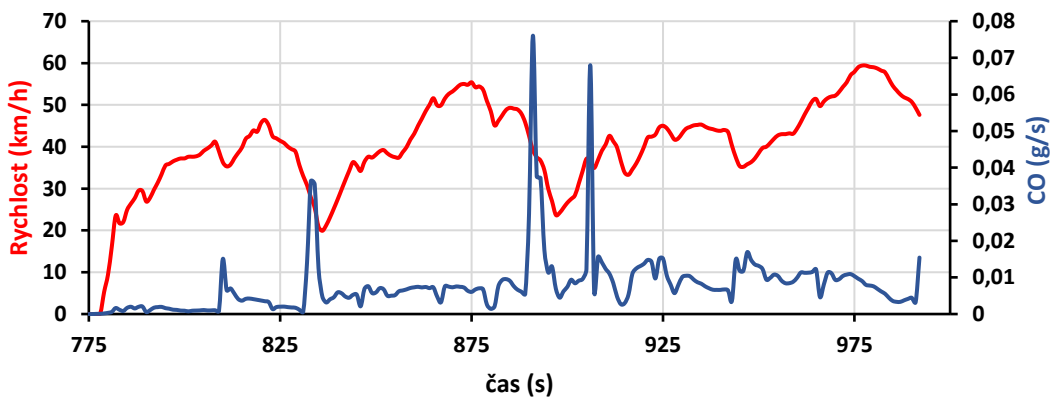
Graf č. (5) popisuje průběh jízdy do strmého kopce při agresivním stylu jízdy. Je patrné, že docházelo k velké produkci látek CO. Ve dvou špičkových oblastech docházelo k produkci až 1,6 g/s. V ostatních oblastech zvýšené produkce CO se hodnoty pohybovaly okolo 0,5 g/s.

Tabulka 9: Výsledné hodnoty jízdy (Kopec – agresivně)

CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
13,00	351	0,12	0,09

Tyto hodnoty mohly být způsobeny studeným motorem nebo situací, kdy docházelo k delšímu brzdění motorem, což způsobilo snížení teploty katalyzátoru a při následné prudké akceleraci došlo k zvýšené produkci CO v hodnotách až 13 g/km viz tab. (9). To je více než 6x překročený limit dle normy EURO 2.

**Graf č.6 - Závislost rychlosti na produkci CO  
Kopec (defenzivně)**



Obrázek 37: Graf produkce CO (Kopec defenzivně)

Graf č. (6) zobrazuje závislost rychlosti na produkci emisních složek CO. Tentokrát byl použit opět defenzivní styl jízdy, při kterém bylo dosahováno maximální dovolené rychlosti, nebo rychlosti zajišťující bezpečnou jízdu, plynule při sešlápnutí pedálu na poloviční polohu. Dle parametrů defenzivního stylu jízdy dochází k menšímu počtu brzdění, a tím i k menšímu počtu akcelerací. Díky tomu může být dosaženo menší produkce emisí, čemuž i odpovídají hodnoty v grafu. Ty se pohybují okolo hodnoty 0,01 g/km. Pouze ve třech oblastech došlo ke skokovému nárůstu produkce CO na hodnoty okolo 0,5 a 0,7 g/km.

Tyto tři situace je možné vysvětlit stejným způsobem jako v předešlém případě, kdy první a druhé skokově vyšší hodnotě předcházelo delší brzdění motorem, což má za následek ochlazování katalyzátoru, který pak nemusí pracovat zcela správně při následné akceleraci.

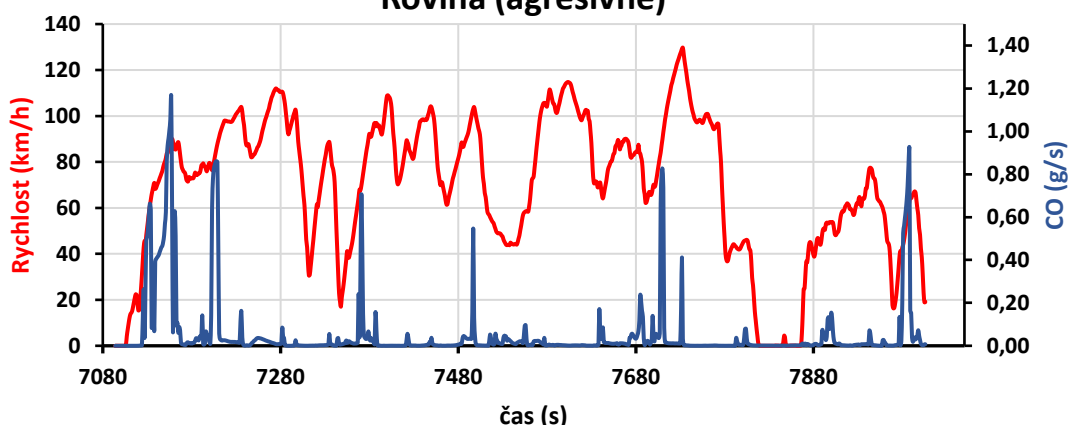
Tabulka 10: Výsledné hodnoty jízdy (Kopec – defenzivně)

CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
1,50	327	0,04	0,05

Vzhledem k tomu, že jsou v grafu č. (6) pouze tři vyšší hodnoty a zbytek hodnot se pohybuje zcela v normě, jsou výsledné přepočítané hodnoty v souladu s normou EURO 2 viz tab. (10).

## 5.2.4 Trasa 4 – Rovina

Graf č.7- Závislost rychlosti na produkci CO  
Rovina (agresivně)



Obrázek 38: Graf produkce CO (Rovina agresivně)

Na grafu č. (7) je promítnuta závislost rychlosti na produkci CO při pohybu vozidla po rovině. Obě křivky znázorňují, že se jednalo o agresivní styl jízdy. Vysoké hodnoty okamžité produkce CO jsou způsobeny prudkou akcelerací při plném sešlápnutí

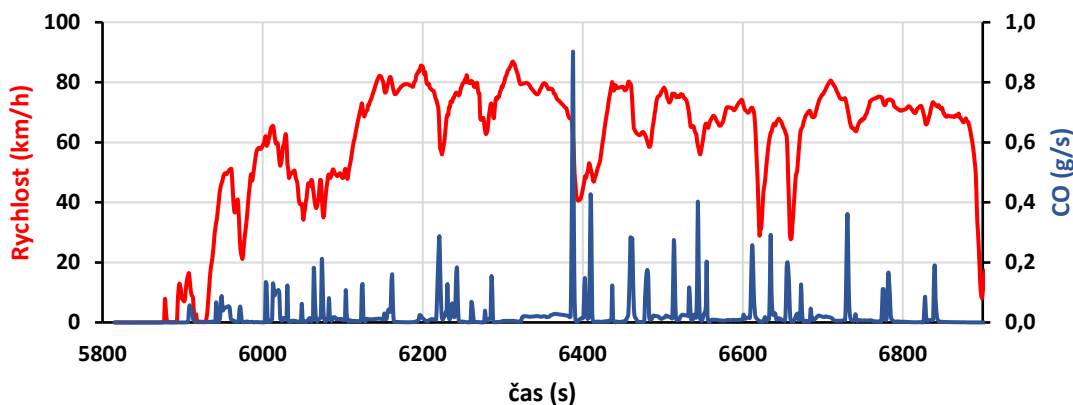
plynového pedálu, jelikož dochází k nedokonalému spalování vstříkované směsi paliva. Počáteční vysoké hodnoty mohou být též způsobeny studeným motorem či katalyzátorem, který po tuto dobu neplnil zcela svou funkci.

Tabulka 11: Výsledné hodnoty jízdy (Rovina – agresivně)

CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
2,84	212	0,05	0,06

Výsledné hodnoty přepočtené na jeden km, viz tab. (11) zobrazují, že hodnota CO je vyšší, než nejvyšší povolené maximum, které stanovuje norma. Tato skutečnost se dá vysvětlit především agresivním stylem jízdy a nedostatečně zahřátým motorem či katalyzátorem.

Graf č. 8 - Závislost rychlosti na produkci CO Rovina (defenzivně)



Obrázek 39: Graf produkce CO (Rovina defenzivně)

Graf č. (8) popisuje defenzivní styl jízdy na rovinném povrchu. Průběh křivek značí, že jízda byla mnohem plynulejší než při agresivním stylu. Rychlost se pohybovala okolo 70 km/h a nedocházelo k příliš častému brzdění. Pokud bylo nutné brzdit, využívalo se brzdění motorem. Z tohoto důvodu se v čase 6388 s objevila hodnota 0,9 g/km. Příčinou zde mohl být částečně ochlazený katalyzátor.

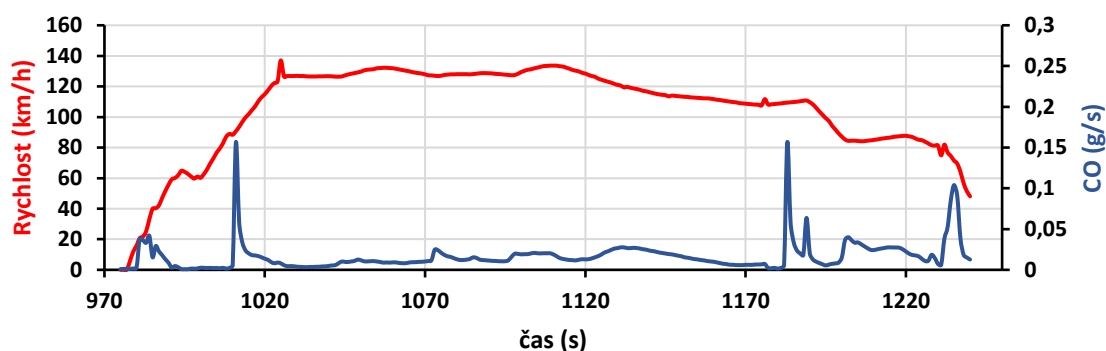
Tabulka 12: Výsledné hodnoty jízdy (Rovina – defenzivně)

CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
1,46	176	0,01	0,07

Z hlediska celkových emisí nedošlo k žádnému překročení maximálně povolených limitů pro jednotlivé složky. Vozidlo tedy plně vyhovovalo.

## 5.2.5 Trasa 5 - Dálnice

**Graf č. 9 - Závislost rychlosti na produkci CO  
Dálnice (agresivně)**



Obrázek 40: Graf produkce CO (Dálnice agresivně)

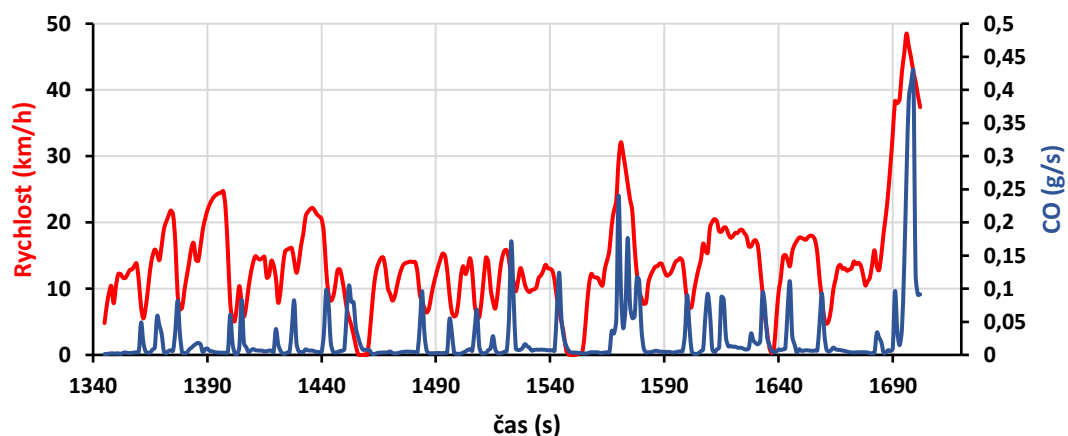
Na grafu č. (9) je vyobrazen průběh produkce CO v závislosti na rychlosti při jízdě po dálnici. Jednalo se o agresivní způsob jízdy a až na 3 skokově vyšší hodnoty v rozmezí od 0,1 až 0,15 g/s byla produkce CO zcela v normě, stejně jako ostatní složky emisí viz tab. (13).

Tabulka 13: Výsledné hodnoty jízdy (Dálnice – agresivně)

CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
1,89	187	0,02	0,04

Z hodnot ve výše uvedené tabulce lze konstatovat, že žádná ze složek emisí nebyla produkována ve větším množství, než je stanovený limit. Jedním z důvodů může být vyšší rychlost vozidla, při které došlo k dostatečnému zahřátí motoru a katalyzátoru, který následně plnil správně svou funkci.

**Graf č. 10 - Závislost rychlosti na produkci CO  
Dálnice (kongesce)**



Obrázek 41: Graf produkce CO (Dálnice kongesce)



Graf č. (10) zobrazuje poslední měřený úsek, a to pohyb testovaného vozidla po dálnici při hlavní dopravní špičce. Hustý provoz měl za následek tvorbu kongesce. V těchto situacích, jak je z grafu viditelné, se vozidlo pohybovalo rychlostí v rozmezí 10 až 20 km/h, v některých situacích se zastavilo úplně. Výsledkem tohoto měření, byl velký počet rozjezdů a s nimi související akcelerace, které způsobily prudký nárůst produkce CO. V čase 1690 s došlo k většímu nárůstu CO, jehož hodnoty a průběh přímo odpovídají průběhu akcelerace.

Tabulka 14: Výsledné hodnoty jízdy (Dálnice – kongesce)

CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
6,22	503	0,01	0,10

Z tab. (14) je patrné, že produkce CO byla 3x vyšší než je povolené maximum. Příčinou takto vysokých hodnot je hustý provoz na dálnici, nedostatečně prohrátý katalyzátor, vysoký počet rozjezdů a akcelerací.

## 6. Porovnání výsledků a diskuze

Tabulka 15: Souhrn a porovnání naměřených hodnot v hmotnostních koncentracích

Porovnání všech jízd					
Jízda	Styl	CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
1 jízda	Mimo město (agresivně)	3,15	214	0,04	0,08
2 jízda	Mimo město (defenzivně)	2,15	198	0,01	0,05
3 jízda	Město (plynulý provoz)	4,10	266	0,03	0,61
4 jízda	Město (hlavní špička)	2,80	332	0,01	0,07
5 jízda	Rovina (agresivně)	2,84	212	0,05	0,06
6 jízda	Rovina (defenzivně)	1,46	176	0,01	0,07
7 jízda	Kopec (agresivně)	13,00	351	0,12	0,09
8 jízda	Kopec (defenzivně)	1,50	327	0,04	0,05
9 jízda	Dálnice (agresivně)	1,89	187	0,02	0,04
10 jízda	Dálnice (hlavní špička)	6,22	503	0,01	0,10

V tab. (15) je možné vidět celkový souhrn naměřených dat ze všech provedených měření. Jednotlivé jízdy jsou barevně zhodnoceny, zda jsou naměřená data v souladu s emisními limity, které jsou pro tento případ stanoveny normou EURO 2, či ne. Na první pohled je viditelné, že ve značném počtu jízd testované vozidlo neprošlo. Největším problémem byla produkce CO, tedy oxidu uhelnatého, který je produktem nedokonalého spalování, kdy nedostatek kyslíku, nízká teplota a krátký čas spalování neumožňují dostatečnou oxidaci za vzniku oxidu uhličitého.

Nejhůře vyšla jízda č. 2, kde byl překročen nejen limit CO, ale též limit nespálených uhlovodíků HC. Další nevyhovující výsledky byly zjištěny u jízdy č. 8, kde byl limit CO překročen dokonce více než 6x. Důvodem byl agresivní způsob jízdy při pohybu vozidla do strmého kopce, kde docházelo k překonávání stoupání o hodnotě 112 m na vzdálenosti necelých 2,5 km. Navíc mohlo dojít k nedostatečnému prohřátí motoru a katalyzátoru před uskutečněním měření. Mezi další jízdy, které svými výsledky nesplnily stanovené limity, patří:

- 1 jízda – Mimo město (agresivně)
- 3 jízda – Město (provoz)
- 5 jízda – Rovina (agresivně)
- 10 jízda – Dálnice (defenzivně)

Naopak mezi testované jízdy, které splnily emisní limity ve všech požadovaných bodech dle normy EURO 2, patří:

- 4 jízda – Rovina (defenzivně)
- 6 jízda – Mimo město (defenzivně)
- 7 jízda – Kopec (defenzivně)
- 9 jízda – Dálnice (agresivně)

Důvodem, proč vyšly hodnoty jízdy č. 9 v souladu s emisními limity, může být ten, že vozidlo drželo konstantní rychlost, což znamená že nedocházelo k prudkým akceleracím, navíc došlo během jízdy k dostatečnému prohřátí motoru i katalyzátoru, který mohl následně zcela plnit svou funkci.

Tabulka 16: Procentuální porovnání všech jízd

Procentuální porovnání všech jízd				
Styl	CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
Mimo město (defenzivně)	2,15	198	0,01	0,05
Mimo město (agresivně)	+46%	+7%	+400%	+160%
Město (hlavní špička)	2,80	266	0,01	0,07
Město (plynulý provoz)	+46%	+25%	+300%	+841%
Rovina (defenzivně)	1,46	176	0,01	0,06
Rovina (agresivně)	+94%	+20%	+500%	+16%
Kopec (defenzivně)	1,50	327	0,04	0,05
Kopec (agresivně)	+866%	+8%	+300%	+180%
Dálnice (agresivně)	1,89	187	0,01	0,04
Dálnice (hlavní špička)	+329%	+268%	+200%	+250%

Tabulka procentuálního porovnání všech jízd vychází z tab. (15). Jsou zde zobrazeny a porovnány všechny testované úseky z pohledu nárůstu produkce jednotlivých složek emisí při agresivní a následně defenzivní jízdě. Zvýšená produkce je vyjádřena formou procent.

Z uvedených hodnot je možné konstatovat, že z hlediska produkce oxidu uhelnatého (CO) došlo k největšímu rozdílu v jeho produkci při testování jízdy do kopce. Zde byl zjištěn rozdíl mezi agresivní a defenzivním stylem jízdy 866 %. Naopak nejmenší rozdíl v produkci oxidu uhelnatého byl naměřen hned u dvou testovaných jízd, které mají totožný nárůst v hodnotě 46 %. Jedná se o jízdu mimo město a ve městě.

Z pohledu produkce oxidu uhličitého došlo k největšímu nárůstu této látky při měření jízdy na dálnici, kde byly zjištěny vyšší hodnoty u jízdy v hlavní dopravní špičce. Rozdíl činil 268 %. Nejmenší procentuální rozdíl byl pak zaznamenán při jízdě mimo město, kde byla produkce CO<sub>2</sub> o 7 % vyšší u agresivního stylu jízdy.

Konstantně vysokých rozdílů bylo dosaženo v produkci oxidů dusíku (NO). Všechny hodnoty se pohybovaly v rámci stovek procent. Nejvyššího rozdílu pak bylo dosaženo u jízdy po rovině. Zde byla produkce u agresivního stylu jízdy vyšší o 500 %. Nejnižší pak při jízdě na dálnici, s nárůstem oxidů dusíku při jízdě v hlavní dopravní špičce o 200 %.

U nespálených uhlovodíků (HC) byly výsledné rozdíly v produkci značně nerovnoměrné. Maximální rozdíl byl zjištěn při jízdě ve městě při plynulém provozu, kde rozdíl činil 841 %. Nejmenší pak při jízdě po rovině, kde byl nárůst o pouhých 16 %.

## 7. Závěr

Tato diplomová práce se zabývá problematikou produkce emisí přímo jedoucího vozidla v reálném provozu. Jako testované vozidlo byla vybrána Škoda Felicia z roku 1999 s výkonem 50 kW, na které byly před měřením provedeny opravy a údržba. Příkladem je výměna letních pneumatik, výfuku, motorového oleje, olejového a vzduchového filtru a další. Všechny tyto činnosti by měly mít pozitivní vliv na nižší produkci emisí.

Instalace veškerého zařízení do vozidla probíhala pod odborným dohledem v prostorách České zemědělské univerzity.

Obecně výsledkem měření emisí v reálném provozu byla možnost vytvořit si skutečný náhled na produkci emisí v konkrétní daný okamžik jízdy. Experiment se skládal z několika základních měření. První měření probíhalo mimo město, následně měření ve městě, jízda do strmého kopce, po rovině a jako poslední dálnice. Cílem bylo pokrýt co největší množství typů úseků, se kterými se lze na pozemních komunikacích setkat a porovnat, jak se měnila produkce jednotlivých složek emisí, jako je CO, CO<sub>2</sub>, NO a HC.

Druhou částí experimentu bylo otestovat vybrané úseky pozemní komunikace a aplikovat na nich dva různé styly jízdy. Nejdříve byl použit agresivní styl jízdy, při kterém byly dodržovány pravidla popsané v první části kapitoly 3.4.5. To mělo za následek větší zatížení motoru a tím i zvýšenou produkci emisí.

Druhý použitý styl jízdy byl defenzivní, jehož podrobnému popisu se věnovala druhá část kapitoly 3.4.5. Při jízdě ve městě a na dálnici docházelo navíc k ovlivnění pohybu vozidla vlivem hustého provozu v hlavní dopravní špičce, který způsoboval velké množství rozjezdů, pohyb vozidla při rychlostech okolo 20 km/h a další situace, které mohly mít za následek vyšší produkci emisí. Následně došlo k porovnání i těchto naměřených hodnot jednotlivých složek emisí. Všechny výše uvedené naměřené hodnoty byly porovnány s emisními limity, které jsou stanoveny dle odpovídající normy EURO. Pro tento případ, kdy bylo použito vozidlo z roku 1999 platí emisní norma EURO 2. Tato norma stanovuje omezení pouze pro produkci oxidu uhelnatého (CO) a nespálených uhlovodíků společně s oxidy dusíku. Všechny hodnoty jsou porovnávány v přepočítaných jednotkách g/km.

Největší produkce emisí probíhala dle očekávání při testování vozidla při jízdě do kopce s aplikací agresivního stylu jízdy. Zde došlo k velkému zatížení vozidla. Například složka okamžitě produkovaných emisí, jako oxid uhelnatý, byla překročena dokonce více než 6x oproti limitům stanovených normou. Další jízdou, která vyšla negativně, byla jízda ve městě, a to opět s použitím agresivního stylu jízdy. Zde došlo dokonce k vysoké produkci nespálených uhlovodíků o hodnotě 0,61 g/km. To je oproti limitu 0,2 g/km 3x více.

Obecně je možné konstatovat, že došlo k překročení maximálních povolených limitů u všech jízd, kde byl aplikovaný agresivní styl jízdy. Jedinou výjimkou byla agresivní jízda po dálnici, která byla specifická tím, že i při použitém stylu jízdy, který probíhal mimo hlavní dopravní špičku, byla po prudké akceleraci udržována maximální povolená rychlost. Díky tomu se vozidlo pohybovalo plynule a mohlo dojít rychle k zahřátí motoru a především katalyzátoru, který mohl naplno vykonávat svoji činnost. Výsledným efektem pak bylo, že emisní limit nebyl v tomto měření překročen. Tyto limity byly dodrženy i v defenzivně pojatých jízdách jako byla jízda po rovině, jízda mimo město a jízda do kopce.

Závěrem lze říci, že největší rozdíly v produkci emisí byly naměřeny u jízdy na dálnici, kde se produkce všech měřených látek pohybovala v rozdílu stovek procent. Při pohledu na složky výfukových plynů jednotlivě, je však možné říci, že největšího procentuálního rozdílu v produkci jedné konkrétní látky, bylo dosaženo při jízdě do kopce. Zde byl rozdíl v produkci oxidu uhelnatého mezi agresivní a defenzivní jízdou 866 %. To v hmotnostní koncentraci odpovídá 11,5 g/km. Naopak nejmenší rozdíl v produkci měřených látek byl zaznamenán v úseku mimo město. Rozdíl mezi použitými jízdními styly byl v produkci CO<sub>2</sub> pouhých 7 %.

## 8. Zdroj

- [1] Takáts, Michal. *Měření emisí spalovacích motorů*. PRAHA : Vydavatelství ČVUT, 1997. 80-01-01632-3.
- [2] Vlk, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2006. 80-239-6461-5.
- [3] STEJSKALÍK, Ing.Jaromír. *Moderní metody v dopravě a přepravě pro 21. století: Snižování emisí škodlivin u vznětových motorů* [online]. 2012, , 1-44 [cit. 2018-8-11]. Dostupné z: <https://www.ssa-krnov.cz/f/00032.pdf>
- [4] VOLF, Oldřich. : *Proces hoření* [online]. © 2001, , 11 [cit. 2018-8-11]. Dostupné z: <http://metodika.cahd.cz/konspekty/1-1-01.pdf>
- [5] ČZU v Praze - Katedra jakosti a spolehlivosti strojů.[online]. [cit.2018-8-12]. Produkce emisních složek výfukových plynů. Dostupné z WWW: <http://tf.czu.cz/~PEXA/Budejovice/Přednášky/P-Emise.pdf>.
- [6] ROLF GSCHEIDLE A KOL., *Příručka pro automechanika*. Sobotáles, Praha, 2001. ISBN 80-85920-76-X
- [7] *Emise výfukových plynů: autolexicon.net* [online]. ©2018 [cit. 2018-8-13]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu/>
- [8] *Hlavní složky životního prostředí: Ovzduší* [online]. © 2018, , 25 [cit. 2018-8-13]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3066579/>
- [9] Beroun, Stanislav. *Vozidlové motory. scribd.* [Online] [Cit.: 2018-9-04.] <http://www.scribd.com/doc/29560735/Vozidlove-motory-Prof-Ing-Stanislav-Beroun-CSc>
- [10] *Vliv hluku na zdraví. Hluk & Emise* [online]. [cit. 2018-10-9]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/vliv-hluku-na-zdravi/>
- [11] *ABS-portal.cz: NEBEZPEČÍ VÝSKYTU PEVNÝCH ČÁSTIC VE VNITŘNÍCH PROSTORÁCH* [online]. © JAGA GROUP, ©2018 [cit. 2018-9-04]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/vetrani-a-klimatizace/nebezpeci-vyskytu-pevnych-castic-ve-vnitrnich-prostorach>
- [12] *Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě.* [Online] ©2018. [Cit.: 2018-9-05] [http://www.ecmost.cz/ver\\_cz/ovzdusi/smernice/smernice4.htm](http://www.ecmost.cz/ver_cz/ovzdusi/smernice/smernice4.htm).
- [13] Beroun, Stanislav. *Vozidlové motory. scribd.* [Online] [Citace: 2018-9-10] <http://www.scribd.com/doc/29560735/Vozidlove-motory-Prof-Ing-Stanislav-Beroun-CSc>.
- [14] *Audiklub.cz: Stechiometrický poměr* [online]. ©2018 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: <https://audiklub.cz/techwiki/stechiometricky-pomer>

- [15] Skoda-auto.cz: *Směšovací poměr* [online]. © 2018, , 42 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: [http://www.skoda-auto.cz/wp-content/uploads/2018/03/Smesovaci\\_pomer.pdf](http://www.skoda-auto.cz/wp-content/uploads/2018/03/Smesovaci_pomer.pdf)
- [16] VOJÁČEK, Antonín. *Automatizace.hw.cz: Princip a využití Lambda sondy* [online]. © 2006 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/view.php%3Fcislocclanku%3D2006061301>
- [17] NESRSTA, Miroslav. *Emenes.wz.sk: Lambda sonda* [online]. © 2006 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: [http://emenes.wz.sk/subM1/vece\\_lasso.htm](http://emenes.wz.sk/subM1/vece_lasso.htm)
- [18] Docplayer.cz: *Vstříkovací systémy Motronic* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/17531760-Vstrikovaci-systemy-motronic.html>
- [19] Ngkntk.com: *Oxygen and lambda sensors* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: <https://www.ngkntk.com/products/oxygen-lambda-sensors/>
- [20] Pietro: *K čemu slouží lambda sonda* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: [https://www.pietro-eshop.cz/clanky-navody/\\_zobraz=vite--k-cemu-slouzi-lambda-sonda-a-jak-poznate-jeji-poskozeni-](https://www.pietro-eshop.cz/clanky-navody/_zobraz=vite--k-cemu-slouzi-lambda-sonda-a-jak-poznate-jeji-poskozeni-)
- [21] Autolexicon.net: *Druhy lambda sond* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/lambda-sonda/>
- [22] Zavolantem.cz: *Emise: čím jsou nebezpečné? (první část)*. [online]. © 2018 [Cit. 2018-10-13] *Emise: čím jsou nebezpečné? (první část)*. Dostupné z: <https://www.zavolantem.cz/emise-cim-jsou-nebezpecne-prvni-cast/>
- [23] PEXA. PH.D., Doc.Ing Martin. *Technická diagnostika: Vznik emisí* [online]. [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: [http://tf.czu.cz/~pexa/Predmety/TD/Prednasky/7p\\_TechDiag.pdf](http://tf.czu.cz/~pexa/Predmety/TD/Prednasky/7p_TechDiag.pdf).
- [24] Česká televize: *Poplatky za ovzduší a jejich změna* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/1174822-poplatky-za-znecisteni-ovzdusi-se-maji-do-roku-2021-zvysovat>
- [25] LITTERA, Ondřej. *Výstavba úseku Postoloprty - Bitozevy by mohla začít v příštím roce*. In: *IDnes.cz* [online]. ©2014 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: [http://usti.idnes.cz/dostavba-rychlostni-silnice-r7-na-lounsku-fg6-/usti-zpravy.aspx?c=A140918\\_161637\\_usti-zpravy\\_alh](http://usti.idnes.cz/dostavba-rychlostni-silnice-r7-na-lounsku-fg6-/usti-zpravy.aspx?c=A140918_161637_usti-zpravy_alh)
- [26] Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2007: Stav životního prostředí v jednotlivých krajích ČR 2006 ; Zpráva o životním prostředí ČR 2006 (plné znění) ; Zpráva o životním prostředí ČR 2006 (souhrn) ; Životní prostředí - prostředí pro život? [online]. In: . [cit. 2018-10-13]. DOI: Životní prostředí - prostředí pro život?

- [27] *Auto.tn.cz: Barva kouře z výfuku identifikuje závadu* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <http://auto.tn.cz/clanek/novinky/barva-koure-z-vyfuku-vam-pomuze-identifikovat-zavadu.html>
- [28] *Sydos.cz: Spotřeba pohonných hmot v dopravě* [online]. © 2017 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: [https://www.sydos.cz/cs/rocenka-2016/rocenka/htm\\_cz/cz16\\_715000.html](https://www.sydos.cz/cs/rocenka-2016/rocenka/htm_cz/cz16_715000.html)
- [29] *Mdcr.cz: Celkové emise v dopravě* [online]. ©2016 [cit. 2018-09-14]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Statistiky/Souhrnne-ukazatele/Celkove-emise-z-dopravy>
- [30] *Vliv hluku na zdraví. Hluk & Emise* [online]. ©2007 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/vliv-hluku-na-zdravi/>
- [31] *Geoportal.mzcr.cz: Hlukové mapy* [online]. ©2018 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <https://geoportal.mzcr.cz/SHM/>
- [32] *Zábory půdy. Vítejte na zemi* [online]. ©2012 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: [http://vitejenazemi.cz/cenia/index.php?p=zabory\\_pudy&site=puda](http://vitejenazemi.cz/cenia/index.php?p=zabory_pudy&site=puda)
- [33] *KARLÍČEK, Jakub. Casopisstavebnictvi.cz: Realizace staveb* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/tisk.php?ID=1873>
- [34] *FERENC, Bohumil. Spalovací motory: karburátory, vstřikování paliva a optimalizace parametrů motoru. Vyd. 3. Brno: Computer Press, 2009. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 978-80-251-2545-8*
- [35] *SAJDL, Jan. Emisní norma EURO. In: Autolexicon.net* [online]. [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>
- [36] *Vyhláška č. 302/2001 Sb., o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. In: Sbírka zákonů. 7.8.2001.*
- [37] *Testo.com: Přístroje pems* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/pristroje/pems>
- [38] *Honestjohn.co.uk: What is the Real Driving Emissions test?* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <https://www.honestjohn.co.uk/news/miscellaneous/2017-11/what-is-the-real-driving-emissions-rde-test/>
- [39] *Mapy Google. Google* [online]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/>



## Seznam použitých zkratk

<b>PEMS</b>	portable Emission Measuring System (přenosný emisní měřicí systém)
<b>GPS</b>	global positioning systém (Globální polohový systém)
<b>CO</b>	oxid uhelnatý
<b>CO<sub>hmot</sub></b>	oxid uhelnatý v přepočítaných hmotnostních jednotkách
<b>CO<sub>2</sub></b>	oxid uhličitý
<b>CO<sub>2</sub> <sub>hmot</sub></b>	oxid uhličitý v přepočítaných hmotnostních jednotkách
<b>NO</b>	oxidy dusíku
<b>NO<sub>hmot</sub></b>	oxidy dusíku v přepočítaných hmotnostních jednotkách
<b>HC</b>	nespálené uhlovodíky
<b>HC<sub>hmot</sub></b>	nespálené uhlovodíky v přepočítaných hmotnostních jednotkách
<b>PM</b>	Particulate Matter (pevné částice)
<b>C</b>	uhlík
<b>O<sub>2</sub></b>	kyslík
<b>H</b>	vodík
<b>H<sub>2</sub>O</b>	voda
<b>PAU</b>	polycyklické aromatické uhlovodíky
<b>λ</b>	součinitel lambda
<b>kg</b>	kilogram
<b>g</b>	gram
<b>μm</b>	mikrometr

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Testované vozidlo Škoda Felicia.....	3
Obrázek 2: Přípojka diagnostiky .....	4
Obrázek 3: Použitý laptop ASUS.....	4
Obrázek 4: Přenosný analyzátor VMK .....	6
Obrázek 5: Výfuková sonda.....	6
Obrázek 6: Instalace hadic pro výfukovou sondu .....	7
Obrázek 7: Instalace autobaterie .....	7
Obrázek 8: Snímač GPS upevněný na vozidle.....	8
Obrázek 9: Graficky znázorněná trasa 1 .....	9
Obrázek 10: Graficky znázorněná trasa 2 .....	10
Obrázek 11: Graficky znázorněná trasa 3 .....	10
Obrázek 12: Graficky znázorněná trasa 4 .....	11
Obrázek 13: Graficky znázorněná trasa 5 .....	11
Obrázek 14: Porovnání emisí vznětových a zážehových motorů.....	17
Obrázek 15: Přehled skleníkových plynů.....	18
Obrázek 16: Pronikání částic do lidského těla .....	21
Obrázek 17: Závislost doby expozice na koncentraci CO .....	22
Obrázek 18: Princip funkce škrtkové klapky.....	24
Obrázek 19: Vliv součinitele přebytku vzduchu na složení emisí u zážehového motoru .....	25
Obrázek 20: Vliv součinitele přebytku vzduchu na složení emisí u vznětových motorů .....	26
Obrázek 21: Konstrukce lambda sondy .....	27
Obrázek 22: Znečištění ovzduší .....	28
Obrázek 23: Porsche Boxer S a Ford Ranger.....	29
Obrázek 24: Vývoj složek emisí v dopravě na celkových emisích v ČR.....	30
Obrázek 25: Spotřeba pohonných hmot v automobilové dopravě .....	30
Obrázek 26: Celkové emise v automobilové dopravě.....	31
Obrázek 27: Grafické znázornění hluku na úseku dálnice D1 .....	32
Obrázek 28: Zábor půdy.....	33
Obrázek 29: Průběh jednotlivých cyklů při zkoušce EURO .....	36
Obrázek 30: Přenosné zařízení pro měření emisí v reálném provozu .....	38
Obrázek 31: Využití PEMS v reálném provozu.....	39
Obrázek 32: Graf produkce CO a HC (Mimo město agresivně).....	41
Obrázek 33: Graf produkce CO ( Mimo město defenzivně).....	43
Obrázek 34: Graf produkce CO (Město hlavní špička).....	43
Obrázek 35: Graf produkce CO a HC (Město plynulý provoz) .....	44

Obrázek 36: Graf produkce CO (Kopec agresivně).....	45
Obrázek 37: Graf produkce CO (Kopec defenzivně).....	45
Obrázek 38: Graf produkce CO (Rovina agresivně).....	46
Obrázek 39: Graf produkce CO (Rovina defenzivně).....	47
Obrázek 40: Graf produkce CO (Dálnice agresivně).....	48
Obrázek 41: Graf produkce CO (Dálnice kongesce).....	48

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Požadavky normy EURO 2.....	3
Tabulka 2: Základní parametry analyzátoru VMK .....	5
Tabulka 3: Přehled norem EURO pro zážehové motory.....	34
Tabulka 4: Přehled norem EURO pro vznětové motory .....	35
Tabulka 5: Výsledné hodnoty jízdy ( Mimo město – agresivně) .....	42
Tabulka 6: Výsledné hodnoty jízdy (Mimo město – defenzivně).....	42
Tabulka 7: Výsledné hodnoty jízdy (Město – hlavní dopravní špička) .....	42
Tabulka 8: Výsledné hodnoty jízdy (Město – plynulý provoz).....	42
Tabulka 9: Výsledné hodnoty jízdy (Kopec – agresivně) .....	42
Tabulka 10: Výsledné hodnoty jízdy (Kopec – defenzivně).....	42
Tabulka 11: Výsledné hodnoty jízdy (Rovina – agresivně).....	42
Tabulka 12: Výsledné hodnoty jízdy (Rovina – defenzivně).....	42
Tabulka 13: Výsledné hodnoty jízdy (Dálnice – agresivně).....	42
Tabulka 14: Výsledné hodnoty jízdy (Dálnice – kongesce).....	42
Tabulka 15: Souhrn a porovnání naměřených hodnot v hmotnostních koncentracích .....	42
Tabulka 16: Procentuální porovnání všech jízd .....	42