



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

Popis emisního chování vozidel v reálném
provozu

Description of emission behaviour of vehicles
under real driving conditions

DIPLOMOVÁ PRÁCE
2020

Bc. Jan BRICH

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika
Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Klír, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Brich** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **437215**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Popis emisního chování vozidel v reálném provozu

Název diplomové práce anglicky:

Description of emission behavior of vehicles under real driving conditions

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou měření emisí vozidel v reálném provozu.
2. Uveďte základní možné způsoby měření a vyhodnocení s ohledem na platnou legislativu.
3. Na základě získaných experimentálních podkladů, proveďte analýzu vlivu provozních i jiných podmínek na emisní chování vozidla.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Vojtěch Klír, Ph.D., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **04.05.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **15.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce:


Ing. Vojtěch Klír, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Oldřich Vítěk, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

7.7.2020

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Anotační záznam

Jméno autora: Bc. Jan Brich

Název práce: Popis emisního chování vozidel v reálném provozu

Anglický název: Description of emission behaviour of vehicles under real driving conditions

Rozsah práce:

113 stran

77 obrázků

23 tabulek

22 grafů

Akademický rok: 2019/2020

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: Strojní inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Klír, Ph.D.

Klíčová slova: *Měření emisí v reálném provozu; Emisní třídy Euro; Evropská legislativa; Měřicí zařízení PEMS; Válcová zkušebna; Homologační měření vozidel; NEDC; WLTP; WLTC; Emise CO, NO_x a PN; Emisní analyzátory*

Key words: *Real Driving Emissions; Euro emission classes; European legislation; Portable measurement emission system; Chassis dyno; Homologation measurement of vehicles; NEDC; WLTP; WLTC; Emissions of CO, NO_x and PN; Emission analysers*

Abstrakt

Tato diplomová práce se věnuje popisu emisního chování vozidel v reálném provozu. Zaměřuje se na kategorii vozidel M1 poháněných spalovacím zážehovým motorem. První část práce pojednává o vývoji emisních norem a tvorbě jednotlivých složek výfukových plynů. Na tuto problematiku navazuje legislativa homologačních zkoušek, vývoj a okrajové podmínky pro zkoušku RDE. Součástí tématu je popis měřicího přenosného zařízení PEMS. Ve druhé části této práce byl proveden u vybraných vozidel experimentální průzkum jejich emisního chování v reálných podmínkách při různých režimech dynamiky jízdy. Následně byl navržen experiment, který simuloval RDE jízdu na válcovém dynamometru. Na základě naměřených dat byla zhodnocena aktuální metodika měření emisí vůči legislativě platné pro měřená vozidla.

Abstract

This master's thesis deals with description of emission behaviour of vehicles under real driving conditions. All experimental activities were carried out for vehicles equipped with SI internal combustion engines. The first part brings introduction to the current knowledge about the emission testing including procedures prescribed by legislation for both laboratory and RDE measurements. The theory about exhaust gas composition is also included. In the second part, experimental description of emission behaviour was performed under various driving conditions on several chosen routes for different emission class vehicles. An experiment to simulate the RDE tests on dynamometer was proposed and conducted. All measured data were evaluated and compared to the current legislation methods for emission evaluation.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma: „Popis emisního chování vozidel v reálném provozu“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 11.9.2020

.....

(podpis autora)

Poděkování

Děkuji panu **Ing. Vojtěchu Klírovi, Ph.D.** za odborné rady, poskytnuté materiály, přístup a ochotu při vedení diplomové práce. Dále bych rád vyjádřil velké poděkování firmě TÜV SÜD Czech s. r. o. za poskytnuté zázemí a zařízení pro experimentální měření. Velké díky patří zaměstnancům VTP Roztoky, zejména **Ing. Jiřímu Trubačovi** za jeho odborné rady při realizaci experimentů. Poděkování patří také **Ing. Vojtěchu Císařovi** a **Ing. Janu Špotovi** za zapůjčení měřených vozidel. Děkuji své rodině, která mě podporovala během celého studia.

Obsah

1	Seznam použitých zkratk, symbolů a veličin.....	10
2	Úvod	12
3	Emise automobilů.....	13
3.1	Sledované složky spalin	14
3.1.1	Oxid uhličitý CO_2	15
3.1.2	Oxid uhelnatý CO	15
3.1.3	Nespálené uhlovodíky HC.....	15
3.1.4	Oxidy dusíku (NO_x).....	16
3.1.5	Částice PM/PN	16
4	Historický vývoj emisních limitů	17
4.1	Emisní norma Euro	17
5	Druhy emisních zkoušek	18
5.1	Válcový dynamometr.....	18
5.1.1	Dělení dynamometrů.....	19
5.1.2	Základní nastavení	20
5.2	Laboratorní měření emisí výfukových plynů	20
5.2.1	Přímé vzorkování a vzorkování s konstantním objemem.....	20
5.3	Analyzátoři jednotlivých složek	21
5.3.1	Infraanalyzátor spalin (NDIRA)	21
5.3.2	Princip absorpce ultrafialového záření (NDUV).....	22
6	Zkušební jízdní cykly	23
6.1	Jízdní cyklus NEDC	23
6.2	Metodika WLTP	24
6.2.1	WLTC cyklus.....	24
6.3	Srovnání jednotlivých cyklů	26
6.4	Průběh testů NEDC a WLTC	27
7	Měření v reálném provozu – RDE (Real Driving Emissions)	29
7.1	Přehled legislativních RDE balíčků	30
7.2	Podmínky pro RDE zkoušky	31
7.3	Nepřekročitelné mezní hodnoty – NTE (Not-to-exceed)	32
7.3.1	Faktor shody – CF (Conformity Factor).....	33
7.3.2	Dynamické podmínky RDE jízdy	34
7.3.2.1	Výpočet vzdálenosti a zrychlení $v \cdot a$	34
7.3.2.2	Diskretizace	34
7.3.2.3	Výpočet $v \cdot a_{pos-[95]}$	35
7.3.2.4	Výpočet RPA (relativní pozitivní zrychlení)	35
7.3.2.5	Ověření platnosti jízdy	36
7.3.3	MAW (Moving Average Window).....	36
7.3.4	Ověření platnosti jízdy	39
8	PEMS (Portable Emission Measurement System)	40
8.1	Součásti PEMS	42
8.2	PEMS umístěný na tažném zařízení	43
8.3	PEMS umístěný ve vozidle	43
8.4	Hadice a spony	44
9	PEMS SENSORS SEMTECH DS+.....	46

10	Experimentální část	47
10.1	Cíle práce	47
10.2	Vybraná vozidla pro měření	47
10.2.1	ŠKODA Fabia I Euro 4	48
10.2.2	ŠKODA Fabia II Euro 5	49
10.2.3	ŠKODA Fabia III Euro 6	50
11	Návrh tras a jízdy pro experimentální měření.....	51
11.1	Trasa RDE A (homologační)	51
11.2	Trasa RDE B	53
12	Příprava vozidla k měření.....	55
12.1	Příjem vzorku – vstupní kontrola.....	55
12.2	Nastavení vozidla měřicí technikou	56
12.2.1	Rollen mode	59
12.2.2	Volba průtokoměru	60
12.2.2.1	Pneumatický kapacitátor	60
12.3	Příprava měřicího zařízení PEMS před měřením.....	61
12.3.1	Nulování měřicího zařízení.....	62
12.3.2	Time Alignment a Leak Check	63
12.3.3	Butanol	64
12.4	Průběh měřeného testu	65
12.5	Vyhodnocení jízdy pomocí SENSORS TECH-CT LDV	68
12.6	MS EXCEL vyhodnocení	71
13	Vyhodnocení experimentální části	72
13.1	Válcový dynamometr MAHA.....	72
13.2	Validace vozidel na válcovém dynamometru	73
13.2.1	Hmotnosti vozidel	73
13.2.2	Silniční koeficienty	74
13.2.3	Vyhodnocení validací	75
13.2.3.1	CO ₂ referenční.....	76
13.3	Porovnání spotřeb paliva z reálné jízdy a homologačních cyklů	76
13.4	Emisní analýza vozidla Fabia I	78
13.4.1	Složka CO.....	78
13.4.2	Složka NO _x	80
13.4.3	Složka PN.....	80
13.5	Emisní analýza vozidla Fabia II	81
13.5.1	Složka CO.....	81
13.5.2	Složka NO _x	82
13.5.3	Složka PN.....	82
13.6	Emisní analýza vozidla Fabia III	82
13.6.1	Složka CO.....	83
13.6.2	Složka NO _x	83
13.6.3	Složka PN.....	84
13.7	Celkové srovnání produkce škodlivin u měřených vozů	85
13.8	Zhodnocení dle CF faktoru	88
13.9	Vyhodnocení dle CFr faktoru.....	89
13.9.1	CFr faktor.....	89
13.10	RDE na válcovém dynamometru	90
13.10.1	Hodnocení RDE na válcích.....	92
14	Závěr.....	94
15	Přílohy	95
15.1	Příloha A	95

15.1.1	SEMTECH SCS (Sample Conditioning System)	95
15.1.2	SEMTECH GAS module	96
15.1.3	SEMTECH CPN – čítač částic	97
15.1.4	SEMTECH EFM4 – výfukový průtokoměr	98
15.1.5	SEMTECH ICM – řídicí modul.....	100
15.1.6	SEMTECH GPS.....	101
15.1.7	VAISALA HSP155 teplotní čidlo	101
15.1.8	Napájení PEMS zařízení.....	102
15.1.9	Prostředí SENSOR Tech-PRO	103
15.2	Příloha B - CD	105
15.2.1	Seznam příložených souborů s výsledky	105
15.2.2	Fabia I	105
15.2.3	Fabia II	105
15.2.4	Fabia III	105
15.2.5	Fotogalerie laboratorního vybavení a měřicích přístrojů	105
16	Seznam obrázků	107
17	Seznam tabulek	109
18	Seznam grafů.....	110
19	Použitá literatura.....	111

1 Seznam použitých zkratek, symbolů a veličin

<i>CO</i>	Oxid uhelnatý
<i>CO₂</i>	Oxid uhličitý
<i>NO</i>	Oxid dusnatý
<i>NO₂</i>	Oxid dusičitý
<i>NO_x</i>	Oxidy dusíku
<i>HC</i>	Nespálené Uhlovodíky
<i>PM</i>	Hmotnostní emise pevných částic
<i>PN</i>	Počet emitovaných částic
<i>C₄H₉OH</i>	Butanol
<i>C</i>	Uhlík
<i>O₂</i>	Kyslík
ppm	<i>Parts per milion</i> (Počet částic na milion)
#	Počet
g	Gram
m	Metr
μm	Mikrometr
nm	Nanometr
kg	Kilogram
km	Kilometr
km/h	Kilometr za hodinu
W	Watt
kW	Kilowatt
Hz	Hertz
kPa	Kilopascal
m. n. m	Metry nad mořem
a	Zrychlení
v	Rychlost
s	Sekunda
min	Minuta
hod	Hodina
°C	Stupně Celsia
NEDC	<i>New European Driving Cycle</i> (Nový evropský jízdní cyklus)
WLTP	<i>World Harmonized Light Vehicles Test Procedures</i> (Celosvětově harmonizovaný zkušební postup pro osobní a lehká vozidla)
WLTC	<i>Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycles</i> (Celosvětově harmonizovaný zkušební cyklus pro osobní a lehká vozidla)
Euro 0-6d	Evropská emisní norma pro homologované vozy

CF	<i>Conformity Factor</i> (faktor shodnosti)
NTE	<i>Not-to-exceed</i> (nepřekročitelné mezní hodnoty)
NDIRA	<i>Non-Dispersive InfraRed analyser</i> (Nedisperzní infračervený analyzátor)
NDUV	<i>Non-Dispersive Ultra Violet Spectroscopy</i> (Nedisperzní ultrafialový analyzátor)
PEMS	<i>Portable Emission Measurement System</i> (Přenosný systém pro měření emisí)
RDE	<i>Real Driving Emissions</i> (Emise v reálném provozu)
CVS	<i>Constant Volume Sampling</i> (Odběr vzorků s konstantním objemem)
SCS	<i>Sample Conditioning System</i> (Systém kondice vzorku)
RPA	<i>Relative positive acceleration</i> (Relativní pozitivní akcelerace)
VA	Součin rychlosti a zrychlení
MAW	<i>Moving Average Window</i> (Klouzavý průměr)
TSI	Obchodní označení zážehových přeplňovaných motorů
MPI	Obchodní označení zážehových motorů s vícebodovým nepřímým vstřikem
Time Alignment	Synchronizace časů
Leak check	Kontrola těsnosti
Drift	Odchylka analyzátoru
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Globální poziční systém)
EFM	<i>Exhaust Flow Meter</i> (Průtokoměr)
Rollen mode	Mód rolování (Deaktivace všech asistentů vozidla)
Zero Pressures	Nulování průtokoměru
Sample	Vzorek
Ambient	Čerstvý vzduch
Teilecheck	Kontrolní dokument
Power Binning	Vyhodnocovací metoda dle výkonu
EU	Evropská unie
CVUM	Centrum vozidel udržitelné mobility



2 Úvod

Trend znečištění ovzduší je pro moderní, průmyslovou dobu charakteristický. Emise spalovacích motorů jsou v dnešní době jedním z nejdiskutovanějších problémů znečištění velkých měst. V současné době jsou za nejnebezpečnější složky emisí považovány pevné částice, oxidy dusíku a oxid uhelnatý. Díky moderním technologiím se daří tyto problémy efektivně řešit. Ze strany vládních a mezinárodních organizací je snaha emisní zatížení redukovat do maximální možné míry pomocí emisních limitů, které se od počátku 90. let výrazně zpřísnily.

Emisní opatření osobních automobilů třídy M1 se v posledních letech zpřísnují a prochází častou modifikací. V současné době podléhají emisní normě Euro 6d, která u nově vyrobených vozidel zavádí homologační měření za reálného provozu, neboli RDE (*Real Driving Emissions*).

Tato práce se zabývá popisem a vývojem emisních norem, včetně evoluce jízdních cyklů na válcovém dynamometru a během RDE testování. Součástí práce je také obecné pojednání o jednotlivých škodlivinách obsažených ve výfukových plynech.

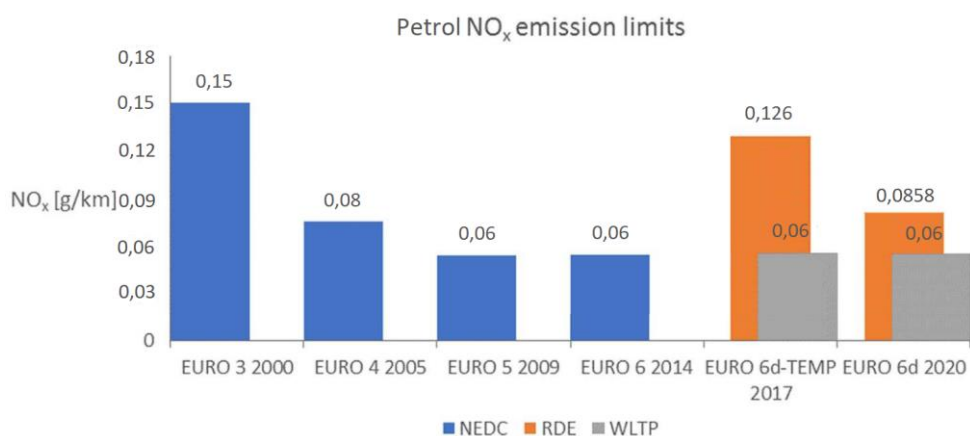
Cílem této práce je vhodným způsobem analyzovat současné podmínky měření emisí v reálném provozu. Pro tento účel byl vybrán vzorek vozidel stejné třídy, s ohledem na rok jejich výroby, plnící různé emisní předpisy. Experimentálně získané podklady umožnily uskutečnit požadovaný rozbor a popsat princip jejich vyhodnocení z přenosného měřicího zařízení PEMS (*angl. Portable Emission Measurement System*).

V praktické části je detailní popis měřicího zařízení PEMS, popis jeho ovládání a přípravy před měřením. V návaznosti je proveden návrh vhodných RDE tras s aplikací na vozidla nižší třídy se zážehovým motorem, kde se dle aktuální legislativy provedlo měření na vozidlech ze starších emisních norem Euro 4 až 6. Součástí práce je také návrh experimentu, který má simulovat RDE jízdu na válcovém dynamometru. Cílem je poukázat na možné alternativní měření RDE bez nutnosti opustit emisní laboratoř. Získané poznatky mohou významně přispět k rozšíření stávajících znalostí o problematice hodnocení emisního chování vozidel v reálném provozu.



3 Emise automobilů

Problematika emisí je celosvětově známý problém, ke kterému se ve světě přistupuje různými způsoby. Tato práce se zaměřuje na problematiku analýzy složení spalin dle příslušných předpisů platných pro státy EU. Homologační proces je na území EU pro uvedení do provozu stejný. Prioritní je sledování několika složek emisí, které mají největší vliv a dopad na životní prostředí. Jednou z hlavních sledovaných složek je hmotnost pevných částic tzv. PM. Jejich průměr je pouze 2,5 μm a nižší. Tvorba této škodliviny je v řádech desetin miligramů na ujetý kilometr. Emise výfukových plynů lze hodnotit také pomocí počtu emitovaných částic PN (*angl. Particle Number*). Další složku, kterou vypouští spalovací motory do ovzduší, jsou oxidy dusíku (NO_x), které sestávají z oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO_2). Vznikají z atmosférického dusíku a kyslíku za vysokých teplot a tlaků při spalování. Na následujícím obrázku č. 1 je vývoj limitů NO_x za posledních dvacet let.



Obr. 1.: Vývoj emisních limitů NO_x od roku 2000 po současnost

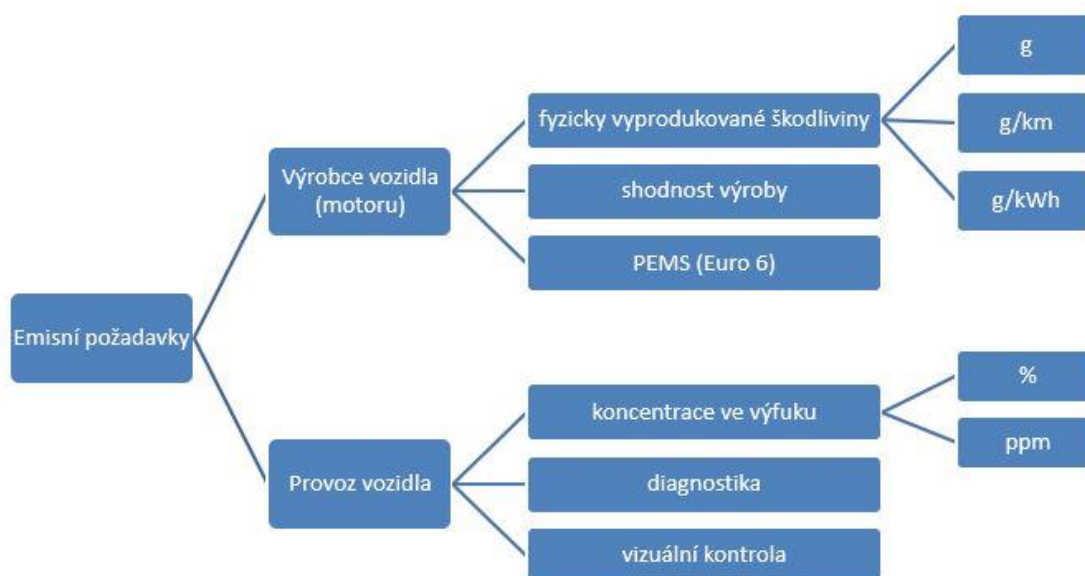
Nově vyráběná vozidla pro EU trh musí plnit přísné emisní limity výše uvedených škodlivin, konkrétně tedy PN [$\#/\text{km}$], NO_x [g/km], HC [g/km] a CO [g/km]. Homologace nově vyráběných vozidel probíhá v laboratořích specializovaných středisek, která mají schválení od státu. Pro získání homologace musí každé vozidlo podstoupit řadu zkoušek. Část z nich se uskutečňuje v laboratorních podmínkách na válcovém dynamometru. Do roku 2017 se využíval jízdní cyklus NEDC (*angl. New European Driving Cycle*). Dle odborných studií byl tento cyklus na dnešní poměry nevyhovující, zastaralý a vyráběná vozidla byla přímo optimalizována na daný cyklus. U většiny vozidel následně neodpovídala udávaná spotřeba skutečné (vyšší dynamika v běžném provozu, než při cyklu). Výrobci vozidel prezentovali hodnoty spotřeb naměřené při cyklu, jež odpovídaly legislativě, avšak v reálném provozu se jim nedokázaly přiblížit. Dalším odhaleným problémem jsou emisní charakteristiky, které se ve skutečnosti podstatně liší. Vliv na emise má typicky i stání, či popojíždění v kolonách. Výrazný podíl mají na spotřebu a škodliviny prudké akcelerace, které



v NEDC nejsou zohledněny. Tyto podněty vedly EU k zavedení přísnějšího laboratorního testu, zvaného WLTP (*angl. Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure*). S nařízením EU č. 459/2012/EC vstoupila v platnost emisní norma Euro 6. U nejnovějších norem Euro 6c, Euro 6d- TEMP a Euro 6d se certifikace WLTP doplňuje o měření v reálném provozu (RDE). Pro výše uvedené škodliviny jsou uvedeny limity pro osobní zážehové automobily tříd M1/N1 v aktuální platnosti dle Euro 6d [14][18].

- CO – 1 [g/km]
- NO_x – 0,06 [g/km]
- PN – 6,0×10¹¹ [# /km]
- HC – 0,1 [g/km]

Emise produkované vznětovými motory jsou stejně důležité jako u motorů zážehových, avšak tato práce je zaměřena pouze na problematiku zážehových motorů. Na obrázku č. 2 jsou schematicky znázorněny emisní požadavky u vozidel aktuálně provozovaných a při homologaci před sériovou výrobou.



Obr. 2.: Emisní požadavky na vozidla [13]

3.1 Sledované složky spalín

Ve výfukových plynech spalovacího motoru je až tisíc složek škodlivých látek. Legislativa je omezena na plynné látky a částice, které mají dopad na lidský organismus a životní prostředí. Při dokonalé oxidaci uhlíku (C) a vodíku (H) vzniká během spalování oxid uhličitý (CO₂) a voda (H₂O). V případě delšího stání je odkapávající voda z výfuku patrná a nepřímo se podílí na korozi výfukové potrubí. Nedokonalou oxidací vzniká oxid uhelnatý (CO) a vodík (H₂). Při vysokých teplotách vznikají oxidy



dusíku (NO_x) díky oxidaci vzdušného dusíku (N_2). Pokud při spalování není přítomný žádný vzduch uvnitř kapky kapalného paliva, dochází při vysokých teplotách k dekompozici molekul uhlovodíků. Důsledkem toho se ve výfukových plynech tvoří pevné částice uhlíku (saze vycházející z výfukového potrubí). [22][28]

3.1.1 Oxid uhličitý CO_2

Produkt dokonalého spalování uhlovodíkového paliva (závislé na poměru C a H v palivu). V menší míře není výrazně škodlivý. Množství je přímo úměrné množství spáleného paliva. Je běžnou součástí atmosféry, avšak v nadměrném množství negativně ovlivňuje životní prostředí, jelikož vytváří radiační clonu a zabraňuje sdílení tepla sáláním ze země. Jeho zvyšující se koncentrace má podíl na vzniku skleníkového jevu. [6][39]

3.1.2 Oxid uhelnatý CO

Produkt nedokonalého spalování. Váže se krevní barvivo intenzivněji než kyslík za vzniku karboxylhemoglobinu, který blokuje distribuci kyslíku pro jednotlivé orgány, a především u lidí s onemocněním srdce působí zdravotní obtíže. Ve větších koncentracích je toxický a v atmosféře oxiduje na CO_2 . Při zvýšené koncentraci CO_2 vlivem disociace je zvýšena i koncentrace CO. [7]

3.1.3 Nespálené uhlovodíky HC

Souhrnné označení pro sumu organických plynných látek s obsahem uhlíku, vodíku a dalších prvků. V atmosféře se dokáží přemísťovat na velké vzdálenosti a jsou schopny odolávat přirozenému rozkladu. Pokud se vyskytují ve spalinách ve vyšších koncentracích, ukazuje to na energetické ztráty, jelikož představují zbytky nespáleného paliva. [12]



3.1.4 Oxidy dusíku (NO_x)

Souhrnně označuje plyny NO a NO_2 . Vznikají z atmosférického dusíku za vysokých teplot spalování. Koncentrace těchto složek celosvětově roste a nejvýrazněji se na nich podílí spalovací motory. Paliva se spalují za vysokých teplot, kdy dochází k oxidaci vzdušného dusíku N_2 na vysokoteplotní NO. Tyto látky mají negativní dopad na celosvětový ekosystém, lidské zdraví a mají vliv na tvorbu kyselých dešťů. Vlivem kyselých dešťů vznikají kyselé vodní plochy, které mají nepříznivý vliv na faunu a flóru. V neposlední řadě dochází k tvorbě fotochemického smogu a přízemního ozonu. Oxid dusnatý považujeme za skleníkový plyn. [22][5]

3.1.5 Částice PM/PN

Vznikají nedokonalým spalováním paliva. Částice jsou pevného skupenství, zpravidla rozptýlené v okolním prostředí.

Částice se dělí:

- a) Počet emitovaných částic (PN) – celkový počet částic v pevném stavu v emisích z výfukových plynů vyčíslený dle metod měření.
- b) Emise pevných částic (PM) – hmotnost pevných částic z výfukových plynů vozidla vyčíslených dle metod měření.

Pevné částice jsou tvořeny sazími, uhlovodíky, prachem a dalšími jemnými částicemi. Tvoří se během spalovacího procesu. Jsou velké v řádu od několika nm až μm . Nejjemnější částice projdou skrz nejnovější filtry a můžou se usadit až v krevním řečišti. Jsou silně karcinogenní. Nejmenší částice se usazují v lidském těle v oblasti plic a dalších tkání. Na pohled je poznáme viditelným kouřem, který se podílí na vzniku smogu. Smog je typický pro oblasti měst s rozvinutou infrastrukturou. [22][33]



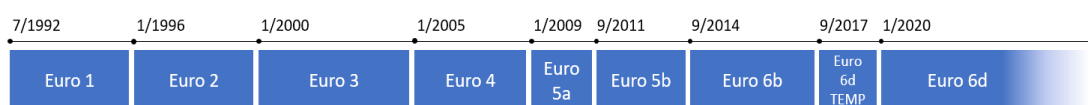
4 Historický vývoj emisních limitů

Vůbec první norma, která limitovala emise výfukových plynů vznikla v USA, konkrétně v roce 1968 v Kalifornii. Netrvalo příliš dlouho a emisní omezení se dostalo do Evropy, kdy konkrétně v roce 1971 vešla v platnost norma označená EHK 15. V tomto formátu se řadu let udržela a nepředstavovala příliš výrazné omezení. Změna přišla s rokem 1992, kdy přišla první Euro norma. S nárůstem vozidel a s vyspělostí technologií se postupně přecházelo na normy přísnější. Zpravidla lze říct, že každé 4 roky vyšla nová Euro norma. Aktuálně je v EU platná norma Euro 6d. [38]

4.1 Emisní norma Euro

Emisní třídy Euro jsou závazné normy Evropské unie již od počátku roku 1992. Stanovují množství škodlivin ve výfukových plynech spalovacích motorů motorových vozidel. Na základě ujeté vzdálenosti stanovuje jednotlivé hmotností podíly škodlivin.

Od roku 1992 vznikly postupně normy Euro 1 až 6, kdy se zvyšujícím číslem byla norma přísnější. Každá nově platná norma se vztahuje na aktuální nově vyráběná vozidla. Zajímavostí je, že Euro 1 vůbec nerozlišovala rozdíl mezi motorem zážehovým a vznětovým. Euro 2, jež vešla následně v platnost, již skutečnost dělení motorů jasně definovala a zpřísnila limity škodlivin. S rokem 2000 přišla přísnější norma Euro 3, která rozdělila sledování škodlivin u nespálených uhlovodíků a oxidů dusíku. Následující normy Euro 4 a 5 z let 2005 resp. 2009 se zaměřily primárně na vznik škodlivin u vznětových motorů, primárně na pevné částice. S nástupem těchto norem výrobci začali vozidla vybavovat filtry pevných částic výhradně u diesellových motorů. Emisní norma Euro 6 z roku 2014 limity výrazněji zpřísnuje. Novější normou je Euro 6c, jež je opět náročnější a u většiny automobilek se objevují filtry pevných částic už i u zážehových motorů. Spolu s touto normou se objevují první pokusy o měření mimo laboratoř. Jedná se o RDE, které bude následně předmětem této práce. Na tuto normu následně navazuje norma Euro 6d-TEMP a v roce 2020 Euro 6d, jež legislativně zavádí povinnost měření vozidel dle RDE. Aktuální norma stanovuje limity CO, HC, NO_x a PN na ujetý kilometr. Pro osobní automobily kategorie M1/N1 je norma číslována arabskými číslicemi, zatímco pro nákladní vozidla se norma liší a je značena římskými číslicemi. Na obrázku č. 3 je časová osa vzniku emisních norem. [1][3]



Obr. 3.: Časová osa vzniku emisních norem [2]



5 Druhy emisních zkoušek

Legislativa rozděluje tři základní druhy povinných emisních zkoušek:

- a) Zkouška homologační
- b) Zkouška kontroly výroby a udržení jakosti
- c) Zkouška během provozu (více o této zkoušce v kapitole 7.)

Takové zkoušky provádí akreditované zkušebny, které mají schválení státem. Vždy podléhají aktuálním předpisům a normám. Zkouška homologační a zkouška kontroly výroby a udržení jakosti se provádí na válcové zkušebně za přísných podmínek. Při takových zkouškách je vozidlo podrobeno požadovanému jízdnímu cyklu, při kterém se měří koncentrace škodlivých látek ve výfukových plynech. Tyto látky se měří velice přesnými analyzátory, které plní stanovené legislativní normy. [42]

5.1 Válcový dynamometr

Název vychází z *angl. Chassis dynamometer*. Zařízení slouží k měření a testování vozidel, které zaručuje simulaci silnice v uzavřeném prostoru (obvykle budově) při zaručení požadované opakovatelnosti. Silnici simuluje povrch otáčejících se válců, které jsou spojeny s řízeným dynamometrem, jehož odpor je řízen dle definovaných jízdních odporů daného vozidla. Vozidlo je na válcích pevně zachyceno zádržným systémem a je umístěno hnanou nápravou na válcích. Součástí dynamometru je výkonný ventilátor, který zajišťuje proudění vzduchu do přední části vozidla (simulace chlazení vzduchem) a je řízen proporcionálně vzhledem k rychlosti rotujících se válců do rychlosti $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. U nových vozidel se zvýšila sofistikovanost řídicích systémů, které je potřeba pro správnou funkci na dynamometru deaktivovat (zajištění správného řízení jízdní stability vozidla). Na vozidlo nepůsobí stejné síly jako na silnici, takže se simulace aplikuje přes válce dynamometru na kola vozidla. Například odpor vzduchu se se zvyšující rychlostí projevuje jako zvyšující se síla brzdící kola vozidla. K takovému chování se musí mimo zkušebnu získat silniční koeficienty (odpory). Značí se F_0 , F_1 , F_2 a od řady výrobců jsou dostupné. Jedná se o silniční odpory a odpory ze stoupání. K silničním odporům patří odpor valení, vzduchu a tření. V případě, že tyto koeficienty nejsou dostupné, lze je získat na základě experimentální dojezdové křivky vozidla. Tyto parametry se následně uvádí do dynamometru společně se setrvačnou hmotností. Nejmodernější zkušebny umožňují plně elektronické nastavení vzdálenosti mezi dvojicemi válců (měření vozidel s pohonem 4x4). Pro rychlé zajištění vozidla proti sjetí z dynamometru se využívá tažného oka vozidla v přední a zadní části. Takové ukotvení je zobrazeno na obrázku č. 4. [37]



Obr. 4.: Válcový dynamometr MAHA-VTP Rostoky

5.1.1 Dělení dynamometrů

Na trhu je velké množství dynamometrů, které jsou využívány pro různé aplikace. Mezi nejznámější patří měření točivého momentu, elektromagnetické testy, akustické aplikace a měření emisí. Další dělení může být dle druhu vozidla (motocykl, osobní automobil). Konstrukční řešení válců je odlišné, avšak u moderních zkušeben je obvykle jeden válec na kolo a kolo vozidla se umísťuje na vrchol válce. [36] Na obrázku č. 5 je válcová brzda MAHA MSR 500 s jednohřídelovou koncepcí pohonu náprav v areálu ČVUT Na Julisce. [48]



Obr. 5.: Válcový dynamometr Na Julisce



5.1.2 Základní nastavení

Na dynamometru je možné nastavit několik módů dle potřeby:

- a) Udržení konstantní síly: nastavuje se síla bez ohledu na rychlost, nebo jiné parametry (dynamometr vyvíjí stejný odpor bez ohledu na rychlost otáčení)
- b) Udržení konstantní rychlosti: nastavuje se rychlost bez ohledu na sílu nebo jiné parametry. Pokud vozidlo zrychlí, tak dynamometr působí silou opačnou, aby udržel nastavenou rychlost.
- c) Simulace jízdy: simulují se jízdní odpory dle nastavených parametrů. Využívá se zadané simulační síly dle koeficientů F_0 , F_1 , F_2 , které se pro každé vozidlo liší. Dále se zohledňuje hmotnost vozidla měřeného vzorku. [28]

5.2 Laboratorní měření emisí výfukových plynů

Laboratorní měření emisí výfukových plynů lze dělit na tři základní metody:

- a) detekce emisí přímo uvnitř potrubí
- b) odběr vzorku nezředěných plynů zavedený po úpravě do analyzátoru
- c) odběr ředěného vzorku

5.2.1 Přímé vzorkování a vzorkování s konstantním objemem

U metody přímého vzorkování se určuje hmotnost měřených emisí, kde je nezbytné měřit celkový průtok výfukových plynů (neředí se vzduchem). Vzhledem k provozním a jiným podmínkám musí měřicí přístroj počítat s časovým zpožděním, než se vzorek dostane k analyzátorům. Takový analyzátor je nezbytné před použitím synchronizovat (*angl. Time Alignment*) a následně zkalibrovat.

Metoda vzorkování s konstantním objemem vychází z ředění vzorku vzduchem. Po zředění musí být teplota rosného bodu vzorku nižší, než je teplota vzduchu okolního. Primárně se dbá na zabránění kondenzace vody v potrubí, kterým vzorek zplodin vede k analyzátoru. Tato metoda ředění se nazývá CVS (*angl. Constant Volume Sampling*). Celkové emise se mísí s okolním vzduchem při zachování konstantního průtoku zředěných plynů. Metoda je vhodná pro vzorek s malým průtokem výfukových plynů či vysokou koncentrací látek. [43]

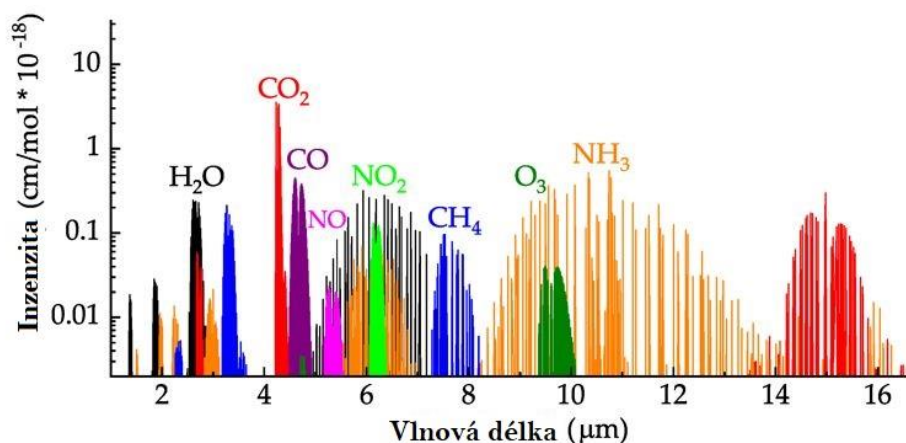


5.3 Analyzátoři jednotlivých složek

Na trhu je velké množství analyzátorů s různou přesností, kvalitou a principem činnosti. Měří množství jednotlivých složek ve spalinách. Následující dvě podkapitoly rozebírají analyzátoři, které se v průběhu práce vyskytují, avšak nejsou na trhu jediné.

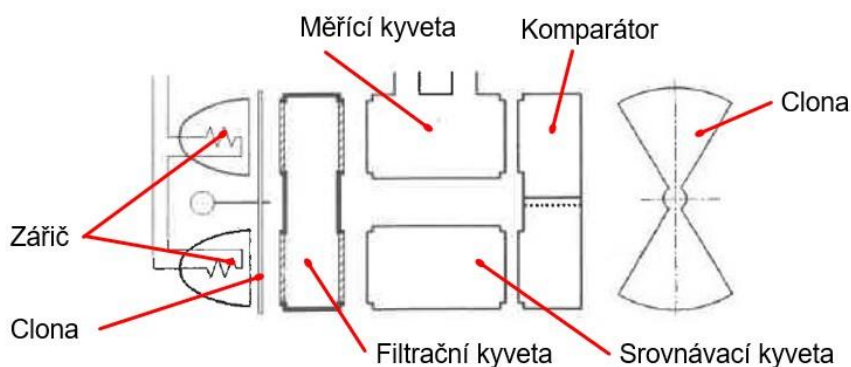
5.3.1 Infraanalyzátor spalin (NDIRA)

NDIRA je z *angl. Non-Dispersive InfraRed analyser*. Je založen na principu nedisperzní infračervené analýzy spalin. V laboratorních měřeních slouží pro zjišťování koncentrace CO a CO₂. Při průchodu elektromagnetického záření vrstvou plynů je část energie pohlcena. Plyny o dvou a více atomech absorbují záření na jiných vlnových délkách než příslušné analyzované složky. Míra absorpce je dána plochou A pod křivkou, jež je označena příslušnou látkou (obrázek č. 6).



Obr. 6.: Absorbční spektra [35]

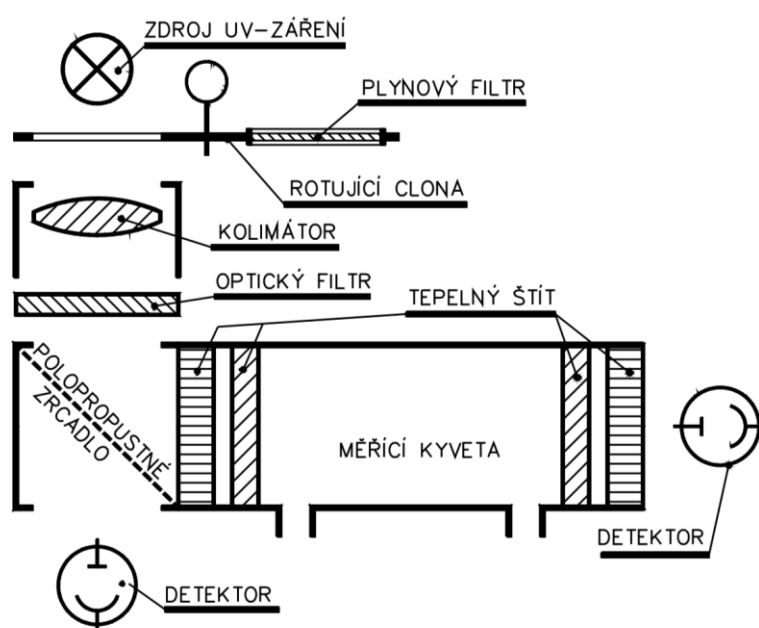
Schéma analyzátoru se nachází na obrázku č. 7. Zářič je zdrojem infračerveného záření procházející skrz clony do kyvet. Kyveta je laboratorní pomůcka, do které se umísťuje kapalný vzorek při měření optických vlastností roztoků a propouští vlnovou délku světla příslušnou analyzovaným složkám. [27] Světlo se dostává do komparátoru, který je vyplněn plynem, jehož koncentrace je zjišťována (zajištěna selektivností pro daný plyn). V části, kde se nachází měřicí kyveta, dochází k rozdílnému ohřátím plynu, než je tomu v části srovnávací kyvety. Dochází ke změně tlaku a vychylování membrány mezi částmi komparátoru. Vychylování membrány je převáděno na elektrický signál. Elektrický signál přenáší data o koncentraci daných plynů. U kompaktních zařízení (PEMS) se využívají zjednodušené verze. V různých modifikacích se vyskytují v laboratořích nebo na stanicích měření emisí. [22]



Obr. 7.: Nedisperzní infračervený analyzátor NDIRA [22]

5.3.2 Princip absorpce ultrafialového záření (NDUV)

Tzv. optický analyzátor NDUV pochází z *angl. Non-Dispersive Ultra Violet Spectroscopy*. V laboratorních podmínkách slouží pro zjišťování koncentrací NO a NO₂. Ultrafialové záření z plynové výbojky je měněno rotující clonou a vedeno přes tzv. kolimátor (zaměřovač) a optický filtr na polopropustné zrcadlo. Část světla jde skrz měřicí kyvetu do detektoru, kde se pohlcuje část světla složkami v analyzovaném vzorku. Citlivost přístroje je zajištěna náplní plynové výbojky uvnitř zdroje a náplní plynového filtru v rotující cloně. Data jsou vyhodnocena srovnáním s referenčním paprskem, jež eliminuje vliv neselektivní absorpce. Nevýhodou analyzátoru je živostnost plynové výbojky. Na obrázku č. 8 je vyobrazeno schéma analyzátoru. [22]



Obr. 8.: Nedisperzní ultrafialový analyzátor NDUV [22]



6 Zkušební jízdní cykly

Zkušební jízdní cykly jsou nezbytnou součástí uvedení nových vozidel do provozu. Dle předpisu Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 83 se stanoví homologační zkoušky pro motorová vozidla. Stěžejní zkouškou je homologační zkouška typu I (Ověření výfukových emisí při studeném startu). Jedná se o rychlostní profil, který definuje na válcovém dynamometru simulaci profilu reálného provozu. Profil křivky určuje závislosti rychlosti v určitém čase a v průběhu let se tento cyklus modifikoval tak, aby více odpovídal reálnému provozu. Cykly jsou výrazně upravené tak, aby byla zaručena opakovatelnost a provedení. Měří se emisní hodnoty, které musí splnit požadovanou Euro normu.

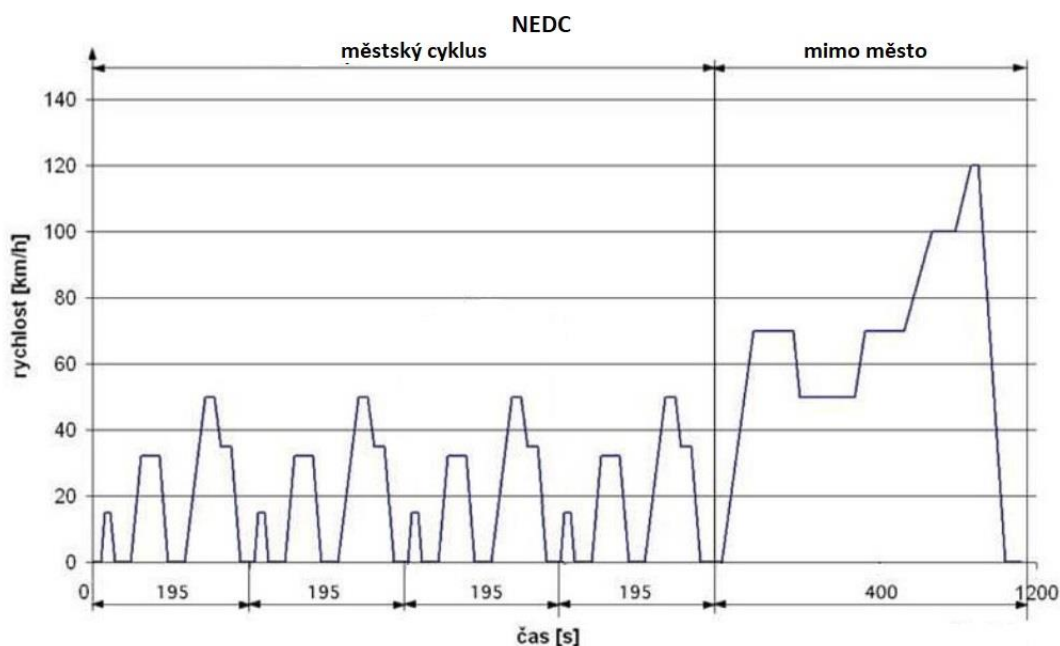
V praxi měření probíhá tak, že na obrazovce před vozidlem běží křivka rychlosti v čase, které se řidič musí v jasně definovaných tolerancích držet. U vozidel s manuální převodovkou jsou jasně dané řadicí body převodových stupňů. Dříve se využívalo testování pomocí NEDC. V dnešní době se plnohodnotně přešlo na metodiku WLTP. K tomuto kroku došlo, jelikož původní NEDC byl již zastaralý, nebyl příliš dynamický a jeho naměřené hodnoty neodpovídaly realitě ze skutečného provozu. Hlavním aspektem bylo sjednotit homologace vozidel na světovém trhu. Návrhy na nový cyklus byly již v roce 2007, avšak první testy podle WLTP byly povinné v EU od září 2017 (pro nové motory) a o rok později pro nově registrovaná vozidla. USA s navrhovaným cyklem nesouhlasili, takže tento cyklus se nemohl stát celosvětově uznávaným. Použití cyklu je tedy dáno obdobím homologace, třídou vozidla a oblastí, kde se uskutečnila homologace automobilu. [11]

6.1 Jízdní cyklus NEDC

Nový evropský jízdní cyklus NEDC (*angl. New European Driving Cycle*) vstoupil v platnost roku 1992 a sloužil k získání emisí a spotřeb paliva až do druhé poloviny roku 2018. Zkouška probíhá na akreditovaném stanovišti v laboratořích na válcové zkušebně. Samotné měření provádí řidič akreditované zkušebny podle předpisů. V jízdním cyklu se simulují tři druhy provozu (městský, mimoměstský, dálniční). Délka je 1180 s a vozidlo za jedno měření ujede 11 km s průměrnou rychlostí 33,6 km/h. V případě manuální převodovky musí řidič řídit přesně dle stanovených řadicích bodů (stanovují se pro každý motor a vůz zvlášť). Maximální rychlost je 120 km/h. Celkem 23 % celkové jízdní doby vozidlo stojí (simulace semaforů atp.), což vede ke zlepšení výsledků např. u systémů Start – Stop. Nevýhodou tohoto cyklu je vysoká tolerance odchylky od rychlostního profilu až 2 km/h (chyba řidiče). Vzorky emisí jsou během cyklu sbírány, analyzovány a vyjádřeny v jednotkách g/km. Zkouší se pouze jedno vozidlo z modelové řady bez zohlednění různých výbavových stupňů a z toho plynoucích různých hmotností vozidla. Největší nevýhodou



cyklu je nízká dynamičnost, délka stání a jednoduchost cyklu, která nedostatečně testuje vozidlo v jeho výkonovém spektru. [11][4] Na grafu č. 1 je tvar křivky cyklu NEDC.



Graf 1.: Homologační cyklus NEDC [40]

6.2 Metodika WLTP

Plně nahrazuje původní NEDC a přibližuje naměřené hodnoty spotřeb paliva blíže k realitě. Oproti NEDC je to pro automobilky výrazná změna a znesnadňuje tak možné podvody, které se v předchozích letech objevovaly na válcových zkušebnách (úprava softwaru ŘJ). Metodika WLTP se skládá ze dvou základních částí – laboratorní jízdní cyklus WLTC (*angl. Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycles*) a RDE části (reálný provoz od 9/2019 součástí homologace vozidel). V první řadě se přešlo na nový cyklus, ke kterému se postupně implementovala RDE část ve dvou krocích (více o RDE v kapitole 7).

V prvním kroku platil na homologovaná vozidla od září 2017 (za účelem monitorování) s CF = 2,1. CF zohledňuje odchylku naměřených emisí z válcového dynamometru a PEMS (více o faktoru v kapitole 7.3.1). V druhém kroku byl v roce 2020 tento faktor snížen na 1,43 (faktor zvýhodňuje vozidla vůči WLTC části). Vozidlo se stejně jako u NEDC nejdříve testuje při WLTC za laboratorních podmínek a následně se podrobí druhé zkoušce v reálném provozu. Naměřené hodnoty z obou částí se zkoumají, podrobují analýze a musí plnit předepsaný CF faktor. [8]

6.2.1 WLTC cyklus

Jedná se o cyklus, který je výrazně náročnější a dynamičtější než NEDC. Simulují se celkem čtyři různé režimy zatížení motoru vozidla (nízké, střední, vysoké a extra vysoké). První – nízká fáze



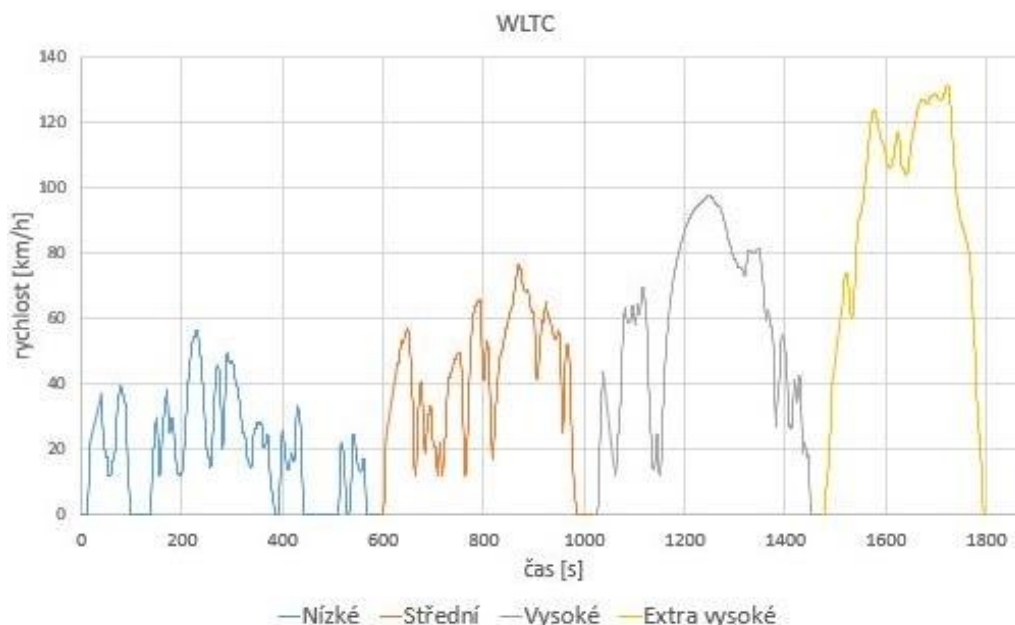
simuluje městský provoz (60-90 km/h), v druhé fázi je současně městská i mimoměstská část provozu (60-90 km/h), třetí představuje primárně mimoměstské rychlosti a v poslední je dálniční jízda (90–130 ±3,2 km/h). Tento cyklus se používá v několika modifikacích na základě třídy homologovaného vozidla (tři kategorie na základě poměru výkonu a hmotnosti). V první kategorii jsou testována vozidla s výkonovou hmotností menší nebo rovno 22 W/kg, v druhé 22–34 W/kg a ve třetí vyšší, než 34 W/kg. Třetí kategorie platí pro většinu automobilů, která se následně dělí do dvou podkategorií dle maximální rychlosti. V podkategorii 3a jsou vozidla s maximální rychlostí do 120 km/h a v podkategorii 3b vozidla s maximální rychlostí přesahující 120 km/h. [41]

Teplota na válcové zkušební musí být 23 °C a vozidlo se musí před zkouškou několik hodin temperovat na stejnou teplotu v kondiční hale (obrázek č. 9). Kondiční hala slouží pro přípravu vozidel před měřenými testy na válcové zkušební, kde je pomocí vzduchotechniky udržovaná konstantní teplota a vlhkost. Vozidla testovaná pro homologační měření RDE musí mít najeto minimálně 3000 km. Části vozidla jako jsou pneumatiky musí být nahuštěny na předepsaný tlak, který odpovídá homologaci vozidla. Do vozu se tankuje pouze vzorek referenčního paliva tak, aby byla zaručena validita zkoušky. [9]



Obr. 9.: Kondiční hala v centru udržitelné mobility VTP Rožtoky

Výrazným rozdílem je vůči NEDC doba jízdy, která se z 1180 s (19,6 min) zvýšila na 1611 s (26,8 min). Maximální rychlost je 131,3 km/h a vůz najede 23,3 km s průměrnou rychlostí 46 km/h. Funkce Start – Stop u WLTP nehraje takovou roli, jako u NEDC, jelikož počet zastávek činí pouze 12,6 % celkového jízdního času. Jednotlivé fáze jsou na grafu č. 2 barevně rozlišené a platí, že při nízké zátěži se simuluje jízda ve městě, v závěrečném extra vysokém zatížení se simuluje pohyb vozu na dálnici. [10]



Graf 2.: Homologační cyklus WLTC pro vozidla od normy Euro 6

6.3 Srovnání jednotlivých cyklů

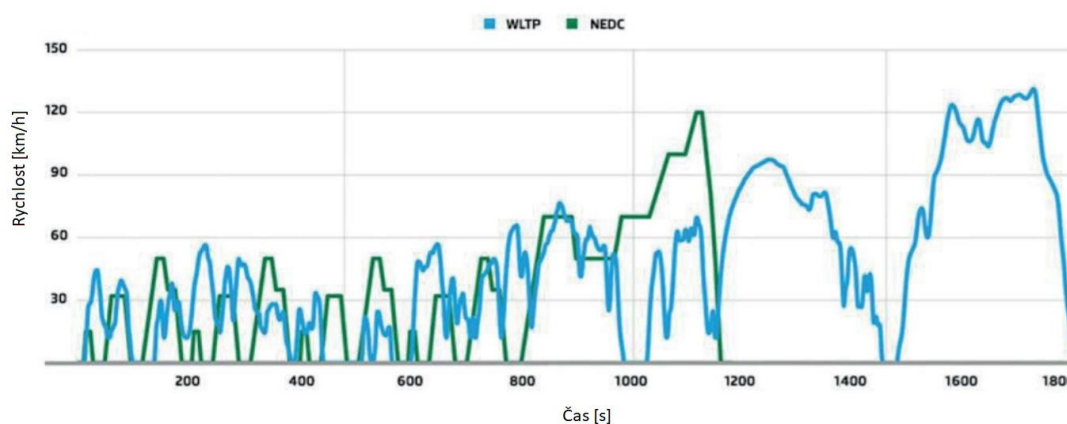
Pro porovnání NEDC a WLTP cyklu je zde přiložena názorná tabulka č. 1, která poukazuje na změny mezi starým a novým cyklem.

Tab. 1.: základní parametry cyklů NEDC a WLTP [11]

	NEDC	WLTP
Doba měření [s]	1180	1800
Ujetá vzdálenost [km]	11,03	23,27
Testovací teplota [°C]	20–30	23 /14
Průměrná rychlost [km/h]	34	46
Maximální rychlost [km/h]	120	131
Doba jízdy konstantní rychlosti [s]	445	61
Doba stání [s]	280	242
Fáze testování	2 fáze (66 % městská a 34 % mimoměstská)	4 fáze (52 % městská a 48 % mimoměstská)
Motor v provozu [km]	3000-15000	> 3000
Změna rychlostního stupně	Pevně dané pro všechna vozidla	Specifické pro každé vozidlo
Testovací hmotnost	Hmotnost vozidla + 100 kg	Hmotnost vozidla + 75 kg + extra náklad
Pneumatiky	Najeté <3000 km nebo hloubka dezénu 50 % –90 %	Hloubka dezénu 80 % - 100 %
Aerodynamické prvky	Základní karosérie (není definované pro pohyblivé části)	Specifické pro každé vozidlo (i pro pohyblivé části)



Pokud průběh obou cyklů vykreslíme na jeden graf č. 3, lze snadno poznat, který je NEDC a WLTC.



Graf 3.: Porovnání jízdních cyklů NEDC a WLTP [34]

6.4 Průběh testů NEDC a WLTC

Samotná příprava vozidla se pro tyto cykly příliš neliší. Po přijetí vzorku se na přípravě do vozidla natankuje referenční palivo (stávající je nutno vyčerpat), změří se tlaky pneumatik a zaeviduje stav vozidla, pneumatik a kilometrů. Na vozidlo je nutné namontovat kotvící oka pro upevnění na válcovém dynamometru. Po splnění všech výše popsaných kroků se musí pomocí diagnostického rozhraní provést kontrola použitého softwaru řídicí jednotky. Datový stav musí být shodný s verzí použitou při homologaci.

Poté, co je vozidlo v kondiční hale vytemperováno na předepsanou teplotu (23 °C včetně motorového oleje), nebrání nic přesunu na válcovou zkušebnu.

Vozidlo se před tímto úkonem nesmí startovat. Technici vozidlo na zkušebnu manuálně dotlačí, případně využijí elektrického přesouvače. Jakmile je vozidlo dopraveno na válcovou zkušebnu, je potřeba ho na dynamometru řádně ustavit. Tento úkon obnáší nastavení správného rozvoru a umístění symetricky na vrcholy válců. Následně se vozidlo na válcích protočí tak, aby bylo přesně v ose válců a řádně se ukotví. Ukotvení se může lišit podle testovaného vozidla. Vpředu a vzadu je uchycení obvykle za pomoci speciálního rámu k tažným okům, anebo za pomoci kurtů k rámu vozidla (uchycení vozu na obrázku č. 10). Na způsob ukotvení je brán velký důraz, jelikož kola vozu se točí obvodovou rychlostí odpovídající rychlosti vozidla i přes 130 km/h. V případě uvolnění kotvících bodů hrozí pracovní úraz a vysoké škody na pracovišti.



Obr. 10.: Ukotvení vozu na válcovém dynamometru

Následuje připojení výfukového systému do odběrného zařízení. Propojení musí odolávat vysokým teplotám a být trvanlivé. Využívají se potrubí z nerezové oceli a silikonové hadice na utěsnění spojů a rychlou montáž. U sportovních vozidel může být problém se složitostí výfukového systému, kde nestačí pouze běžný adaptér na odběr výfukových plynů. Podobný problém nemusí být jen u sportovních vozidel, ale také například u vozidel na CNG, kde výfukový systém končí již před zadní nápravou.

Během emisního testu musí být v místnosti omezen pohyb osob, pouze v řídicí místnosti sedí proškolený technik, který obsluhuje všechny přístroje. Během jízdy musí být řidič plně koncentrován na jízdu a sledovat předepsanou křivku jízdního cyklu.

Je možné se dopustit několika chyb, avšak délka jízdy mimo křivku nesmí být delší než 1 s v aktuální moment a souhrnně je limit v řádu několika sekund. V případě, že nebudou splněny výše zmíněné podmínky, je celý cyklus nevalidní.



7 Měření v reálném provozu – RDE (Real Driving Emissions)

Tato metodika se začala používat v září roku 2017 jako součást nově zavedené procedury WLTP, avšak pouze pro monitorování NO_x. Do homologačního emisního testu je RDE zařazeno jako zkouška typu IA. Její regulérní platnost a zavedení na veškerá nově homologovaná vozidla je od září roku 2019. V platnost vstupuje s předpisem Euro 6d - TEMP resp. Euro 6d (na obrázku č. 11 je interpretována postupná implementace RDE). Jelikož jde o testování vozidel v reálném provozu, je nezbytné použití přenosného měřicího emisního zařízení PEMS. Popisu tohoto zařízení se věnuje kapitola 8.

RDE legislativa přenáší měření z laboratoře do reálného prostředí běžných komunikací. Ve srovnání s laboratorním prostředím, kde je test 100% opakovatelný, jelikož jsou odstraněny veškeré vnější vlivy jako počasí, dopravní situace, případně přístup řidiče, je zkouška z RDE výrazně složitější na splnění. Její opakovatelnost je možná pouze v omezené míře. Data z měření se vyhodnocují pomocí statistických metod. Proto je nutné zavést podmínky, které se musí během každého měření dodržet tak, aby byla zkouška validní. Jelikož je způsob měření náchylnější na splnění, legislativa uvádí tzv. *Conformity Factor* (CF), který zvyšuje povolené limity emisí. Tento faktor umožňuje využití RDE a po započítání této nejistoty dovoluje srovnání s laboratorním měřením. Více o faktoru v kapitole 7.3.1. Aktuálně se metodika měření RDE stanovuje dle nařízení Evropské komise (EU) dle předpisu 2017/1151, Příloha IIIA, který je doplněn a upřesněn předpisem 2018/1832. [15][42]



Obr. 11.: Harmonogram emisních norem s postupnou implementací RDE [47]



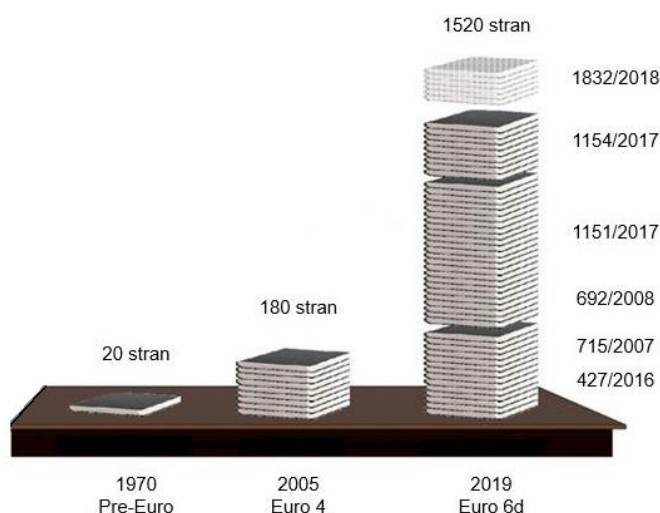
7.1 Přehled legislativních RDE balíčků

Měření emisí v reálném provozu bylo jasně definováno poprvé až v roce 2016, ale pro monitorování NO_x bylo používáno od roku 2017. V následujícím souhrnu je postupný vývoj RDE a jednotlivých nařízení (EU) dle kterého se měření RDE vyvíjelo.

Přehled legislativních balíčků:

- a) **1. balíček RDE** – nařízení (EU) 2016/427 (březen 2016)
 - rámcový popis měřicí procedury a metodiky vyhodnocení naměřených dat
 - způsob měření RDE a způsob výpočtu výsledků, specifikace měřícího přístroje
- b) **2. balíček RDE** – nařízení (EU) 2016/646 (duben 2016)
 - doplnění okrajových podmínek testů, zavedení CF pro NO_x
 - hranice RDE jízdy a její dynamika, limitace NO_x,
- c) **3. balíček RDE** – nařízení (EU) 2017/1151 (červen 2017)
 - Doplněna fáze studeného startu, zavedení CF pro PN
 - rozšíření a zpřesnění metodiky RDE, specifikace přístroje na měření PN
- d) **4. balíček RDE** – nařízení (EU) 2018/1832 (2018)
 - metodiky výpočtu emisí, definice teplého startu
 - rozšíření a zpřesnění metodiky RDE
 - výrobce musí doložit ověření s pravidly shodnosti v provozu (NTE)
 - fotografická dokumentace
 - RDE součástí homologace od září 2019

[19][47]



Obr. 12.: Množství legislativních nařízení k normě Euro 6d [47]



7.2 Podmínky pro RDE zkoušky

Pro splnění platné RDE zkoušky je důležité splnit řadu podmínek, které vyžaduje aktuální legislativa.

Podmínky v bodech:

- a) Užitečné zatížení se skládá z posádky (řidič + spolujezdec), PEMS a potřebného příslušenství, které nesmí přesáhnout 90 % maximálního možného zatížení
- b) Vozidlo musí být v dobrém mechanickém stavu
- c) Minimální nájezd vozidla musí být alespoň 3 000 km
- d) Nadmořská výška ≤ 700 m. n. m.; Rozšířená nadmořská výška může být ≤ 1300 m. n. m.
- e) Poměrný hromadný kladný nárůst nadmořské výšky nesmí být větší než 1 200 m za 100 km
- f) Vnější teplota ≥ 0 °C a ≤ 30 °C; Rozšířená teplota ≥ -7 °C a < 0 °C nebo > 30 °C a ≤ 35 °C
 - v případě rozšířených hodnot z bodu d) a f) se využívá se tzv. korelačního faktoru
- g) Příslušenství se používá standardním způsobem bez omezení (A/C, rádio, masážní sedačky)
- h) Systém Start – Stop musí být během testu aktivní
- i) Doba trvání jízdy je v rozmezí 90 až 120 min
- j) Jízda ve městě: - maximální rychlost do 60 km/h
 - průměrná rychlost od 15 do 40 km/h
 - podíl trasy 29 až 44 %
 - 6 až 30 % doby jízdy musí vozidlo stát
- k) Jízda mimo město: - rychlost se musí pohybovat mezi 60 až 90 km/h
 - 23 až 43 % podíl trasy
- l) Jízda na dálnici: - rychlost musí být mezi 90 až 145 km/h a výjimečně až 160 km/h (nesmí překročit 3% celkové vzdálenosti ujeté při testu)
 - 23 až 43 % podíl trasy
- m) Minimální ujetá vzdálenost je pro jednotlivé úseky 16 km.
- n) Homologační zkoušky emisí se provádějí v pracovních dnech
- o) Homologační zkouška se jede pro dva režimy motoru (studený a teplý)
- p) Před studeným startem je nutné absolvovat 30 minutovou jízdu bez nutnosti záznamu a následně ustavit vozidlo na 6–56 hodin chladnout do temperované haly se záznamem vývoje teplot v hale
- q) Teplota motorového oleje pro teplý start musí být vyšší než 70 °C

[16][17]



Podmínky pro splnění validního RDE testu jsou přehledně rozděleny na městskou, mimoměstskou a dálniční část včetně jízdních režimů v tabulce č. 2.

Tab. 2.: Požadavky pro validnost RDE zkoušky

Podmínky pro splnění validního RDE testu			
Jízdní režim	Město	Mimo město	Dálnice
Rychlost vozidla	rychlost ≤ 60 km/h	$60 < \text{rychlost} \leq 90$ km/h	$90 \text{ km/h} < \text{rychlost}$
Min. ujetá vzdálenost	16 km	16 km	16 km
Podíly tras	29-44 %	23-43 %	23-43 %
Doba jízdy	90-120 min		
Průměrná rychlost včetně zastavení	$15 < \text{průměr} < 40$ km/h	-	-
Celková doba stání ($v < 1$ km/h)	6-30 % času	-	-
Individuální čas zastavení	≤ 300 s	-	-
$v > 100$ km/h	-	-	≥ 5 min
$v < 145$ km/h	-	-	≤ 3 % času
Kumulativní pozitivní nárůst výšky	< 1200 m / 100 km		
Rozdíl výšky začátku/konce testu	≤ 100 m		

7.3 Nepřekročitelné mezní hodnoty – NTE (Not-to-exceed)

Během celé životnosti vozidla, jež bylo schváleno dle nařízení (ES) č. 715/2007, nesmí být emise dle požadavku této přílohy při libovolné zkoušce emisí v reálném provozu být vyšší, než NTE (nepřekročitelné mezní hodnoty). Emise vyprodukované během RDE jsou okamžitě zaznamenávány, následně zpracovány a vypočteny prostřednictvím specifické metody vyhodnocení. Výsledné hodnoty emisí pro celou trasu RDE i pro městskou část musí zůstat pod mezními hodnotami emisí, jak je definováno následující rovnicí. [16][17]

$$NTE_{\text{pollutant}} = CF_{\text{pollutant}} \cdot \text{Euro 6} \quad (1)$$

Pollutant – znečišťující látka

CF – Conformity Factor

Euro 6 – mezní hodnota emisí sledovaných veličin

Než vstoupil v platnost 4. balíček RDE 1. ledna 2019, mohly být použity dvě metody hodnocení: *Moving Average Window* (MAW), nebo *Power Binning*. [16] Dnes se k vyhodnocení dat používá pouze MAW, kterému se věnuje jedna z následujících podkapitol.



7.3.1 Faktor shody – CF (Conformity Factor)

Conformity factor, neboli faktor shody, určuje maximální toleranci, o kterou je povoleno překročení emisního limitu z válcové zkušebny vůči reálnému provozu. Způsob získávání dat v reálném provozu vyžaduje náročnější způsob měření, než je tomu u válcové zkušebny. Tato chyba existuje, jelikož zařízení PEMS má různé nepřesnosti. Vůči laboratornímu systému je PEMS méně přesný a jeho úroveň opakovatelnosti je nižší. Mimo jiné je PEMS ovlivněn nadmořskou výškou, okolní teplotou a dalšími faktory, kterým válcová zkušebna nepodléhá. Zavedl se tedy dvoufázový přístup ke snížení emisí v reálném provozu pomocí NO_x a PN. Výsledky měření RDE nejsou tedy limitovány skutečným číslem, ale faktorem, který od počátku stanovuje legislativa. [16] Jeho výpočet vychází z následujícího vzorce:

$$CF = \frac{RDE \text{ výsledky měření } g/km}{Legislativní \text{ limit } g/km} \quad (2)$$

Součinitel shody 1 znamená, že při zkoušce RDE musí být splněna mezní hodnota NO_x ve výši 0,06 g / km pro zážehové vozidla (vzájemná odchylka mezi CVS a PEMS). *Conformity Factor* se využívá od 1. září 2018 pro všechna nově homologovaná vozidla. Tato hodnota byla nastavena pro výrobce velmi příznivě. Pro NO_x platilo CF = 2,1.

V novém vydání, které platí od 1. ledna 2020 je stanoven CF = 1,43 pro NO_x (úryvek z legislativy na obrázku č. 13). Tolerance měření je pro NO_x = 0,43 mezi jednotlivými analyzátory. Současně s tím vyšla v platnost i tolerance CF pro PN = 0,5. Hmotnost CO se aktuálně měří a zaznamenává zkouškou v reálném provozu a nepodléhá CF. Nejistota měření PEMS je nastavena obezřetně, ale do budoucna se bude i nadále snižovat a výrobci musejí s touto skutečností počítat. [16][17]

Znečišťující látka	Hmotnost oxidů dusíku (NO _x)	Počet částic (PN)	Hmotnost oxidu uhelnatého (CO) (†)	Celková hmotnost uhlovodíků (THC)	Součet celkové hmotnosti uhlovodíků a hmotnosti oxidů dusíku (THC + NO _x)
<i>CF_{pollutant}</i>	► M3 1 + tolerance NO _x přičemž tolerance NO _x = 0,43 ◀	► M1 1 + tolerance PN, přičemž tolerance PN = 0,5 ◀	—	—	—

Obr. 13.: Conformity Factor pro dané znečišťující látky v aktuální platnosti [16]



7.3.2 Dynamické podmínky RDE jízdy

Při jízdě RDE se musí zohledňovat i vliv dynamiky jízdy, kterou nejmórněji ovlivňuje faktor řidiče. Vyhodnocují se dva parametry zrychlení:

- VA_{positive} – součin rychlosti a zrychlení vozidla ($v \cdot a_{\text{pos}}$)
- RPA – relativní pozitivní akcelerace

Při jakékoliv hodnotě rychlosti vyšší než 3 km/h se tyto parametry určují pomocí signálu rychlosti s přesností 0,1 % a frekvencí odběru 1 Hz. [16]

7.3.2.1 Výpočet vzdálenosti a zrychlení $v \cdot a$

Data jsou zaznamenána PEMS, který je automaticky během měření vyhodnocuje. Vychází se z následujících vzorců a výpočet se musí provádět pro celý průběh křivky rychlosti v závislosti na čase:

$$d_i = \frac{v_i}{3,6} \quad (3)$$

$$a_i = (v_{i+1} - v_{i-1}) / (2 \cdot 3,6) \quad (4)$$

$$(v \cdot a)_i = v_i \cdot a_i / 3,6 \quad (5)$$

$i = \text{od } 1 \text{ do } N_t$

d_i je vzdálenost ujetá za časový krok i [m]

v_i je rychlost vozidla během časového kroku i [km/h]

N_t je celkový počet vzorků

a_i je zrychlení během časového kroku i [m/s^2], Pro $i = 1$: $v_{i-1} = 0$, $i = N$: $v_{i+1} = 0$

$$(v \cdot a)_i = (v_i - a_i) / 3,6 \quad (6)$$

$i = \text{od } 1 \text{ do } N_t$

$(v \cdot a)_i$ – součin aktuální rychlosti vozidla a zrychlení během časového kroku [16][17]

7.3.2.2 Diskretizace

Diskretizace, neboli náhrada spojitého prostředí systémem diskretních bodů, následuje po výpočtu parametrů viz. 7.3.2.1. Výsledné rychlosti se seřadí do jednotlivých datových košů, které jsou rozděleny následovně:

$$v_i < 60 \text{ km/h} - \text{městský koš} \quad (7)$$

$$60 \text{ km/h} < v_i \leq 90 \text{ km/h} - \text{mimoměstský koš} \quad (8)$$

$$v_i > 90 \text{ km/h} - \text{dálniční rychlostní koš} \quad (9)$$



Počet souborů s hodnotou zrychlení $a_i > 0,1 \text{ m/s}^2$ musí být v každém z datových košů ≥ 100 . Pro každý koš platí průměrná rychlost vozidla \bar{v}_k , kterou lze vypočítat:

$$\bar{v}_k = \sum_{i = \text{od } 1 \text{ do } N_k} v_{i,k} / N_k \quad k = u, r, m \quad (10)$$

N_k je celkový počet vzorků podílů (město, mimo město, dálnice) [16] [17]

7.3.2.3 Výpočet $v \cdot a_{pos}$ -[95]

Výpočet 95. percentil hodnot $v \cdot a_{pos}$ se počítá z hodnot $(a \cdot v)_{i,k}$ v každém rychlostním koši a následně se seřazují vzestupně u všech údajů zrychlení větších nebo rovno $0,1 \text{ m/s}^2$ ze kterých se stanoví celkový počet M_k .

M_k – počet vzorků podílů ve městě, mimo město a na dálnici s pozitivním zrychlením větším než $0,1 \text{ m/s}^2$.

$v_{i,k}$ – skutečná rychlost vozidla v časovém kroku i při uvážení podílů ve městě, mimo město a na dálnici [km/h]. [16]

Poté se přiřazují jednotlivé hodnoty percentilu k hodnotám následovně:

$$\text{nejnižší } v \cdot a_{pos} \text{ náleží } 1/M_k \quad (11)$$

$$\text{druhé nejnižší } v \cdot a_{pos} \text{ náleží } 2/M_k \quad (12)$$

$$\text{třetí nejnižší } v \cdot a_{pos} \text{ náleží } 3/M_k \quad (13)$$

$$\text{nejvyšší } v \cdot a_{pos} \text{ náleží } M_k = \frac{M_k}{4} 100\% \quad (14)$$

7.3.2.4 Výpočet RPA (relativní pozitivní zrychlení)

Pro relativní pozitivní zrychlení pro každý rychlostní koš se vychází ze vzorce:

$$RPA_k = \sum_{j = \text{od } 1 \text{ do } M_k} (\Delta t \cdot (v \cdot a_{pos})_{j,k}) / \sum_{i = \text{od } 1 \text{ do } N_k} d_{i,k} \quad k = u, r, m \quad (14)$$

RPA_k je relativní pozitivní zrychlení pro podíly ve městě, mimo město a na dálnici v m/s^2 .

Δt je časový rozdíl rovnající se 1 s [16][17]



7.3.2.5 Ověření platnosti jízd

Posledním krokem vyhodnocení je ověření platnosti. Legislativa uvádí následující podmínky:

Pro $(v \cdot a_{pos})_k$ je jízda neplatná v případě, že:

- a) $\bar{v}_k \leq 74,6 \text{ km/h}$, $(v \cdot a_{pos})_k > (0,136 \cdot \bar{v}_k + 14,44)$
- b) $\bar{v}_k > 74,6 \text{ km/h}$, $(v \cdot a_{pos})_k > (-0,097 \cdot \bar{v}_k + 31,635)$

Pro RPA je jízda neplatná v případě, že:

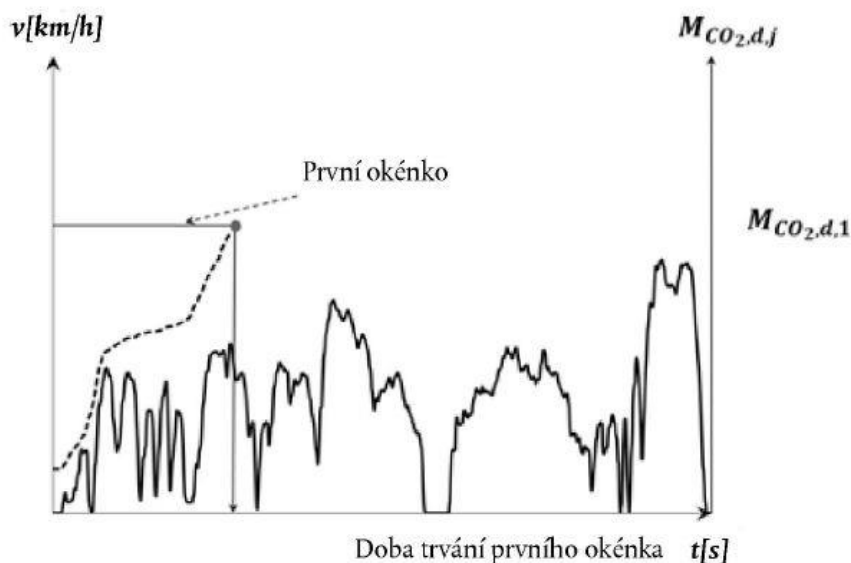
- a) $\bar{v}_k \leq 94,05 \text{ km/h}$ a $RPA_k < (-0,0016 \cdot \bar{v}_k + 0,1755)$
- b) $\bar{v}_k > 94,05 \text{ km/h}$ a $RPA_k < 0,025$

[16][17]

7.3.3 MAW (Moving Average Window)

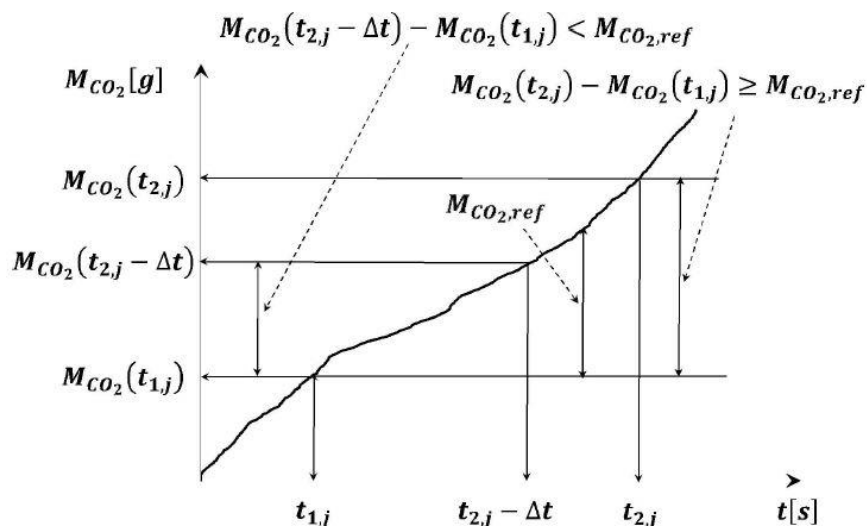
Moving Average Window se využívá k ověření celkové dynamiky jízdy. Zkouška se dělí na jednotlivé úseky (okénka) platné pro městskou, mimoměstskou a dálniční část. Následná výpočetní analýza určuje platnost jízdy z reálného provozu. Pro každé měřené vozidlo se stanoví referenční křivky, které se získají z emisí CO₂ vozidla měřeného v souladu s postupem WLTP. Jednou z podmínek pro získání CO₂ referenční je teplota provozních kapalin 23 °C (± 0,3 °C), tzn. start vozidla do WLTC musí být studený. Normalita akceleračních oken při vyhodnocení RDE se určuje porovnáním změřených emisí CO₂ PEMS za ujetou vzdálenost s křivkou emisí CO₂, jež byla získána z CO₂ referenční na válcovém dynamometru.

Výpočet okének provádí vyhodnocovací program, který okamžité emise z reálného provozu integruje na základě CO₂ referenční. Výpočty klouzavého okénka se provádějí po časových přírůstcích Δt odpovídajících frekvencí odběru vzorku. Získané dílčí hodnoty použité k výpočtu emisí CO₂ vozidla při jízdě na silnici a jeho průměrná rychlost se vyobrazí jako jednotlivé body na vykreslené křivce a značí se jako pohyblivý průměr. Výpočet je zahájen v momentu, kdy je jeho rychlost vyšší nebo rovna 1 km/h. Hmotnostní emise $M_{CO_2,j}$ se stanoví integrováním okamžitých emisí [g/s]. Na obrázku č. 14 a 15 je názorná ukázka vzniku okének a vymezení na základě hmotnosti CO₂. [16][17]



Obr. 14.: Rychlost vozidla v čase – Průměrné emise vozidla v čase [16]

Vymezení průměrovacích okének na základě hmotnosti CO₂



Obr. 15.: Vymezení průměrovacích okének na základě hmotnosti CO₂ [16]

Pro každé okénko je nutné stanovit:

- emise CO₂ za konkrétní vzdálenost ($M_{CO_2,d,j}$)
- průměrnou rychlost vozidla (v_j).

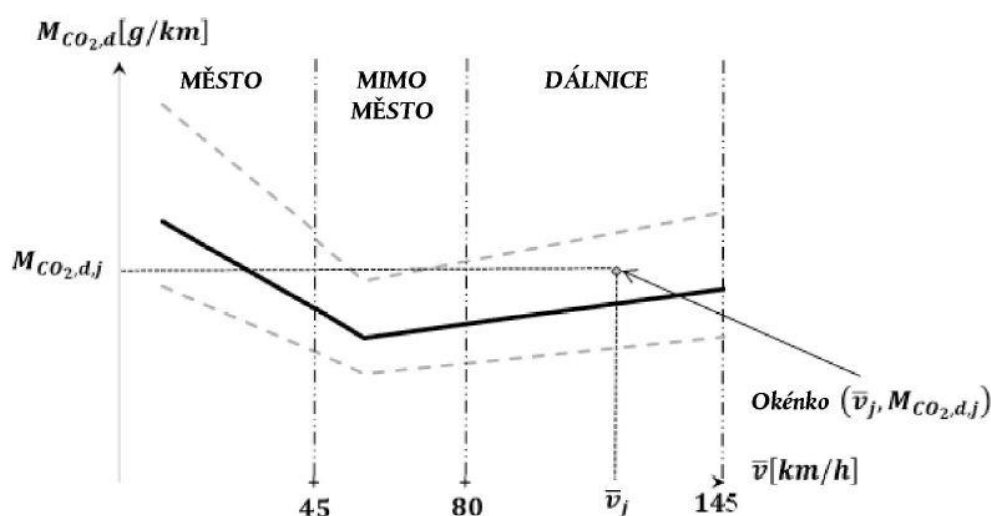
Po ukončení testu a získání všech okének provede program statistické vyhodnocení, které zahrnuje vyloučení okének, které neplní požadavky legislativy. Následně jsou jednotlivé body v každé vteřině vynášeny do grafu, společně s charakteristickou křivkou pro dané vozidlo získané z CO₂ referenční získané z WLTC. Nezbytnou součástí je stanovení referenčních bodů P1, P2 a P3, které vychází ze zkušební hmotnosti a koeficientů jízdních odporů (F_0 , F_1 a F_2). [16][17]



Referenční body P1, P2 a P3 k definování charakteristické křivky CO₂:

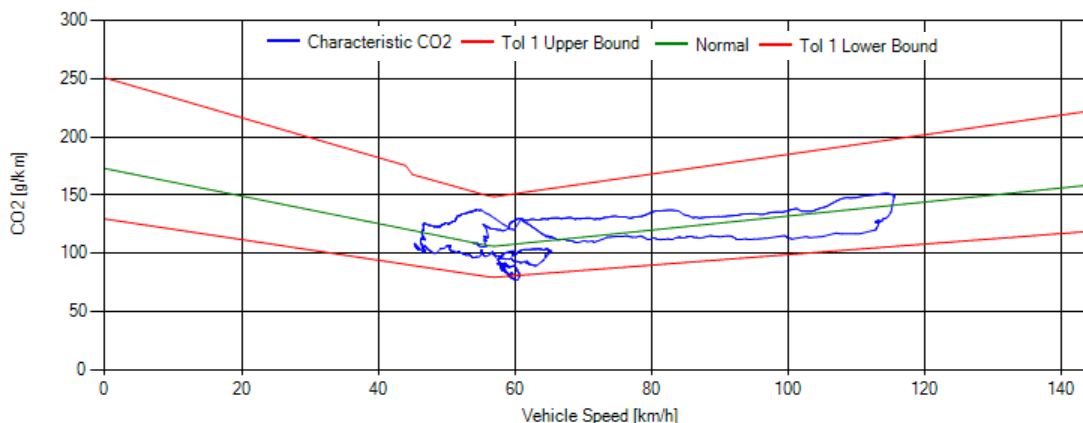
- a) Bod P1 = průměrná rychlost v městské části 18,882 km/h a emise CO₂
- b) Bod P2 = průměrná rychlost v mimoměstské části 56,664 km/h a emise CO₂
- c) Bod P3 = průměrná rychlost v dálniční části 91,997 km/h a emise CO₂

S využitím referenčních bodů se charakteristická křivka emisí CO₂ (viz. obrázek č. 20) vypočte jako funkce průměrné rychlosti s pomocí dvou lineárních úseků (P1, P2) a (P2, P3). Úsek (P2, P3) je omezen na 145 km/h. Minimální hranice platnosti zkoušky je 50 % okének ve městě, mimo městě a na dálnici. Na obrázku č. 16 je vykreslena charakteristická křivka CO₂. [16][17]



Obr. 16.: Charakteristická křivka CO₂ ohraničená křivkami pro validnost testu [16]

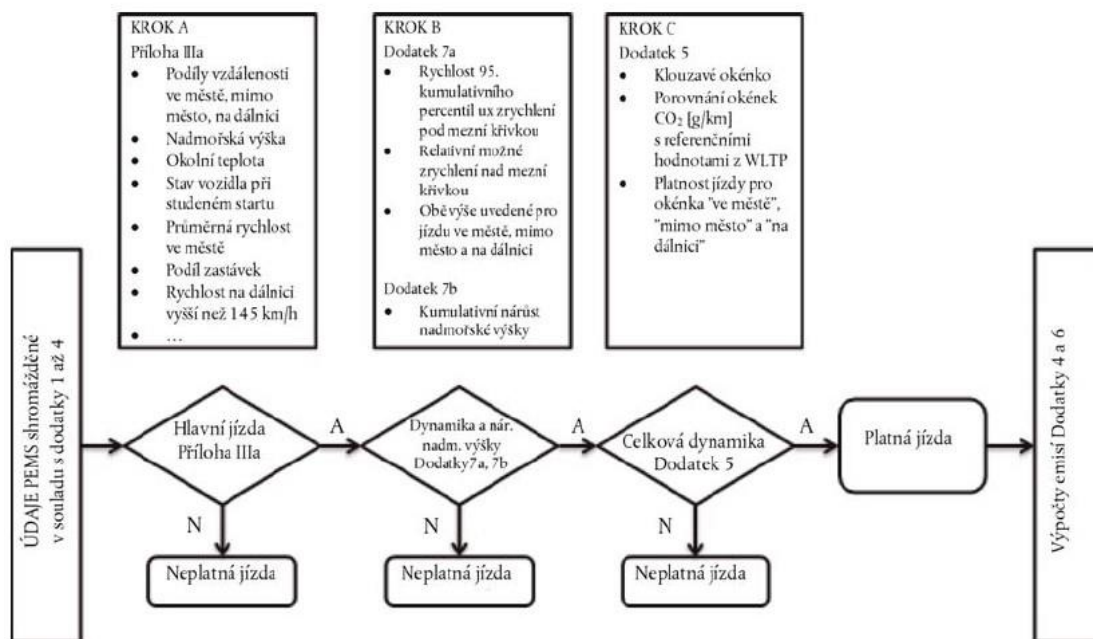
Z předchozího textu vyplývá náročnost celého vyhodnocení dynamiky testu. Ve skutečnosti kompletní výpočet a vyobrazení provádí program, který je součástí měřicího zařízení. Není tedy nutné znát jednotlivé vzorce a výpočty, jelikož k vyhodnocení stačí pouze patřičný program. U vyhodnocení programu SENSOR Tech-CT jsou křivky s okrajovou podmínkou znázorněny přehledně. Zelená křivka je tvořena hodnotami, které jsou získány z CO₂ referenční. Tato křivka je doplněna automaticky o křivky červené, které znázorňují legislativní limit. Modrá křivka se může dle jízdy lišit, jelikož znázorňuje každé akcelerační okno jako jeden bod a dle stylu jízdy a druhu trasy je následně vyobrazena. Na obrázku č. 17 lze vidět MAW pořízený při jedné z experimentálních jízd. Lze jasně prohlásit, že z hlediska akceleračních oken jízda vyhověla, jelikož je 95 % oken, mezi červenými křivkami, a to v každé části.



Obr. 17.: Ukázka MAW vyhodnocení z programu SENSOR Tech-CT LDV

7.3.4 Ověření platnosti jízdy

Z výše popsaných bodů je patrné, že k ověření platnosti jízdy se vychází z celkové dynamiky jízdy. Legislativa jasně stanovuje všechny podmínky, které jsou systematicky popsány na obrázku č. 18 (krok A, B, C).



Obr. 18.: Ověření platnosti jízdy [16]

Jak je patrné vychází se z údaje, které shromáždil PEMS a následně se vychází z kroků A, B, C. V předchozích kapitolách byly jednotlivé podmínky dynamiky rozebrány, avšak problematika mezních bodů celé jízdy obsahuje více okrajových podmínek, které jsou detailně vysvětlené v předpisech 2017/1151 a 2018/1832, jež jsou veřejně dostupné ve všech EU jazycích na webových stránkách EUR-Lex.europa.eu.



8 PEMS (Portable Emission Measurement System)

PEMS je zkratka pro přenosné zařízení měření emisí (*angl. Portable Emissions Measurement System*). Toto zařízení montuje proškolený technik na měřené vozidlo, nejčastěji automobil, ale využití může mít i u jiných dopravních prostředků, kde je potřeba ověřit složení výfukových emisí během reálného provozu. Jde o velmi nákladné a složité zařízení v řádu milionů korun, které vyrábí několik schválených výrobců.



Obr. 19.: PEMS firmy SENSORS umístěný na vozidle

Mezi přední výrobce PEMS patří:

- AVL (Graz, Rakousko)
- Sensors (Michigan, USA)
- Horiba (Kjóto, Japonsko), obr. viz Příloha B [49]
- MAHA (Heldenwang, Německo), obr. viz Příloha B [50]

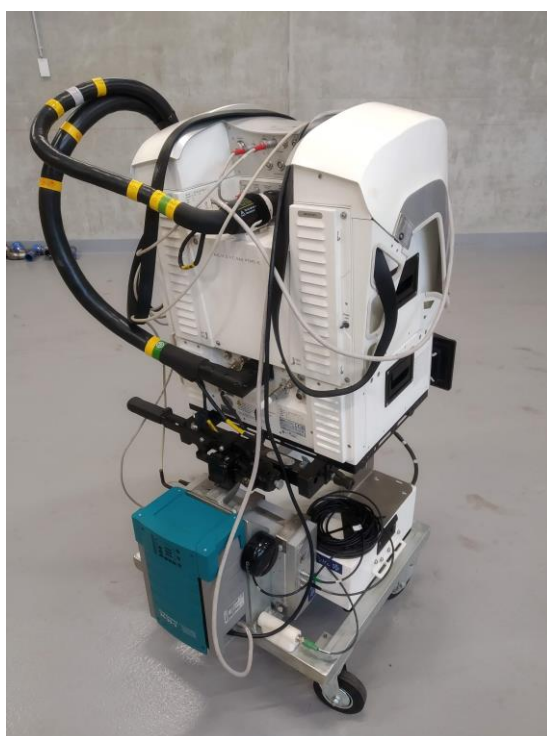
Každý z výrobců má vlastní jedinečné řešení konstrukce a tvaru, ale princip funkce je obdobný. Na obrázku č. 19 je zařízení od firmy SEMTECH Sensors, které se od AVL (obrázek č. 20) neodlišuje jen opticky, ale i technicky.

Metoda měření koncentrací složek ve výfukových plynech se u PEMS oproti měření na válcové zkušební metodou CVS liší, jelikož konstrukční řešení PEMS nedovolují stejné řešení. Analyzátoři jednotlivých složek pracují na stejném principu a výsledky jsou vzájemně porovnatelné (liší se v řádu



procent). Celé zařízení váží přibližně 100 kg a instaluje se na tažné zařízení vozidla (nejčastější řešení při homologacích). Pokud vozidlo nedisponuje tažným zařízením, je možné ho umístit do kufru.

V případě, že se PEMS montuje do sportovních vozidel, která mají kufr malý, využívá se například sedačky spolujezdce. Umístění ve vozidle je nutné zajistit tak, aby zařízení neovlivňovalo nepříznivě aerodynamické vlastnosti daného vozu. Je důležité sledovat délku přídavného potrubí od konce výfuku po část PEMS, protože příliš dlouhé výfukové vedení ovlivňuje hodnoty analyzovaných složek. Na konec výfuku je pomocí spon neprodyšně upevněna žáruvzdorná hadice, která přivádí výfukové plyny do průtokoměru. Nejčastěji se využívá kombinace elastických žáruvzdorných hadic s flexibilní hadicí potřebné velikosti.



Obr. 20.: PEMS firmy AVL

Průtokoměrem se měří aktuální průtok, pomocí kterého jsou následně vypočítány výsledné hmotnosti jednotlivých složek. Průtokoměr současně odebírá určité procento vzorku, které je 2x odebíráno do zařízení. Analýza probíhá v systému kondice vzorku SCS (*angl. Sample Conditioning System*), který vzorek převádí a upravuje tak, aby byla jeho analýza realizovatelná. Následná analýza a vyhodnocení koncentrací složek probíhá pomocí GAS module sestávající z analyzátorů NDIR a NDUV. Pro vyhodnocení počtu pevných částic slouží zařízení *Particle counter*, jež je nepostradatelnou součástí PEMS. Jednotlivé části jsou různě kombinovatelné a pro způsoby měření a požadavky výrobců je možné sestavit dle potřeb zákazníka (měření CH₄ a THC pomocí Dual FID, analyzátor koncentrace O₂). Na obrázku č. 21 je ukázka sestavy pro měření emisí na traktoru včetně FID modulu.



8.1 Součásti PEMS

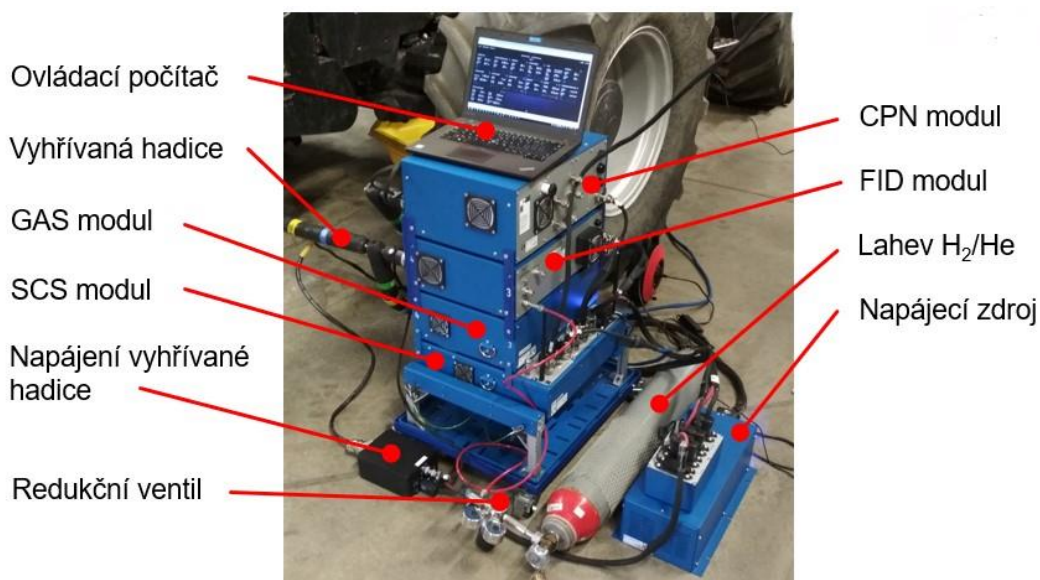
Podrobněji se s jednotlivými systémy zabývá kapitola 9, která se zabývá konkrétním PEMS zařízením, které bylo použito pro experimentální část této diplomové práce.

Jednotlivé části PEMS nezbytné pro měření osobních vozidel jsou:

- SCS systém kondice vzorku
- CPN čítač částic – měří počet pevných částic
- GAS modul – analyzátor NDIR/NDUV
- GPS – měří rychlost, polohu a nadmořskou výšku vozidla během testu
- Teplotní sonda – snímá okolní teplotu
- ICM modul – spojuje PEMS s OBD systémem vozidla, vyčítá údaje o rychlosti vozidla, teplotě motoru a otáčky
- Baterie 12 V – zajišťuje napájení měřicích zařízení

Zařízení, která se nepoužívají při běžném měření homologací motorových součástí:

- horký FID – měří koncentrace nespálených uhlovodíků
- Dual FID – měření CH₄ a THC



Obr. 21.: Ukázka sestavy pro měření emisí na traktoru včetně FID modulu



8.2 PEMS umístěný na tažném zařízení

Umístění PEMS je v případě tažného zařízení nejdostupnější možný způsob upevnění na vozidlo. Na obrázku č. 22 lze vidět uchycení zařízení na měřeném voze Škoda Fabia I. Výhodou tohoto uchycení není jen snadná montáž, ale i napojení výfukového potrubí. Přístup k zařízení pro doplnění Butanolu (více v kapitole 12.3.3), výměně filtrů a kalibracím je v případě tohoto řešení též výhodnější. Nevýhodou může být riziko poškození v případě havárie (PEMS nemá žádné bezpečnostní prvky a, i v případě menší havárie může být škoda vysoká). Tato koncepce se využívá v případě nově homologovaných běžných silničních vozidel, které umožňují v sériové produkci montáž tažného zařízení.



Obr. 22.: PEMS na tažném zařízení: vozidlo Škoda Fabia I

8.3 PEMS umístěný ve vozidle

V případech, kdy vozidlo nedisponuje tažným zařízením, využívá se zástavby přímo do měřeného vozidla. Vzhledem k velikosti a váze zařízení je zástavba problematická do všech karosářských verzí. V případě vozů kombi a hatchback je zástavba možná do kufru vozidla. Na obrázku č. 23 lze vidět zástavbu do měřeného vozidla Škoda Fabia II hatchback. Lze vidět způsob vedení výfukového potrubí, které je na vstupu nutné obalit žáruvzdorným materiálem. Pokud by vedení přišlo do kontaktu s plastovým obložením, hrozilo by poškození (v krajních případech požár vozidla). Vyskytují se řešení, kdy se PEMS musí umístit na zadní sedadla či sedadlo spolujezdce (sportovní vozidla).



Takové řešení je možné, ale je časově velmi náročné. Jelikož váha PEMS je kolem 100 kg (včetně příslušenství), je nezbytné důkladné uchycení pomocí popruhů tak, aby nedocházelo k pohybu PEMS ve vozidle. U většiny těchto řešení je ve voze velký hluk (PEMS a chlazení, částečně otevřený kufr vlivem vedení výfuku). Toto řešení je nejčastěji využíváno v případech různých experimentů.



Obr. 23.: PEMS umístěný ve vozidle: vozidlo Škoda Fabia II

8.4 Hadice a spony

Napojení výfuku do zařízení PEMS je nezbytný úkol, který se musí provést před každým měřením. Hadice, vlnovce a spony musí být z kvalitních, voděodolných a nehořlavých materiálů s jednoduchým řešením modifikací (spony) tak, aby byla zaručena možnost kombinovat vedení podle potřeby. Na obrázku č. 24 lze vidět několik možných variant upevnění k vedení výfuku. Nejlepším řešením je napojení na jednu koncovku. Pokud má vozidlo dvě koncovky nebo duplex (výústění na obou stranách), tak je napojení složitější.



Obr. 24.: Spojovací materiál, který se využívá na napojení výfuku

Jelikož každý průtokoměr má jiný vstup, je zapotřebí mít i různé redukce, které zajistí propojení s vlnovcem. Toto řešení se využívá, protože je výhodnější mít jeden druh vlnovců. Na obrázku č. 25 lze vidět vlnovce, spony a redukce.



Obr. 25.: Vlevo – vlnovce, spony a redukce

Obr. 26.: Vpravo – způsob napojení na 2“ průtokoměr

Na obr. č. 26 lze vidět uchycení na 2“ průtokoměr pomocí redukce na 3“ vlnovec. Tento způsob řešení je využit na vozidle Škoda Fabia I pro tuto diplomovou práci.



9 PEMS SENSORS SEMTECH DS+

Měřicí zařízení SENSORS SEMTECH se skládá ze tří klíčových podsystémů. Celý PEMS byl navržen pro maximální flexibilitu a jednoduchost při změně konfigurací a požadavků zákazníka. Toto zařízení bylo použito při experimentálním měření. Základní sestava na obslužném vozíku bez krycího rámu je na obrázku č.27.



Obr. 27.: Sestava SENSORS SEMTECH

Jednotlivé části zařízení SENSORS SEMTECH jsou:

- a) SEMTECH SCS – systém kondice vzorku
- b) SEMTECH GAS module – NDIR/NDUV analyzátor
- c) SEMTECH CPN – čítač částic
- d) SEMTECH EFM4 – výfukový průtokoměr
- e) SEMTECH ICM – řídicí modul
- f) SEMTECH GPS GARMIN
- g) VAISALA HSP155 teplotní čidlo
- h) Napájení PEMS
- i) Prostředí SENSOR Tech-PRO

Podrobný popis funkce a vlastností jednotlivých částí je možné nalézt v příloze A (kapitola 15.1).



10 Experimentální část

10.1 Cíle práce

V předešlých kapitolách byl popsán zpřísňující se trend emisí výfukových plynů a postupný vývoj legislativních limitů až po vznik jednotlivých emisních norem platných pro zážehové motory. Také bylo uvedeno, jaké škodlivé látky jsou zkoumány a pomocí jakých přístrojů lze tyto látky měřit. V práci zazněl i vývoj emisních jízdních cyklů, které jsou do dnešního dne nedílnou součástí homologačního měření. Práce přinesla informace o problematice měření pomocí přenosného zařízení PEMS, nutné legislativní podmínky pro splnění RDE jízdy a způsobu vyhodnocení dat, včetně vhodné volby měřicího zařízení a popisu. Součástí takového měření je popis měřicího stanoviště a jeho jednotlivých zařízení.

S ohledem na uvedené si dále práce klade za cíl provést experimentální měření, které sestává z výběru vhodných vozidel, návrhu tras pro porovnání vlivu provozních i jiných podmínek s dostatkem naměřených dat, které budou doplněny o měření a pokusy na válcové zkušebně.

10.2 Vybraná vozidla pro měření

Pro experimentální část byla vybrána vozidla splňující různé emisní normy, konkrétně normy Euro 4, 5 a 6, které byly homologované podle původního cyklu NEDC. Pro měření byla vybrána vozidla z nižší třídy, jelikož patří v Evropě k nejvíce rozšířeným. Z dat, která poskytuje Ministerstvo dopravy o složení vozového parku, bylo na území České republiky registrováno k roku 2019 celkem 578 708 vozů Škoda Fabia všech generací, což řadí tento automobil na druhou příčku hned za Škodu Octavii. [25]

Jedním z důvodů, kvůli kterému se práce zabývá měřením starších vozidel, je průměrné stáří automobilů na území ČR. I přes vysoký nárůst nových vozidel se průměr stáří vozidel zvyšuje a v roce 2019 to bylo 15 let. Tento údaj je brán i z vozidel, která jsou v depozitu, či jsou provozována minimálně. Ze studií a průzkumů plyne, že ve skutečnosti jsou provozována denně vozidla s průměrným stářím 8,5 roku. [26] Pokud se uváží tato skutečnost, tak se na území naší země pohybují průměrně vozidla z roku výroby 2007. Při výběru pro experimentální měření byl brán ohled i na tuto skutečnost. Z hlediska četnosti spalovacího motoru jsou na území EU k roku 2019 nejvíce zastoupeny zážehové motory (58 %).

Na základě výše uvedených skutečností bylo rozhodnuto provést experimentální měření na vozidlech běžných uživatelů (vozidla vybraná přímo z provozu) se zážehovým motorem se srovnatelným výkonem motorů a tříd vozidel. Díky tomuto předpokladu se provádí srovnání vozidel z několika emisních tříd. Vybranými vozy jsou Škody Fabia první, druhé a třetí generace plnicí



jednotlivé emisní normy bez ohledu na výbavu a karosářské provedení (tabulka č. 3).

Vozy byly vybrány tak, aby pokrývaly každou generaci vozidla a emisní normu až po období vzniku WLTC.

Tab. 3.: Vybraná vozidla pro experimentální část

Pořadové číslo	Vozidlo	Výkon [kW]	Rok výroby	Euro norma	Stav tachometru [km]
1	Škoda Fabia I 1.4 16V	55	2004	4	173 014
2	Škoda Fabia II 1.2 TSI	63	2011	5	146 030
3	Škoda Fabia III 1.0 TSI	70	2017	6	4 194

10.2.1 ŠKODA Fabia I Euro 4

Prvním měřeným vozem byla Fabia 1.4 16V hatchback z roku 2004, 5MT (5 stupňová převodovka), s rozvorem náprav 2462 mm a pohotovostní hmotností 1350 kg. Vůz disponuje motorem o výkonu 55 kW při 5000 ot/min. Kód motoru: BKY. Motor je řadový, vpředu napříč uložený, s vícebodovým vstřikováním paliva, točivý moment 126 Nm, zdvihový objem 1390 ccm, palivo BA95, normovaná spotřeba paliva 8,8/5,2/6,4 l na 100 km, rozměr pneumatik 165/70 R14 T, vybaveno tažným zařízením. Vozidlo v dobrém technickém stavu s nájездem 173 014 km. Automobil plní emisní normu Euro 4, udávané emise CO₂: 155 g/km. [24] Na obrázku č. 28 je vyobrazena testovaná Škoda Fabia I.

Testování proběhlo mezi 13.3. – 18 .3. 2020. Celkem ujetu během měření 397 km.



Obr. 28.: Škoda Fabia I 1.4 16V 2004



10.2.2 ŠKODA Fabia II Euro 5

Druhým měřeným vozem byla Fabia 1.2 TSI hatchback z roku 2011, 5MT (5 stupňová převodovka), s rozvorem náprav 2451 mm a pohotovostní hmotností 1041 kg. Vozidlo disponuje přeplňovaným motorem o výkonu 63 kW při 4800 ot/min. Kód motoru: CBZA. Motor je řadový, vpředu napříč uložený, s přímým vstřikem paliva, točivý moment 160 Nm, zdvihový objem 1197 ccm, palivo BA95, normovaná spotřeba paliva 6,6/4,4/5,2 l na 100 km, rozměr pneu 185/60 R14. Vozidlo v dobrém technickém stavu s nájedem 146 030 km. Automobil plní emisní normu Euro 5, udávané emise CO₂: 124 g/km. [23][44] Na obrázku č. 29 je vyobrazena testovaná Škoda Fabia II.

Testování proběhlo mezi 24.4. – 28. 4. 2020. Celkem ujetu během měření 381 km.



Obr. 29.: Škoda Fabia II 1.2 TSI 2011



10.2.3 ŠKODA Fabia III Euro 6

Třetím měřeným vzorkem byla Fabia III 1.0 TSI combi z roku 2017, 5MT (5 stupňová převodovka), s rozvorem náprav 2470 mm a pohotovostní hmotností 1134 kg. Vozidlo disponuje tříválcovým, přeplňovaným motorem o výkonu 70 kW při 5000 ot/min. Kód motoru: CHZB. Motor je řadový, vpředu napříč uložený, s přímým vstřikem paliva, točivý moment 160 Nm, zdvihový objem 999 ccm, palivo BA95, normovaná spotřeba paliva 5,2/3,9/4,4 l na 100 km, rozměr pneumatik 215/45 R16 86H. Vozidlo ve výborném technickém stavu s nájездem 4 194 km. Automobil plní emisní normu Euro 6, udávané emise CO₂: 101 g/km. [21][44] Na obrázku č. 30 je vyobrazena testovaná Škoda Fabia III.

Testování proběhlo mezi 17.7. – 21. 7. 2020. Celkem ujetu během měření 447 km.



Obr. 30.: Škoda Fabia III 1.0 TSI 2017



11 Návrh tras a jízd pro experimentální měření

Návrh tras pro experimentální měření sestával ze dvou tras. Jedna z tras odpovídala homologačnímu předpisu RDE. Naplánovány byly pro tuto trasu celkem dvě jízdy tak, jak tomu je u dnešních homologací (start studený a teplý). V případě druhé trasy nebyl brán žádný důraz na legislativní předpisy. Úkolem bylo navrhnout ideální trasu simulující běžnou ranní cestu z domova do práce, zahrnující všechny jízdní části (město, mimo město, dálnice) v různých poměrech. Délka trasy byla navržena na jednu hodinu a pro ověření výsledků byla zajata dvakrát. V ideálních podmínkách by byl vhodný studený start vozidla, avšak z důvodů chladnutí vozu na teplotu 23 °C by byl tento způsob měření časově velmi náročný. Využilo se tedy srovnání dat z homologační studené jízdy. Návrh tras probíhal v prostředí Mapy.cz, který byl následně ověřen skutečným projetím těchto tras pro ověření a zmapování dílčích podílů jednotlivých částí. Všechny uskutečněné jízdy provedl jeden řidič pro omezení vlivu řidiče na výsledky. V tabulce č. 4 jsou přehledně znázorněny navržené trasy a srovnání s WLTC, který absolvoval každý z vozů.

Tab. 4.: Parametry jízd RDE

Parametry Jízd			
Trasa	RDE A	RDE B	WLTC
Délka trasy ± 0,2 [km]	95,4	70,4	30
Doba jízdy ± 3 [min]	115,8	75,2	30
Styl jízdy	Běžný	Vyšší dynamika	Běžný
Typ zkoušky	Homologační	Experimentální	Dynamometr

Plán jízd, který byl sestaven pro všechna měřená vozidla, je zobrazen v tabulce č. 5.

Tab. 5.: Plán jízd sestavených pro experimentální měření

Plán jízd					
Trasa	Validace – WLTC	RDE A	RDE A	RDE B	3xWLTC*
Start	Studený (s)	Studený	Teplý (t)	Teplý	Studený
Počet jízd	1	1	1	2	1

*měření provedeno pouze u Fabie III

11.1 Trasa RDE A (homologační)

Návrh této trasy se řídí dle podmínek Evropské komise z roku 2017. Při měření je označována jako RDE A a vychází z platných podmínek, které zazněly v kapitole 7.2. Dle těchto požadavků se sestavila vhodná trasa, která musí začínat městskou částí, pokračovat mimoměstskou a dálniční částí. Celkem je dlouhá 95,4 km (obrázek č. 31). Zastoupení částí bylo 37,1 km (38,9 %), 26,6 km (27,9 %) a 31,7 km (33,2 %). Procentuální zastoupení všech částí je podobné legislativním limitům. Na grafu č. 4 je vidět průběh nadmořské výšky v závislosti na čase. Volba trasy vznikla ve spolupráci s experty



společnosti TÜV SÜD Czech. Její začátek a konec byl směřován do stejného místa (VTP Roztoky) z důvodu úspory času a kvůli PEMS, u kterého se musí do 30 min po dojetí uskutečnit vyhodnocení (post-test). Celé měření je situováno severozápadně od Prahy.

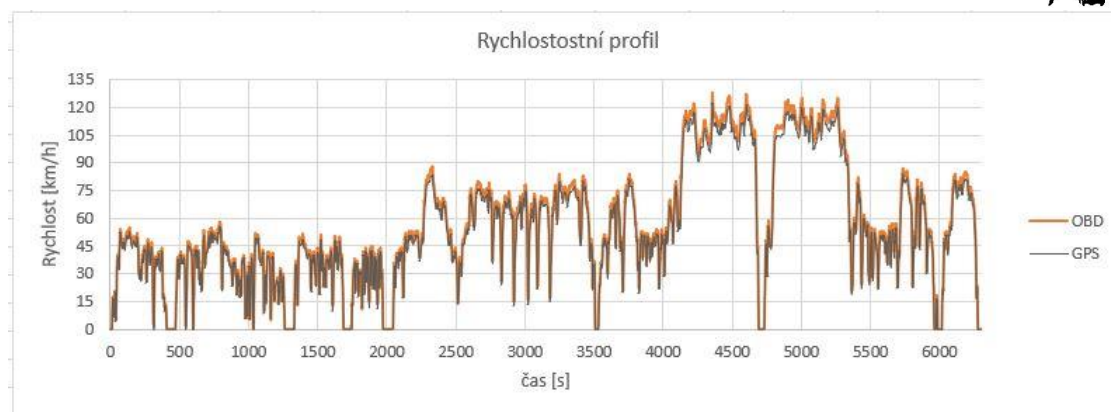


Obr. 31.: Mapa trasy RDE A [32]



Graf 4.: Výškový profil trasy RDE A

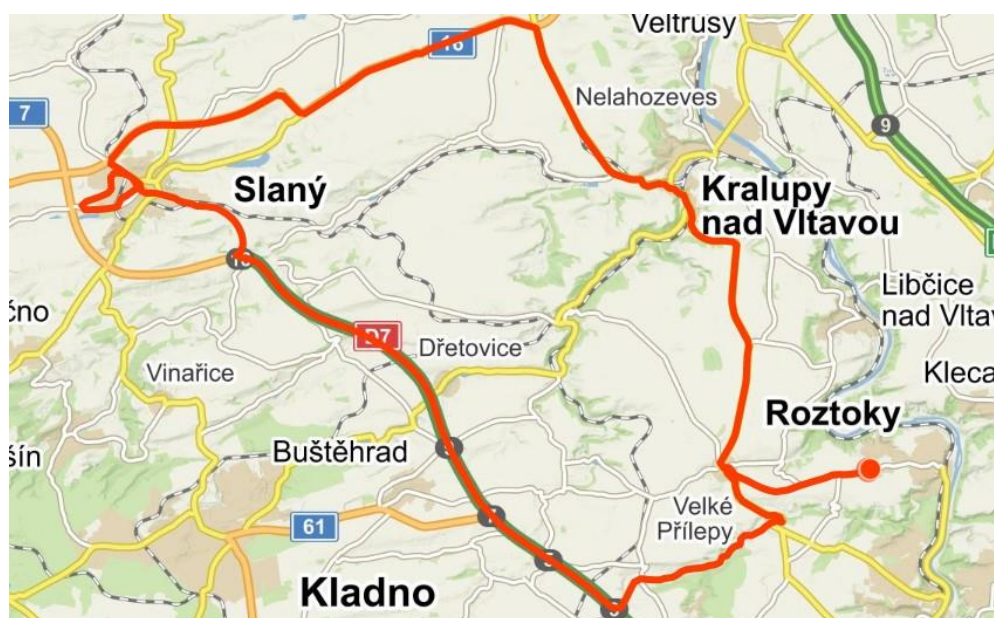
Na grafu č. 5 je záznam rychlostního profilu z jízdy RDE A-t (t je označení pro jízdu teplou) s vozem Fabia II. Pro ověření rychlostí slouží záznam dat z OBD zásuvky a GPS GARMIN, jsou součástí PEMS zařízení. Je patrné, že obě zařízení měří korektně, jelikož výsledné grafy se vzájemně suplují. Při zkoumání vykreslených dat lze poznamenat, že v první čtvrtině, kde se vozidlo pohybuje v městské části, je dostatek zastavení, které vyžaduje legislativa (v tomto případě se jedná o uměle vytvořené zastávky po jedné minutě). Následně je vidět ve druhé polovině dálniční úsek, který je uprostřed přerušen otočkou na sjezdu a opět navazuje dálniční úsek ve stejném rozsahu.



Graf 5.: Rychlostní profil trasy RDE A

11.2 Trasa RDE B

Tato trasa je sestavena z úseků běžného provozu o délce 70,4 km (obrázek č. 32). Obsahuje náhodně sestavené úseky městské, mimoměstské i dálniční části. Zastoupení jednotlivých částí bylo 27,1 km (38,5 %), 28,7 km (40,7 %) a 14,7 km (20,8 %). Nejnižším procentuální zastoupení má dálniční úsek, na kterém se nachází největší stoupání s převýšením 130 m. Na grafu č. 6 je vidět průběh nadmořské výšky v závislosti na čase na trase RDE B. V čase přibližně 2900 s je největší převýšení z celé měřené trasy. Volba trasy vznikla ve spolupráci s odborníky z ČVUT. Trasa je používána pro vývojové aktivity CVUM a je situována severozápadně od budovy VTP Roztoky.

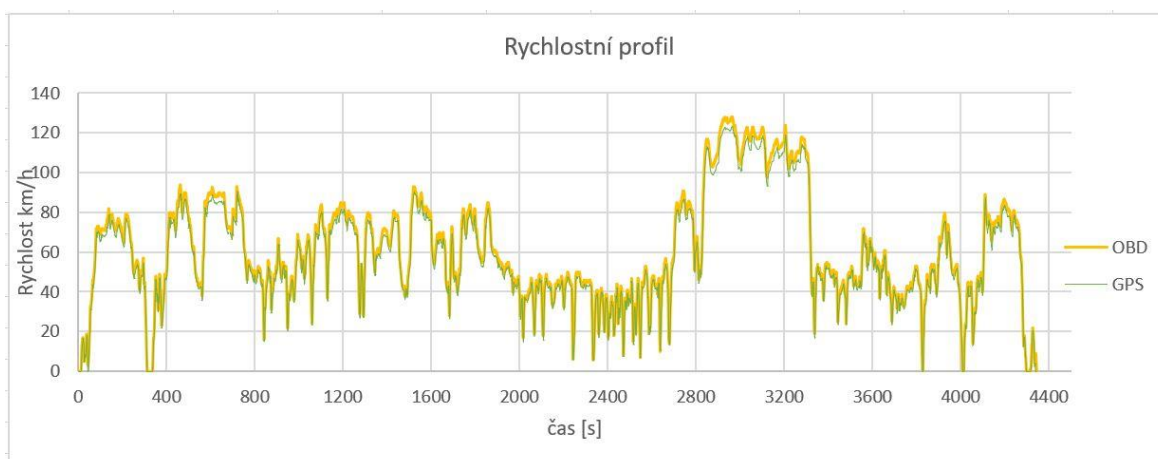


Obr. 32.: Mapa trasy RDE B [32]



Graf 6.: Výškový profil trasy RDE B

O navržené trase lze říct, že obsahuje jen nízký podíl úplných zastavení, městkou část přibližně uprostřed jízdy (město Slaný) a následný krátký úsek dálnice u které se začíná po nájezdu táhlým stoupáním při razantním zrychlování vozu na dálniční rychlost. Tato trasa obsahuje vyšší množství vlakových přejezdů a z toho důvodu je u některých jízd delší jízdní čas z důvodu stání u přejezdu. Na grafu č. 7 je rychlostní profil trasy RDE B.



Graf 7.: Rychlostní profil trasy RDE B



12 Příprava vozidla k měření

Příprava vozidla před samotným měřením obnáší řadu nezbytných kroků. Samotná procedura se liší dle požadavků na měření. Zpravidla se jedná o úkony dlouhé 4 až 8 hodin. Většina těchto dílčích úkonů zazněla během předešlých bodů této práce, avšak zde je dobré je jasně definovat. Tato příprava se obvykle liší u měření homologačních a experimentálních, přičemž u homologačního měření je doba delší. Pod experimentální částí si lze představit například měření vzorků v této diplomové práci. V případě homologačního měření se testovaný vzorek musí podrobit několika dílčím úkonům, které jsou stanovené legislativou. Hlavním rozdílem je v případě homologačního měření kontrola emisně irelevantních komponentů (*Teilecheck*). Tento dokument dodává automobilka společně s vozidlem a dalšími příslušnými prvky. U vozidla se před započítáním měření kontrolují veškeré díly, které vyžaduje legislativa (např. výfukové potrubí, katalyzátor, pneumatiky, software). V případě této práce se dílčí komponenty neověřovaly, vozidla byla převzata a měřena tak, jak se pohybovala v provozu poslední roky. V následujících bodech bude popsána příprava vozidla včetně způsobu měření a získání dat až po finální vyhodnocení.

12.1 Příjem vzorku – vstupní kontrola

Ke každému z měřených vozidel byl vypracován vstupní list, na kterém jsou uvedené základní informace o vozidle. Tato kontrola (*Car Handover*) se standardně využívá pro homologaci vozidel. V tomto případě byly vyplněny vždy základní potřebné informace o voze, které jsem k práci potřeboval. Jak takový protokol vypadá a jaké údaje jsem vyplnil lze vidět na obrázku č. 33. Jelikož vozy byly testovány v průběhu několika měsíců bylo využito těchto dokumentů jako podkladu k měření a pro následné další zpracování. Při vstupní kontrole byla u vozidla zkontrolována jeho technická způsobilost, stav vozu včetně emisně irelevantních komponentů a jeho zevrubný stav (kontrola přítomnosti komponentů a jejich technický stav). Před měřením byla provedena také zkouška OBD, na kterou navazoval bod 12.2.



RDE - Emission Test Check List (Car Handover)



Identification number ID	DP-F3
Date of Testing start - end	17.7.2020 -
Test location	VTP ROZTOKY
Expert of TÜV SÜD	
Vehicle Manufacturer/ Model / Model year	ŠKODA AUTO / FABIA
Type of bodywork	
Vehicle age [months]	COMBI
Odometer value at start testing	4 194
Vehicle Type Approval emissions limit	EURO 6
Ignition type	
Tested Vehicle VIN	TMBJPCNJ4J2112012
Equivalent Inertia (Schwungmasse)	
Road Load Parameters	/ /
Coast Down Data (Rolle)	/ /
Engine Code	CHZB 766310 14.12.17
Engine Power/ Peak torque	70 kW Nm
Engine displacement	ccm
Fuel supply system	Direct injection / Indirect injection / Both
Gearbox	Manual / Automatic / CVT
Wheel drive mode	2WD / 4WD front / rear
Number of forward gears	
Lubricant	...W.....
Tyre manufacture and type	DUOLOP SP SPORT MAXX
Tyre size	215 / 45 R16 86H
Front and rear tyre pressure [bar]	2,1 / 2,2
Tyre tread depth [mm]	8 / 8
Fuel used and type	reference / market
Equipment Calib.	NOx Converter check, CFO check, PEMS, EFM
Parts Check (teilecheck)	Yes/No Date:
Samples – OIL, FUEL, UREA (Probe)	Yes/No
Drive mode for ICE if any	(Normal / Sport / Eco / ...)
Type-approval CO ₂ emissions [g/km]	
CO ₂ emissions in WLTP Low / Mid / High / Extra High [g/km]	/ / /
Vehicle test mass [kg]	
PEMS manufacturer	AVL / Sensors 1
EFM diameter	2"

Obr. 33.: Kontrolní protokol pro vůz Škoda Fabia III

12.2 Nastrojení vozidla měřicí technikou

Nastrojení vozidla je časově nejvíce náročné. Součástí této práce byla montáž PEMS jak do zavazadlového prostoru, tak i na tažné zařízení vozidla. Během tohoto kroku je vůz na kondiční hale a po nastrojení probíhá zvážení vozu. V případě montáže zařízení PEMS na tažné zařízení se připraví pouze patřičné redukce a zařízení se připevní. U montáže do vozidla je třeba včas předem zvolit správný průtokoměr, jelikož jeho výměna by obnášela oproti upevnění na tažné zařízení nutnou demontáž z vozu. Jakmile je PEMS umístěn ve voze, je nezbytné provést bezpečné ukotvení s následným napojením výfukového potrubí, které je několikanásobně delší než v případě montáže na zařízení vně vozidla. Vzhledem k teplotě výfukových spalin je třeba použít nehořlavé materiály, které zabrání poškození interiérového obložení. Následně se provede pro obě metody stejným



způsobem montáž GPS a teplotní sondy. Nezbytnou součástí je výměna filtrů (2ks), které mají od výrobce předepsanou výdrž 8 hodin. Jeden z filtrů je umístěn v zařízení CPN a druhý v SCS. Napájecí akumulátor se umístí na vhodné místo, kde je zaručena snadná dostupnost pro výměnu před a po jízdě. Na obrázcích č. 34, 35 a 37 lze vidět porovnání zástaveb zařízení PEMS do měřených vozidel.



Obr. 34.: Vlevo zástavba do vozu Škoda Fabia III

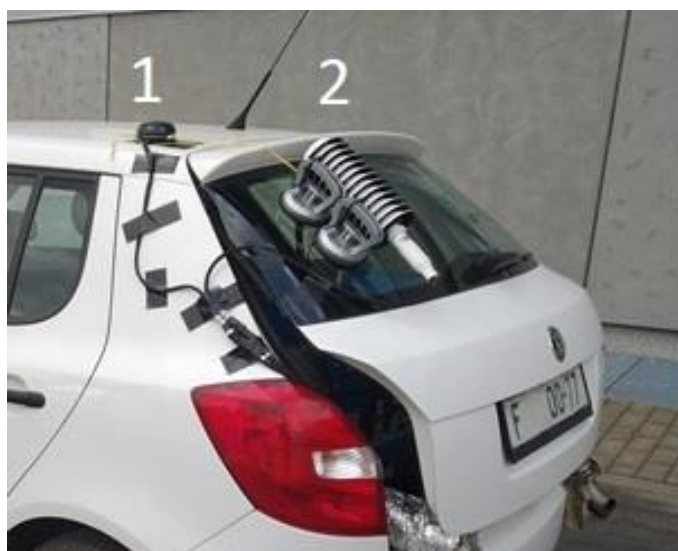
Obr. 35.: Vpravo Škoda Fabia I s PEMS na tažném zařízení

Na obrázcích č. 36 a 37 je vidět stejná metoda uchycení PEMS ve vozidlech. Jediným rozdílem je natočení zařízení o 90° u jednoho z vozů. Toto řešení je z důvodů přídavného zařízení na Škodě Fabii III, které PEMS rozšiřuje a zástavba tak nebyla možná stejným řeším (o přídavném zařízení více v kapitole 12.2.2.1 – pneumatický kapacitátor). Na obrázku č. 40 je ve spodním rohu umístění ICM, které musí být v dosahu řidiče tak, aby během jízdy byla možnost toto tlačítko zmáčknout.



Obr. 36.: Vlevo uchycení PEMS včetně izolačních materiálů ve voze Škoda Fabii III
Obr. 37.: Vpravo uchycení ve vozidle Škoda Fabia II

Umístění teplotní sondy a GPS není jasně stanoveno legislativou. GPS se zpravidla montuje na střechu vozidla pro nejlepší možný příjem signálu (uchycení pomocí magnetu). Teplotní sonda se upevňuje pomocí přísavek na zadní boční okna, případně na zadní okno mimo prostor výhledu řidiče. Propojení je zajištěno pomocí originálního kabelu přímo do zařízení PEMS (obrázek č. 38).



Obr. 38.: umístění teplotní sondy (2) a GPS (1) na vozidle Škoda Fabia II



U nových vozidel je velké množství asistentů (ABS, ASR), které v případě jízdy na válcích mohou řidiči zasáhnout do řízení a ovlivnit tak měření. V našem případě se tento problém týkal pouze měřeného vozidla Škoda Fabia III, který byl eliminován nastavením tzv. Rollen mode. U vozidel Fabia I a Fabia II nebylo nutné zasahovat do elektroniky vozu.

12.2.1 Rollen mode

Tohoto módu se využívá při přepravě či různých testech, jako je měření na válcové zkušebně. Pomocí počítačové diagnostiky a OBD rozhraní se nastaví tzv. mód rolování, který deaktivuje veškeré protiblokovací asistenty vozu. Jak je patrné na obrázcích č. 39 a 40 tato diagnostika upraví řízení systému aktivní bezpečnosti, systému stability a další funkce, které mohou potenciálně ovlivnit jízdu na dynamometru.

Diag.Addr.	Beschreibung (Diagnoseprotokoll)	Status
0x0001	Elektronika motoru (UDS)	aktiviert
0x0003	Elektronika brzd (UDS)	aktiviert
0x0008	Elektronika klimatizace/topení (UDS)	aktiviert
0x0009	Elektronický centrální elektrický rozvod (UDS)	aktiviert
0x0013	Regulace odstepu (UDS)	aktiviert
0x0017	Sdružené přístroje (UDS)	aktiviert
0x0019	Diagn.rozhraní datové sběrnice (UDS)	aktiviert
0x005F	Elektronika informací 1 (UDS)	aktiviert

Obr. 39.: Aktivní Rollen mode

Diag.Addr.	Beschreibung (Diagnoseprotokoll)	Status
0x0001	Elektronika motoru (UDS)	nicht aktiviert
0x0003	Elektronika brzd (UDS)	nicht aktiviert
0x0008	Elektronika klimatizace/topení (UDS)	nicht aktiviert
0x0009	Elektronický centrální elektrický rozvod (UDS)	nicht aktiviert
0x0013	Regulace odstepu (UDS)	nicht aktiviert
0x0017	Sdružené přístroje (UDS)	nicht aktiviert
0x0019	Diagn.rozhraní datové sběrnice (UDS)	nicht aktiviert
0x005F	Elektronika informací 1 (UDS)	nicht aktiviert

Obr. 40.: Rollen mode neaktivní



12.2.2 Volba průtokoměru

V Příloze A kapitoly č. 15.1.4 byl popsán průtokoměr a jeho možné rozsahy. Průměr průtokoměru je uváděn v palcích. Průtok spalin je udáván v kg/h. Tyto průtoky se liší pro teploty 100 °C a 400 °C. Pro stanovení správného průtokoměru se vychází z hodnot průtoků, které udává výrobce. Pokud tento údaj není znám, vychází se ze současné praxe, doporučení výrobce průtokoměrů a technických zkušeností pracovníka provádějící měření. Vhodnost průtokoměru se ověřuje v rámci validace PEMS na válcové zkušebně.

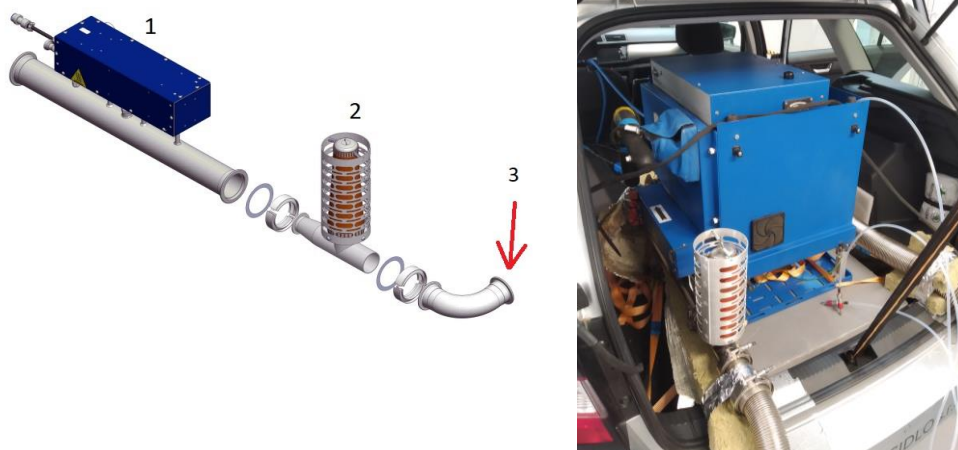
Při nevhodné volbě průtokoměru dochází ke špatným průtokům a příliš vysokým rozdílům analyzovaných složek neodpovídajícím realitě. Průtokoměr musí být každý rok kalibrován. V případě špatné volby, či u tříválcových pohonných jednotek, mohou vznikat pulzace ve výfukovém potrubí. Tento faktor má následně vliv na výpočet hmotnosti emisí, jelikož tato analýza probíhá násobením průtoků s naměřenými koncentracemi jednotlivých složek. Špatná volba se může například projevit při validaci, kdy jsou výsledné rozdíly jednotlivých složek mimo požadovanou legislativní toleranci. Jelikož tato práce obsahuje srovnání podobných motorů, na vozidle byl využit vždy stejný průtokoměr. Pouze u tříválcového motoru 1,0 TSI by bylo vhodné použít průtokoměr menší, avšak tento průtokoměrem nebyl k dispozici a nahradil jej tzv. pneumatický kapacitátor. V následující tabulce č. 6 je znázorněna volba použitých průtokoměrů a příslušenství.

Tab. 6.: Volba průtokoměru u měřených vzorků

Vozidlo	Průtokoměr ["]	Objem motoru [ccm]
Škoda Fabia I 1,4 16V	2	1390
Škoda Fabia II 1,2 TSI	2	1197
Škoda Fabia III 1,0 TSI	2 + pneum. kapacitátor	999

12.2.2.1 Pneumatický kapacitátor

Pneumatického kapacitátoru se využívá především u tříválcových vozidel s nižším objemem motoru, které mají sklony k pulzacím z výfukových plynů. Jedná se o pryžový balonek na pružinách, který eliminuje pulzace a potlačuje výsledné skokové změny projevující se při měření. Lze jej využívat pouze u benzinových motorů s průtokoměry o průměru 1,0" - 1,25" - 1,5" a 2,0". Na obrázku č. 41 je schéma zapojení kapacitátoru a na obrázku č.42 je reálná aplikace v měřeném vozidle.



Obr. 41.: Vlevo schéma zapojení pneumatického kapacitátoru, 1- EFM, 2- Kapacitátor, 3- směr vstupu spalin [46]

Obr. 42.: Vpravo reálná aplikace na vozidle Škoda Fabia III

12.3 Příprava měřicího zařízení PEMS před měřením

Jakmile je vše připraveno a zapojeno vč. napájecího zdroje, je možné PEMS pomocí startovacího tlačítka zapnout. Po zapnutí probíhá přibližně 30 min dlouhé zahřátí analyzátorů a podpůrných zařízení. Po zahřátí je nutné analyzátory pomocí kalibračních plynů vynulovat (obrázek č. 43). Tyto plyny jsou rozděleny do tří tlakových láhví.

Tyto lahve sestávají z:

- a) 1. lahev – syntetický vzduch O_2
- b) 2. lahev – směs plynů (NO , CO , CO_2 , N)
- c) 3. lahev – oxid dusičitý NO_2



Obr. 43.: Kalibrační plyny v obslužném vozíku při jedné z kalibrací

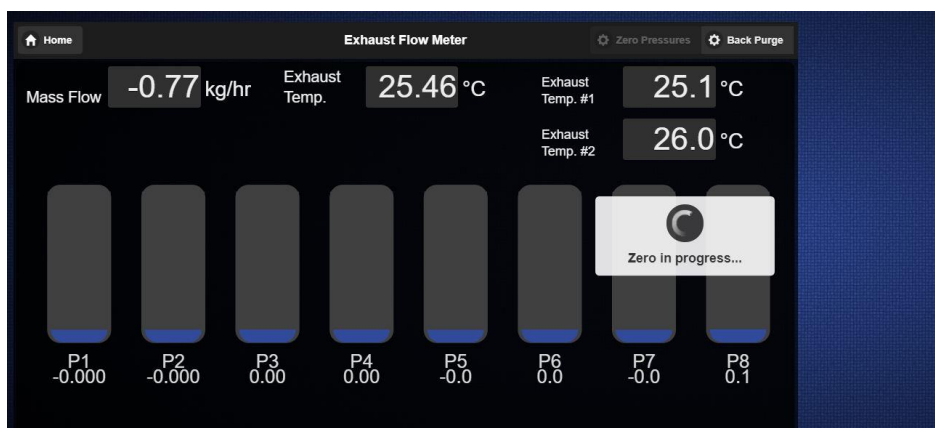


12.3.1 Nulování měřicího zařízení

Jednotlivé analyzátory je před použitím nezbytné vynulovat tak, aby byla zajištěna správná citlivost. Nulová hodnota výchylky zařízení se nastaví plynem, u kterého není přítomna ani jedna z analyzovaných látek. Nulování se tedy dělá pomocí kalibračního plynu (syntetický vzduch) pro NO/NO₂ a CO/CO₂ analyzátor. Plyn je vpuštěn do analyzátoru, který si uloží hodnotu plynu jako nulovou pro dané látky. U ověření předem dané hodnoty přítomné látky je do analyzátoru vpuštěn plyn (směs) s přesně danou koncentrací látky. Na přiložených obrázcích č. 44 a 45 je zobrazení, kdy je vyžadováno vynulování nejen analyzátorů, ale i průtokoměru. Tento úkon se provádí pouze pomocí příslušného tlačítka pod záložkou tohoto zařízení. Rozsah, ve kterém by měl být v klidovém režimu, je -0,80 až 0,80 kg/h.



Obr. 44.: Požadavek průtokoměru a analyzátorů na vynulování

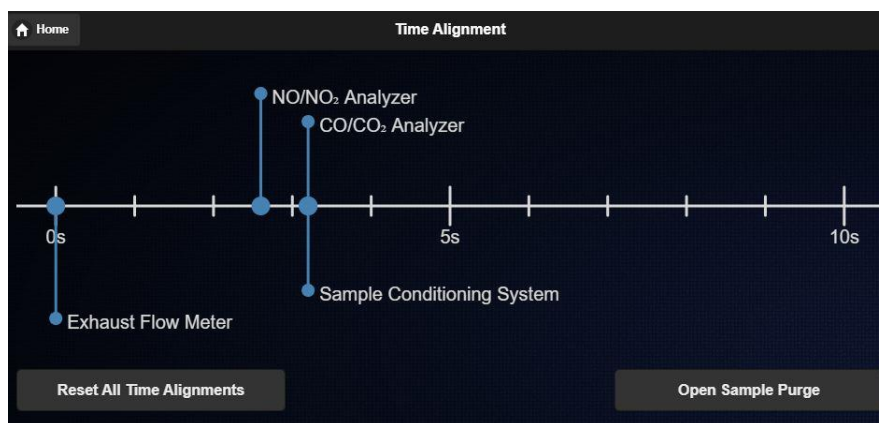


Obr. 45.: nulování průtokoměru pomocí ikony Zero Pressures



12.3.2 Time Alignment a Leak Check

Time Alignment slouží k synchronizaci času odezvy jednotlivých analyzátorů. Aplikuje se vždy pro danou konfiguraci PEMS a průtokoměru před měřením vozidla. Na obrázku č. 46 je názorně zobrazeno toto vyrovnaní časů pro jeden z měřených vzorků.



Obr. 46.: Time Alignment pro jeden z měřených vozidel

Na následujícím obrázku č. 47 je princip provedení tohoto úkonu. Zařízení *Sample Purge Solenoid* (solenoid proplachu vzorku) se připojí do průtokoměru a na druhý konec se připojí kalibrační plyn se směsí. Po nastavení příslušných parametrů (vybrané analyzátorů) se spustí samotný test, který vyhodnotí časovou odezvu. Na obrázku č. 48 je popis solenoidu proplachu vzorku.



Obr. 47.: Princip zapojení solenoidu pro Time Alignment

Funkce *Leak Check* slouží k ověření těsnosti všech součástí a analyzátorů. Tato analýza se aplikuje pomocí kalibračního plynu s dusíkem (N₂). V menu se vybere ikona test úniku a proběhne kontrola.



Výsledek této analýzy pro správné fungování musí být únik menší, než 2 % z celkového dusíku vpuštěného do systému.



- 1- vstup kalibračního plynu
- 2- výstup kalibračního plynu (směrem do PEMSu)
- 3- čistící vstup (nadbytečný)
- 4- připojení do SCS modulu

Obr 48.: Sample Purge Solenoid [46]

12.3.3 Butanol

Pro měření počtu částic byla vyvinuta speciální vzorkovací metoda. Díky kondenzaci butanolu jsou příslušné částice zvětšeny a jsou detekovány LS metodou – interakce světla s částicemi. Butanol je těkavá a hořlavá látka, která se doplňuje do zařízení CPN (příloha A, kapitola 15.1.3). Při práci s touto látkou je nezbytné použít ochranné pomůcky. Vzhledem ke kapacitě nádoby je doplnění v řádu sekund (objem nádoby je 5 ml). V případě, že se s měřicím zařízením manipuluje nebo je delší doba mimo provoz, je vhodné přebytečný butanol vypustit. K ověření, zda je náplň vyprázdněna, slouží stejná indikace jako pro stav naplněný (množství butanolu v nádrži se zobrazuje v procentech). Pokud by se přebytečná látka nevypustila, hrozilo by znečištění měřicí optiky. [30] Na obrázku č. 49 je princip doplnění Butanolu do zařízení.



Obr. 49.: Doplnění Butanolu před testem




V případě měření je při vysoké vnější teplotě nezbytné hlídat teplotu butanolu. Při ideálních podmínkách je jeho teplota 38 °C. Jakmile by teplota přesáhla 43 °C, hrozí velké odchylky (nesmí být víc než 5 ppm u složky NO_x) analyzátorů a znehodnocení testů. Tento problém může nastat při teplotách okolního vzduchu nad 30 °C.

12.4 Průběh měřeného testu

Po provedení všech přípravných kroků se může zahájit měřený test. Součástí jednotlivých testů je kontrolní list, který obnáší údaje o vzorku před a po testu. Mezi hlavní informace patří údaje o ujetých kilometrech, název testu, teplota okolí a případné náhlé události, které vznikly během testu. Názorná ukázka, jak takový list vypadá, je následujícím obrázkem č. 50.

RDE – kontrolní list


 Czech

Před testem

Identifikace zkoušky (test ID)	F3 - Validace	
Datum zkoušky	18 / 7	2020
Ridič vozidla	EMICH	
Zkušební hmotnost vozidla (posádka, PEMS,...)	1280,5	kg
Výrobce systému PEMS	SENSORS 1 / SENSORS 2 / AVL	
Fotografie nebo videozáznamy pořízeny (VIN, zadobční pohled vozidla, PEMS, napojení výfuku, GPS, EFM, metec stanice)	Ano/Ne	
Výměna filtrů před testem	Ano/Ne	
Baterie pro PEMS číslo (1, 2, ...)	1	
Teplota/ Tlak/ Vlhkost válcové zkušebny	, °C /	kPa / 37,3 %
Čas chlazení (8-56 hodin)	hh:mm	0h
Záznam emisí částic před testem (počet při nulování čítače částic)	0,000000 #/cm ³	
Stav motoru při zahájení zkoušky	studený/teplý	
Stav tachometru při zahájení zkoušky	4 247 km	
Teplota vzduchu před testem	24,4 °C	
Teplota oleje / chladičové kapaliny před testem	/ 27 °C	
Čas začátku jízdy	hh:mm	15:50

Poznámky:

Regenerace?

Po testu

Čas ukončení jízdy	hh:mm	16:20
Stav tachometru při ukončení zkoušky	4 247 km	
Teplota motoru olej/chlad. kapalina po testu	88 / 90 °C	
Teplota vzduchu po testu	°C	
Záznam emisí částic po testu. (počet při nulování čítače částic)	0,000000 #/cm ³	
Byl při zkoušce deaktivován nějaký aktivní bezpečnostní systém?	Ano/Ne (ESP/ABS/AEB)	
Systém start/stop aktivní	Ano/Ne	
Klimatizace zapuká / prvních 2 min testu	Vypnuta/Zapnuta	

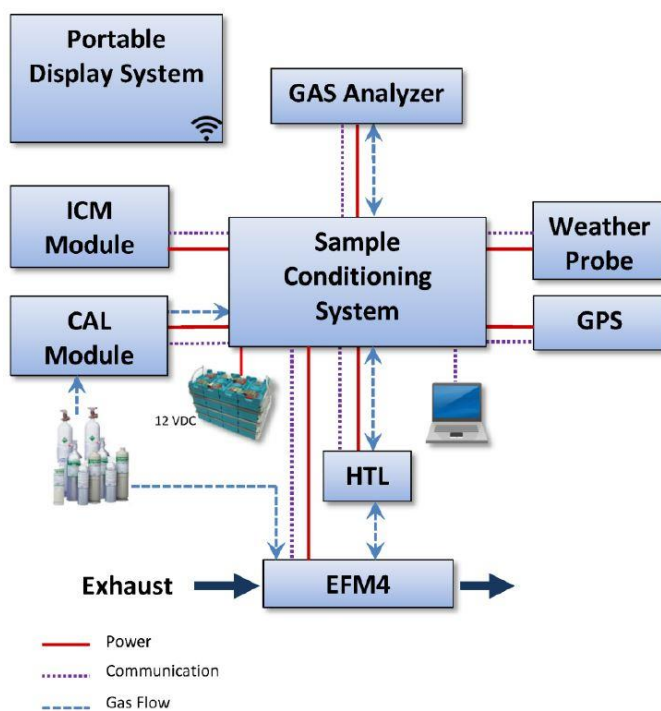
Poznámky:

OK

Obr. 50.: Kontrolní list pro měřený test



Samotné měření se odehrává v prostředí SENSOR Tech-PRO pojmenováním daného testu, kde se uvede název testu a typ spalovaného paliva. Po založení se spustí záznam testu a zahájí se kalibrace analyzátorů (*pre-test*), která se dělá pomocí kalibračních plynů, jež byly popsány výše. Průběh kalibrace jednotlivých analyzátorů trvá přibližně 5-8 min a kalibruje se na tzv. *Zero* (nula) a *Span* (vrchní hranice).



Obr. 51.: Komunikace PEMS a všech podřídných složek [46]

Po kalibraci se zastaví nahrávání a PEMS se uvede do režimu *Standby*. Po dokončení kalibrace je nezbytné zahájit měření do 30 min. V tento moment stačí PEMS připojit na externí baterii umístěnou do vozu, upevnit ochranný kryt PEMS (v případě jízdy mimo laboratoř a se zařízením mimo vozidlo), vytlačit vozidlo mimo objekt a dle typu jízdy zahájit měření. Pokud je jízda studená, tak stačí připojit ICM do OBD zásuvky a zaznamenat si venkovní teplotu. U teplé jízdy je nezbytné zahřát provozní náplně na teplotu přibližně 88 °C. Následná procedura se shoduje pro obě jízdy. Zahájení měření probíhá přepnutím z režimu *Standby* do režimu *Sample* a startem motoru. Na obrázku č. 51 je zobrazena komunikace PEMS s jednotlivým příslušenstvím. Na obrázku č. 52 je vozidlo připravené vyjet do měřeného testu.



Obr. 52.: Vozidlo Škoda Fabia III před měřenou jízdou

Po absolvování jízdy se postupuje podobným způsobem. Po dojetí se vypne motor, ukončí se záznam, zapíšu se hodnoty do kontrolního listu, odpojí se OBD od ICM a PEMS se uvede do režimu *Ambient* (profukování čerstvým vzduchem). Poté vozidlo lze bez problému přepravit na kondiční halu a lze zahájit kalibraci po testu (*post-test*). Postup je totožný jako před testem. Během tohoto procesu lze sledovat, jakou odchylku mají analyzátoři vůči kalibraci před testem. Tato odchylka (*Drift*) je předpisem jasně definována a pro jednotlivé složky je viz. tabulka č. 7. Předpis definuje, o kolik se může analyzátor odchýlit od původně stanovených hodnot.

Tab. 7.: Maximální možné odchylky analyzátorů od původních hodnot během testu [17]

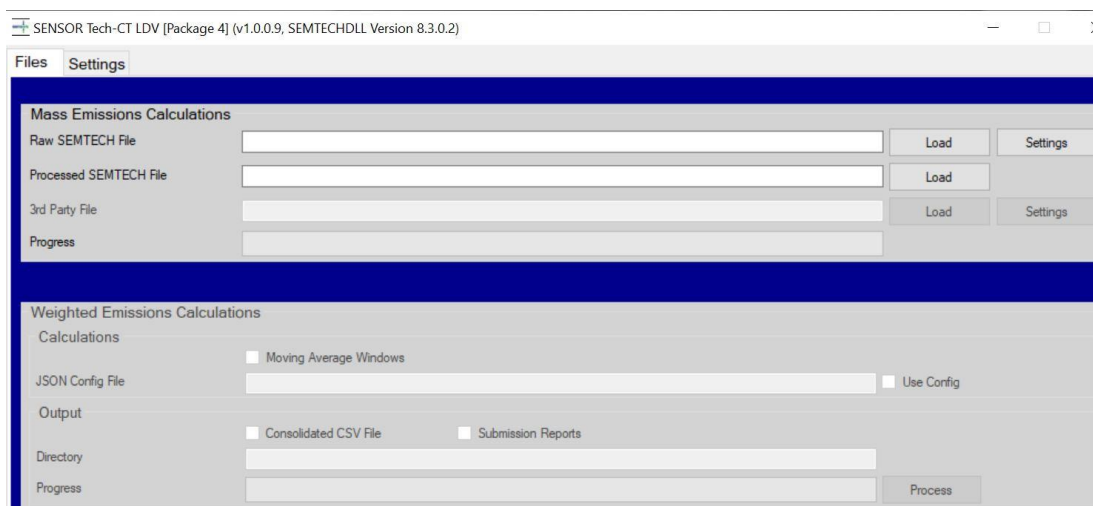
	CO [%]	CO ₂ [%]	NO _x [ppm]	HC [ppm]
Zero (nula)	0,0075	0,2	5,0	10,0
Span (vrchní hranice)	0,0075	0,2	5,0	10,0

Nejčastějším problémem, kdy *Drift* nevychází, bývá přehřátí analyzátorů vysokou vnější teplotou, vysokým rozdílem teplot mezi kondiční halou a venkovním prostředím (především v zimě) nebo nedostatečnou dobou profouknutí a temperace na kondiční hale. Po dokončení se vypne záznam dat a jízda se uloží. Naměřená data pro zpracování jsou uložena ve formátu csv.



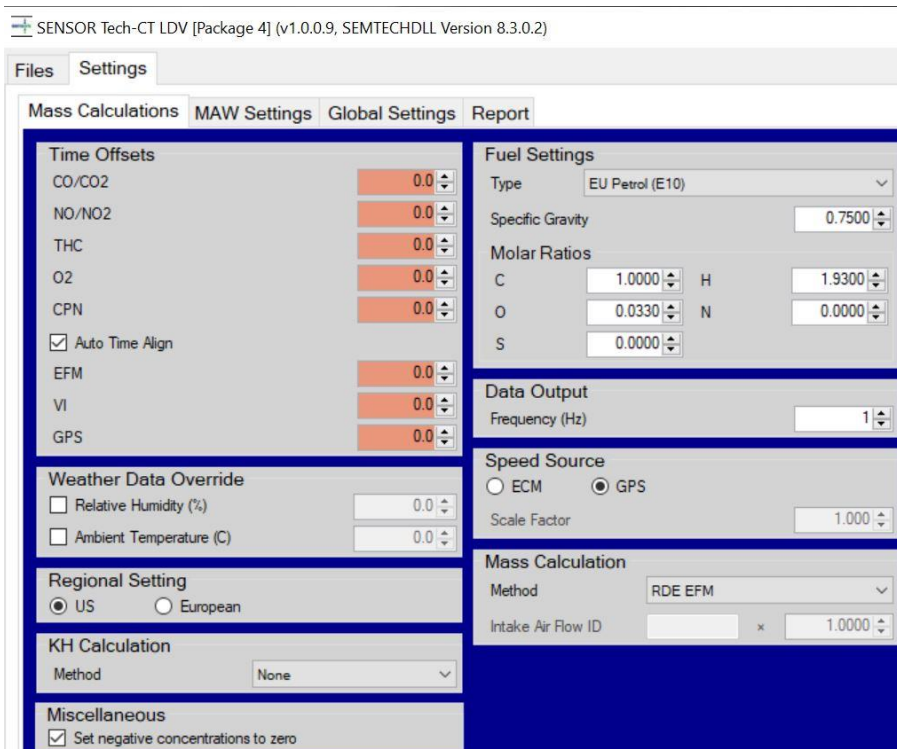
12.5 Vyhodnocení jízdy pomocí SENSORS TECH-CT LDV

K vyhodnocení jízdy slouží program od výrobce PEMS zařízení s názvem SENSORS. Jeho uživatelské rozhraní je intuitivní a přívětivé. V programu se nachází dvě záložky *Files* a *Settings* (na obrázku č. 53), přičemž prvně jmenovaná slouží pro okamžité vložení .csv dat určených k vyhodnocení a druhá slouží pro nastavení konkrétního vyhodnocovaného vozidla.



Obr. 53.: Rozhraní vyhodnocovacího programu SENSOR Tech-CT LDV pro vložení naměřených dat

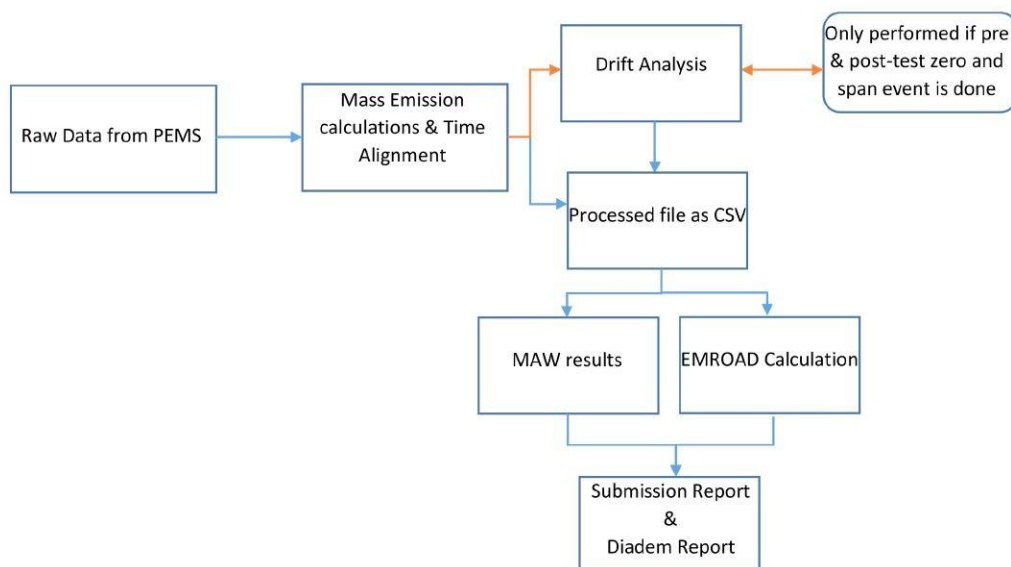
Vyplnění celé záložky *Settings* není nezbytně nutné a výsledky jsou i bez nastavení vozidla použitelné pro další práci (nutné je vyplnění *Mass Calculation*). Například u homologací jsou MAW nezbytné, a tak je třeba před vyhodnocením .csv souboru věnovat vložení dat do *Mass Calculation* a MAW *Settings*. Na obrázku č. 54 je nevyplněné prostředí pro nastavení vozu. V případě MAW *Settings* se vychází z dat, která byla získána z CO₂referenční (validace se studeným startem).



Obr. 54.: Rozhraní vyhodnocovacího programu SENSOR Tech-CT LDV

Pomocí jediného tlačítka následuje vyhodnocení dat, které sestává z:

- Drift analýzy
- Shrnutí jízdy
- MAW
- Validnost jízdy



Obr. 55.: Strom vyhodnocení výsledků [29]



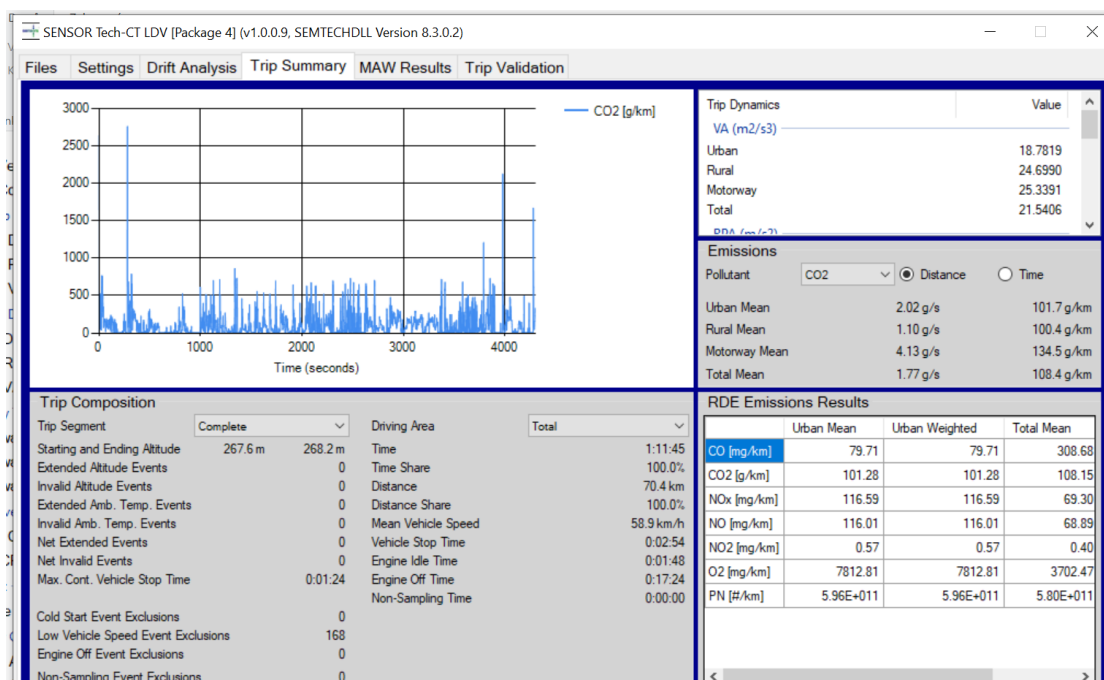
Zero Drift				
	CO2 %	CO %	NOx ppm	THC ppmC
Pre-test zero Result	0.00	-0.0002	0.0	
Post-test pre-zero Result	0.00	-0.0029	0.9	
Drift (abs)	0.00	-0.0027	0.9	
Tolerance (abs)	0.2	0.0075	5.0	10.0
Validity	Valid	Valid	Valid	

Span Drift				
	CO2 %	CO %	NOx ppm	THC ppmC
Pre-test span Result	15.98	0.4432	3334.7	
Post-test pre-span Result	15.91	0.4453	3333.3	
Bottle Value	15.96	0.4434	3335.0	
Drift (abs)	0.07	0.0021	1.4	
Tolerance	0.2	0.0075	5.0	10.0
Drift (%)	0.44	0.47	0.04	
Tolerance (%)	2.0	2.0	2.0	2.0
Validity	Valid	Valid	Valid	

Action Times				
	CO2	CO	NOx	THC
Pre-test zero time	14:10:39	14:10:39	14:10:42	
Pre-test span time	14:12:33	14:12:33	14:12:33	
Post-test zero time	16:14:12	16:14:12	16:14:15	
Post-test span time	16:18:23	16:18:23	16:18:23	

Obr. 56.: Vyhodnocení odchylek analyzátorů u vozu Škoda Fabia III

Pomocí tohoto programu se získají okamžité výsledky a vyhodnocení měření jízdy (na obrázku č. 56 je vyobrazeno validní vyhodnocení odchylek analyzátorů). Během kalkulace dat se do připravené složky ukládají modifikované výstupní soubory v podobě PP.csv dat, která slouží k dalšímu vyhodnocení.



Obr. 57.: Shrnutí měření jízdy s vozem Škoda Fabia III



Na obrázku č. 57 jsou zobrazeny výsledky jedné z dílčích záložek, na které jsou průběhy jednotlivých složek škodlivých látek, délka testu, dynamika, RDE emisní výsledky a výsledné hodnoty emisí za celý test.

12.6 MS EXCEL vyhodnocení

Pro vyhodnocení a analýzu dat byl využit program MS Excel. Na následujícím obrázku č. 58 je ukázka vyhodnocení dat, konkrétně změřeného vozu Škoda Fabia II z jízdy RDE B-t. Pomocí jednoduchého makra se načte PP.csv soubor, který automaticky dopočítá požadované údaje. Výpočetní Excel má následně několik záložek, které jsou děleny na:

- Test_Summary* – načtení PP.csv, celkový čas jízdy, ujeté km, výsledná tvorba škodlivin, vlhkost, maximální průtok a teplota výfukových plynů
- Calculation_data* – kumulativní součet jednotlivých složek emisí za celý test, ověření údajů, rychlost dle OBD a GPS, hodnota λ -sondy a průtok v každé sekundě
- Grafy_emise* – vyhodnocení vývoje jednotlivých emisních složek v různých závislostech
- Grafy* – obecné grafy s údaji o teplotě výfukových plynů, nadmořské výšce a průběhu jízdy v závislosti na čase
- INPUT_data* – vstupní data (PP.csv) odkud se čerpají data o jízdě

Test Date	4/25/2020								
Test Duration	4341 s								
Ujetá vzdálenost z OBD	70.44 km				Načíst data z PP souboru				
Ujetá vzdálenost SENSORS	70.44 km								
MAX Exhaust Mass Flow Rate	214.1 kg/hr								
Exhaust Temperature	194.6 °C								
Average Relative Humidity	43.84 %								
PN	3.573E+14 #/s								
CO	37.36408 g								
Nox	2.71101 g				Limit EU6		Limit EU5		
					NAFTA	BENZIN	NAFTA	BENZIN	
					g/km	g/km	g/km	g/km	
CO	0.53046 g/km			CO	0,5	1	CO	0,5	1
NOx	0.03849 g/km			NOx	0,08	0.06	NOx	0,08	0.06
PN	5.07E+12 #/km			PN	6*10E+11		PN	6*10E+13	

Obr. 58.: Názorná ukázka vyhodnocení v MS Excel u jednoho z vzorků

Vyhodnocení všech měřených vozidel je součástí přílohy B této práce.



13 Vyhodnocení experimentální části

13.1 Válcový dynamometr MAHA

Pro laboratorní měření popisované v této práci bylo využito válcové zkušebny v budově VTP Rostoky (obrázek č. 59). Válcová zkušebna s kontrolním stanovištěm je od roku 2018 po rekonstrukci a disponuje rozsáhlým vybavením pro nejmodernější využití a veškeré emisní a další zkoušky.

Technická specifikace zkušebny:

Válcový dynamometr: MAHA AIP-ECDM 4x4 4-MOT, obr. viz příloha B

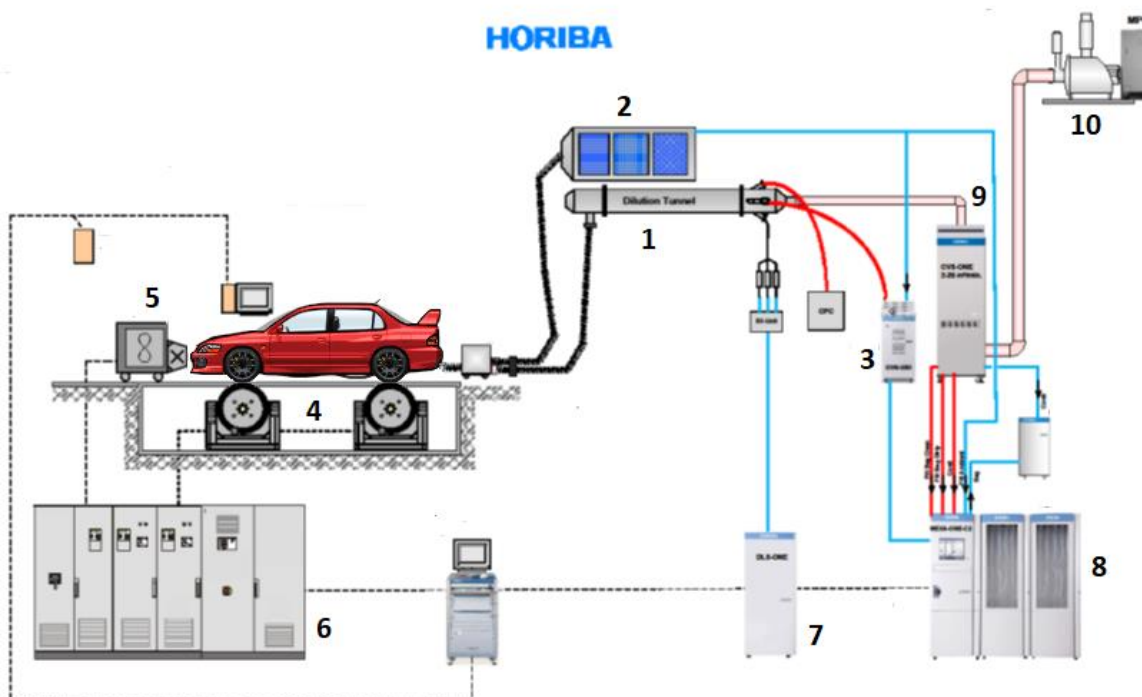
Zařízení CVS: HORIBA CVS-ONE-MV-HE, obr. viz příloha B

Analyzátor plynů: HORIBA MEXA-ONE-C2-OV, obr. viz příloha B

Čítač částic PN: AVL 489 APC Advanced, obr. viz příloha B

Stolní počítač s programem MAHA Dynoserver, obr. viz příloha B

Ventilátor AIP-AIR 33/120, obr. viz příloha B



Obr. 59.: Schéma válcového dynamometru na měření emisí [35]

1: Ředící tunel CVS, 2: Filtr ředícího vzduchu, 3: Analyzátor uhlovodíků, 4: Dynamometr, 5: Ventilátor, 6: Systém řízení dynamometru 7: Odběrové zařízení na PM 8: Analyzátor Mexa-ONE a odběrové pytle, 9: Systém řízení CVS-ONE, 10: Ventilátor pro odtah spalin



13.2 Validace vozidel na válcovém dynamometru

Každé z vozidel, které podstupuje měření RDE, se musí podrobit měření na válcové zkušebně. Jde o takzvanou validaci, která porovnává naměřená data z CVS a PEMS. Legislativa stanovuje přesně definované tolerance. Při validaci se využívá již cyklu WLTC. U validace je nezbytné uvádět hmotnost vozidla (*Test Mass*), řadicí body (u vozidla s manuální převodovkou) a jízdní odpory. Způsob získání hmotností a jízdních odporů je detailněji popsán v následujících kapitolách. V případě řadicích bodů je několik možností řešení. Pokud nejsou definované řadicí body, je možné nastavit mód automatické převodovky a řadit intuitivně (stejně jako při běžném provozu). V případě této práce se využilo databáze již v minulosti změřených vozidel (totožných). Pouze v případě vozidla Škoda Fabia I se vycházelo z informací o vozidle (váha, typ vozu, výkon a motor) a využilo se dat z jiného vozidla s podobnými parametry. Případně je možné polohu řadicích bodů získat výpočtem dle převodových stupňů.

13.2.1 Hmotnosti vozidel

Před každým měřením se musí vozidla zvážet na speciálních kalibrovaných váhách. Použity byly váhy s přesností $\pm 0,1$ kg viz. příloha B. Váha, která se uvádí při měření na válcovém dynamometru, je váha vozidla vč. PEMS. V případě experimentálních měření je postačující hodnota přibližná (vozidla pro experiment disponují nestandardním příslušenstvím majitelů vozidel). Na obrázku č. 60 je názorná ukázka postupu při vážení měřeného vozu.



Obr. 60.: Vážení měřeného vozu Škoda Fabia I na kondiční hale



V případě homologačních měření se musí dbát i na maximální možné zatížení měřeného vozidla při testu. Procentuální hodnota PEMS se spočítá z rovnice 17 a nesmí být vyšší než 5 % celkové maximální hmotnosti vozidla.

V praxi je obvykle vozidlo schopno pojmout řidiče a spolujezdce (75+ 75 kg).

U vozidel vyšších tříd (SUV) je maximální přípustná váha o něco vyšší než u vozů středních a nižších tříd. V případě experimentálního měření této práce byl ve vozidle pouze řidič (tolerance byla splněna i pro homologační měření).

$$\% \text{ MASS PEMS} = \frac{M_{RDEFULL} - M_{EMPTYVEH}}{M_{GROSSGEWICHT} - 75 - DYN_{MAX}} \quad (17)$$

$M_{RDEFULL}$ - Zvážená hmotnost vozidla před jízdou

$M_{EMPTYVEH}$ - Zvážená hmotnost prázdného vozidla bez PEMSu

$M_{GROSSGEWICHT}$ - Přípustná maximální hmotnost nákladu (užitečná)

75 – Unifikovaná hmotnost řidiče [kg]

DYN_{MAX} - Pohotovostní hmotnost + max. výbava

% MASS PEMS – % váha PEMS zařízení (nesmí být víc než 5 %)

V následující tabulce č. 8 jsou zaznamenány váhy pro všechny měřené vozy.

Tab. 8.: Naměřené hodnoty měřených vzorků

Typ vozu	Škoda Fabia I	Škoda Fabia II	Škoda Fabia III
Váha – prázdné [kg]	1150,5*	1068,5	1118,5**
Váha – PEMS (Test Mass) [kg]	1254,5	1168	1214
Váha – PEMS + řidič [kg]	1327	1239,5	1285,5

* Přibližně +50 kg zástavbou LPG

** Vozidla s plnou nádrží + 25 kg

13.2.2 Silniční koeficienty

Nezbytným údajem, který se musí před validací zadávat do dynamometru, jsou jízdní odpory. Tyto odpory se nastavují tak, aby zatěžovaly vozidla podobným způsobem, jako kdyby bylo vozidlo zatěžováno skutečnými jízdními odpory přímo na silnici. V případě válcové zkušebny se odpory dělí na silniční odpory a odpor ze stoupání. U silničních odporů se jedná o odpor valení, vzduchu a tření. Tyto odpory lze získat dojezdovou zkouškou. Hodnoty byly pro vozidla Fabia II a Fabia III získány z databáze přímo od výrobce. Pro starší model Fabia I se vycházelo z tabulkových hodnot a údajů s podobnými vozidly tohoto segmentu. Koeficienty definující jízdní odpory měřených vozidel jsou v tabulce č. 9.



Tab. 9.: Koeficienty jízdních odporů použité na válcovém dynamometru

Vůz	F ₀ [N]	F ₁ [N/(km/h)]	F ₂ [N/(km/h) ²]
Škoda Fabia I	80,40	0,484	0,0290
Škoda Fabia II	84,00	0,484	0,0300
Škoda Fabia III	88,35	0,484	0,0302

13.2.3 Vyhodnocení validací

Validace jsou vyhodnoceny v prostředí MS Excel. Pro ulehčení metodiky bylo vytvořeno makro, které na základě výstupních dat z CVS a PEMS vyhodnotí automaticky výsledky měřeného testu. Limity pro splnění validace jsou aktuálně stanovené legislativou. Na následující tabulce č. 10 je ukázka vyhodnocení v prostředí MS Excel u vozidla Škoda Fabia I.

Tab. 10.: Vyhodnocení validace u vozidla Škoda Fabia I

Měřené hodnoty							
	CVS	PEMS	Δ abs. [-]	Δ rel. [%]	Lim. abs. [±]	Limit rel. [%]	OK / not OK
NO _x celkový corr. factor [-]:	0.862553284						
Vzdálenost [km]:	23.20	23.20	0.00	0.02	0.25		OK
CO ₂ [g/km]:	141.35	127.90	13.45	9.52	10	10	OK
CO [mg/km]:	489.29	410.04	79.25	16.20	150	15	OK
NO _x [mg/km]:	85.76	114.11	-28.35	-33.06			
kNO _x [mg/km]:	99.43	114.11	-14.69	-14.77	15	15	OK

Výsledky validací jsou zpracovány do následující tabulky č. 11. Pro výsledky z CVS je nutné započítat celkový NO_x korekční faktor, který se pro každé vozidlo liší.

Tab. 11.: Výsledky validace jednotlivých experimentálních vozidel

Validace dat mezi CVS a PEMS						
Měřené vozidlo	Škoda Fabia I		Škoda Fabia II		Škoda Fabia III	
Zařízení	CVS	PEMS	CVS	PEMS	CVS	PEMS
NO _x korekce [-]	0.862	-	0.823	-	0.894	-
Vzdálenost [km]	23.2	23.2	23.13	23.2	23.27	23.17
CO ₂ [g/km]	141.35	127.89	140.17	115.2	122.24	110.15
CO [mg/km]	489.29	410.04	658.85	728	417.83	304
NO _x [mg/km]	85.76	114.11	17.15	19	50.31	69
kNO _x [mg/km]	99.43	114.11	20.66	19	56.25	69



Výsledky měřených složek jsou v legislativní toleranci. Pouze u vozidla Škoda Fabia II pro složku CO₂ je rozdíl 17 % vůči limitu 10 %. Možnou příčinou bylo špatné nastavení některého z parametrů do válcové brzdy (nepřesný koeficient, váha vozu). Jelikož se validace jezdí vždy se studeným startem a opakování by bylo možné až následující den bylo po konzultaci s odborníky navrženo pokračování naplánovaných testů navzdory přesáhnutým povoleným odchylkám. Kompletní výsledky všech složek pro jednotlivé vozidla jsou uvedeny v příloze B -Validace_F1.xlsm, Validace_F2.xlsm a Validace_F3.xlsm.

13.2.3.1 CO₂referenční

Součástí každé validace bylo získání CO₂referenční. Tato hodnota slouží při vyhodnocení měřených testů. Vypočítá se jako součin CO₂ a ujeté vzdálenosti v každé ze čtyř fází WLTC. Každá ze složek se sečte a vznikne sumární produkce CO₂ [g] za měřený test. Tento sumární výsledek se vydělí ujetou vzdáleností. Následně se vezme 50 % této hodnoty, která se převede na kilogramy. Výsledná čísla uváděná při vyhodnocení v programu SENSOR Tech-CT jsou v následující tabulce č. 12.

Tab. 12.: Výsledné hodnoty z CO₂referenční

Vozidlo	Vzdálenost [km]	Celkem CO ₂ [g]	CO ₂ WLTP [g/km]	50 % CO ₂ [kg]
Škoda Fabia I	23.204	3279.9	141.35	1.639
Škoda Fabia II	23.131	3242.3	140.17	1.621
Škoda Fabia III	23.272	2844.4	122.22	1.422

Kompletní vyhodnocení všech CO₂referenční jsou v příloze B - Validace_F1.xlsm, Validace_F2.xlsm a Validace_F3.xlsm v záložce CO₂_referenční.

13.3 Porovnání spotřeb paliva z reálné jízdy a homologačních cyklů

Následující Tabulka č. 13 prezentuje porovnání průměrných spotřeb paliva z měřených experimentálních jízd. Srovnává též naměřená data zjetá při WLTC proti původním hodnotám výrobce, jež byly zjeté u původního NEDC.



Tab. 13: Spotřeby paliva v l/100 km jednotlivých jízd

Spotřeby paliva						
Vozidlo	WLTC [l/100 km]	RDE A-t [l/100 km]	RDE A-s [l/100 km]	RDE B-t [l/100 km]	RDE B-t.2 [l/100 km]	NEDC [l/100 km]
Škoda Fabia I	6,28*	5,98	6,227	5,859	5,562	6,5
Škoda Fabia II	6,24*	4,735	4,637	4,808	4,689	5,2
Škoda Fabia III	5,43*	4,643	4,852	4,818	4,729	4,6

*hodnoty z CVS zařízení

Toto srovnání poukazuje na porovnání dat při různých provozních podmínkách a stylech jízd. Spotřeba paliva představuje jeden z důležitých parametrů vozidla, na který hledí velké množství uživatelů. Z naměřených hodnot plyne, že cyklus WLTC vozidla zatěžuje výrazněji než ostatní jízdy, jelikož spotřeba paliva byla výrazně vyšší než při zkouškách v provozu. Zajímavostí je, že porovnání spotřeb z NEDC a WLTC u vozu Škoda Fabia I vyznělo lépe pro WLTC. I pro ostatní jízdy v provozu platí, že spotřeby byly nižší než v případě NEDC. Vzhledem ke stáří a technickému stavu vozidla je to překvapující. Jednou z příčin může být zjetí vozidla, nebo odlišné nastavení odporů a ztrát na válkách.

Pro ostatní měřené jízdy mimo zkušebnu platí podobné spotřeby lišící se maximálně o 0,5/ 100 km. U vozu Škoda Fabia II jsou dokonce všechny průměrné spotřeby pod hodnotou udávanou výrobcem. To svědčí s velkou pravděpodobností o dobře zjetém vozidle a výborném technickém stavu vzorku. Fabia III se až na dynamickou jízdu při WLTC pohybuje na hranici homologační specifikace. Vzhledem k nízkému nájezdu lze předpokládat, že po zjetí bude spotřeba o něco nižší.



13.4 Emisní analýza vozidla Fabia I

Tento testovaný vzorek spadá pod emisní normu Euro 4. Vzhledem ke stáří vozu nebylo možné propojit zařízení PEMS s OBD rozhraním vozidla. Při vyhodnocení se tedy nemohlo kalkulovat s údaji získaných přímo z řídicích jednotek vozidla. I bez těchto parametrů se dá provést analýza, avšak vychází se pouze z GPS údajů od PEMS zařízení. Během měření byla mimo provoz teplotní sonda, vycházelo se tedy z údajů, které poskytoval palubní počítač vozidla a teploměru na nedaleké budově. V následující tabulce č. 14 jsou přehledně výsledky analyzovaných složek. Kompletní vyhodnocení všech jízd je v příloze B pod kapitolou 15.2.2.

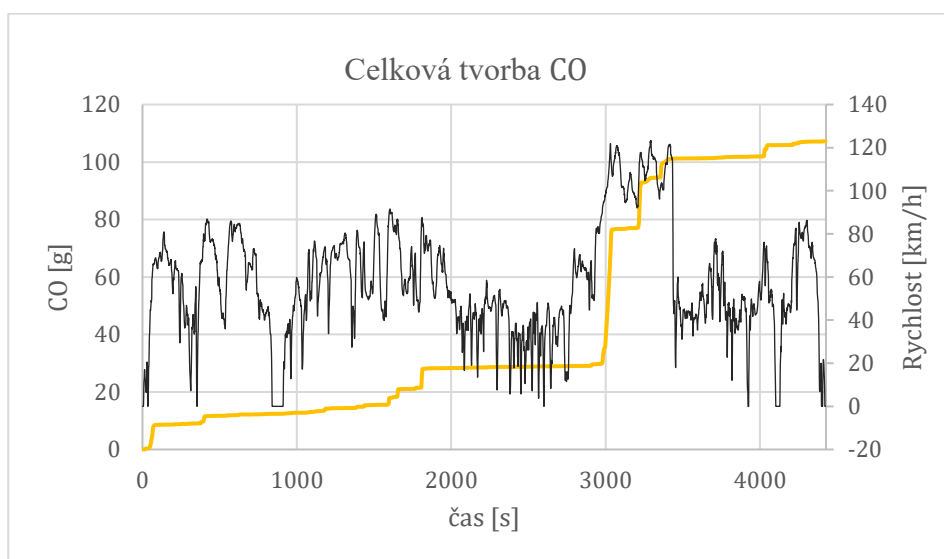
Tab. 14.: Výsledné emise experimentálních jízd u vozu Škoda Fabia I

	Euro 4	WLTC PEMS	RDE B-t	RDE B-t.2	RDE A-t	RDE A-s
CO [g/km]	1,00	0,41	1,52	0,559	0,3	0,505
NO _x [g/km]	0,08	0,085	0,16	0,14	0,1	0,14
PN[#/km]	-	2,29·10 ¹¹	8,01·10 ¹¹	3,79·10 ¹¹	2,29·10 ¹¹	2,76·10 ¹¹

13.4.1 Složka CO

Tvorba emisí CO se projevuje při dynamické jízdě (vysoká zátěž) a při startu, kdy je nedostatečně prohřátý třicestný katalyzátor. Při nízké zátěži a ustálených stavech byly emise CO téměř nulové. Výsledné hodnoty přináší zajímavé poznatky. I po šestnácti letech provozu vozidlo plní legislativní požadavky. U jízd simulující homologační měření vozidlo vykazuje nejlepší parametry, přičemž u jízdy RDE A teplá je tato hodnota 3x nižší, než je limit normy.

Překvapující hodnoty byly u jízdy RDE B-t. Výsledná hodnota 1,5x překračuje normu a vůči opakované jízdě RDE B-t.2 je výsledek 3x vyšší. Po analýze dat bylo shledáno kritické místo, které tento výkyv zapříčiňuje.

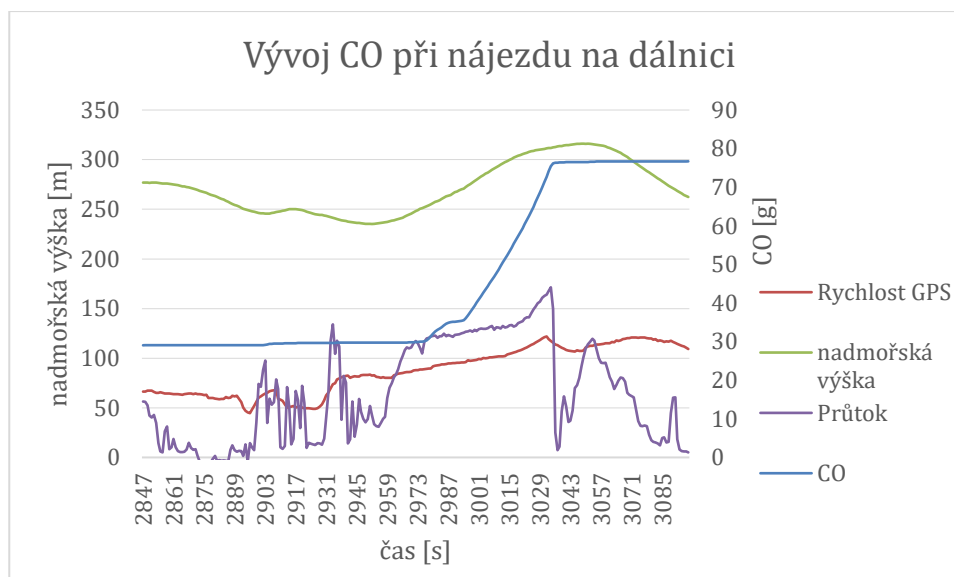


Graf 8.: Kumulativní tvorba CO na trase RDE B-t s vozem Škoda Fabia I

Na grafu č. 8 je vidět průběh z jízdy RDE B-t, kde je vývoj složky CO. Během celé této jízdy je růst relativně konstantní, ale v čase cca 3000 s se tento nárůst mnohonásobně zvýší a podílí se na

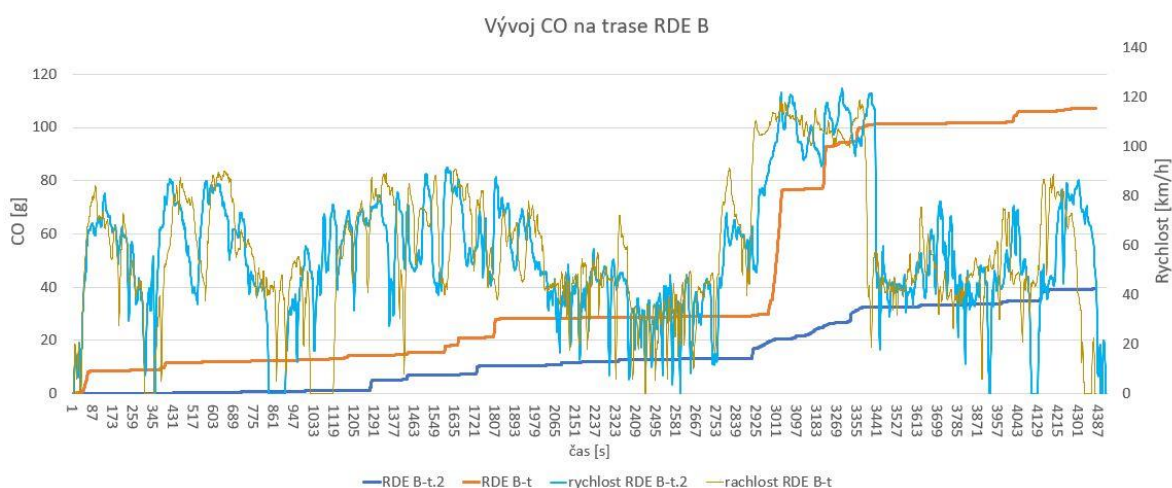


výsledku celé jízdy (přibližně z 30 g CO na 100 g CO během 150 s jízdy). Tento skok tak tvoří 70 % škodlivin CO z celé jízdy. Pro analýzu této oblasti je na grafu č. 9 vybrána pouze kritická oblast.



Graf 9.: Kritické místo ovlivňující výrazně vývoj CO

Dle analýzy dat jde o nájezd na dálnici s prudkou akcelerací vozidla ve stoupání. Vozidlo pod zátěží obohacuje směs a tvoří vysoké množství CO. Z grafu je také dobře vidět, že vozidlo v jednom okamžiku přibližně po dobu 100 s akceleruje, zvyšuje rychlost a průtok spalin. Na následujícím grafu č. 10 je provedena analýza dvou totožných jízd RDE B, kde je vykreslen průběh rychlostí a tvorby CO.



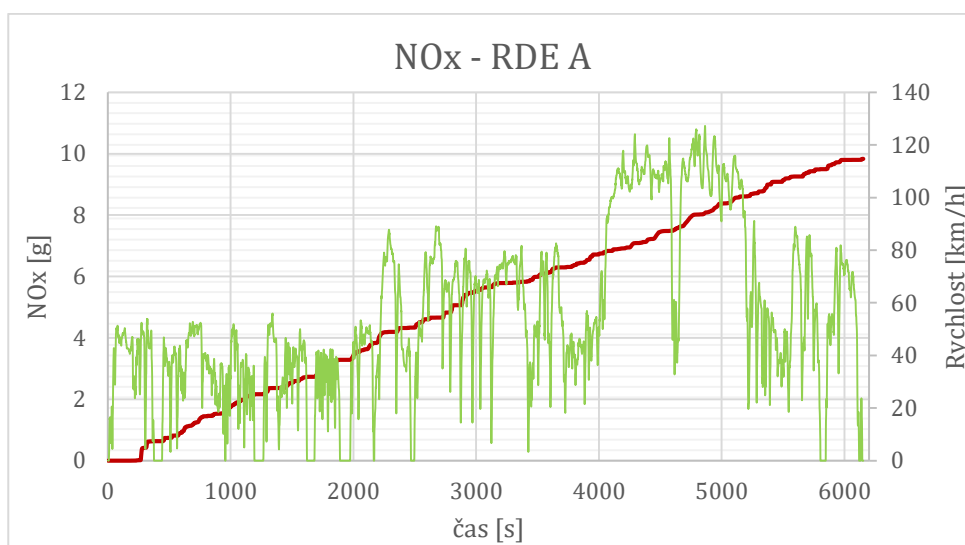
Graf 10.: Kumulativní vývoj emisí CO u jízdy RDE B s vozem Škoda Fabia I

Jízdy RDE B-t a t.2 jsou dvě shodné jízdy zajištěné za totožných podmínek. Výsledné hodnoty CO, jsou však výrazně odlišné. Příčinou byla akcelerace při nájezdu na dálnici, kde při jízdě RDE B-t vůz akceleroval v maximálním spektru otáček. Tento úsek a přístup řidiče má výrazný vliv na celkovou hodnotu emisí CO během měření.



13.4.2 Složka NO_x

Naměřené emise NO_x byly vůči legislativě přes limit a vůči ostatním vozidlům nejhorší. Příčinou může být stáří vozu a horší funkce emisního systému, vliv příliš dynamické jízdy s bohatou směsí. Další příčinou může být příliš opotřebený EGR ventil (zanesený), takže se nedostatečně snižuje teplota. Při plné zátěži je EGR ventil zavřený, částečně ve středním pásmu a nejvíce funguje při volnoběhu (výrazně by tedy neměl ovlivnit tvorbu této složky i v případě špatné funkce). Na grafu č. 11 je znázorněn celkový kumulativní součet NO_x. Průběh této křivky roste konstantně bez skokového nárůstu.



Graf 11.: Kumulativní tvorba NO_x na trase RDE A-t s Fabii I

13.4.3 Složka PN

Hodnoty PN u emisní normy Euro 4 nejsou limitované, avšak toto vozidlo bez problému plní i nejnovější emisní normy. Ze všech testovaných vzorků měl počet částic nejnižší. Tuto skutečnost lze přisoudit skutečnosti, že tento vůz nemá přímovstříkový motor a netrpí na tvorbu sazí. Důkazem nízké produkce částic jsou nepříliš znečištěné filtry vyndané z PEMS po měření s tímto vozem na obrázku č. 61.



Obr. 61.: Stav filtrů po měření s vozidlem Fabia I



13.5 Emisní analýza vozidla Fabia II

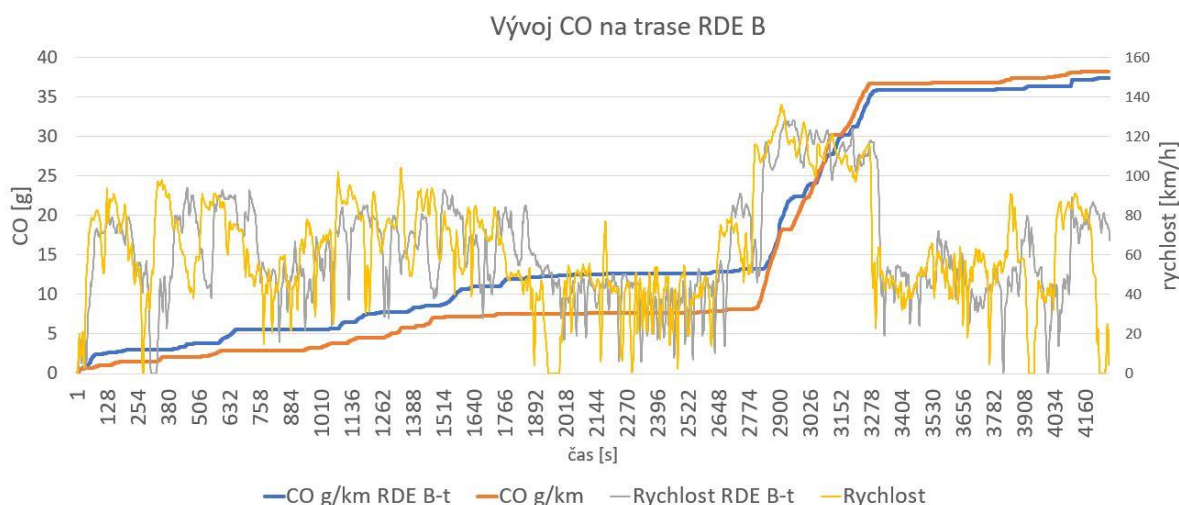
Tento testovaný vůz spadá pod novější emisní normu Euro 5. U všech měřených složek podléhající legislativě vyšel kladně. Během měření se nevyskytl výrazný problém. Jedinou nevýhodou, respektive obecně známým problémem je tato generace motorů TSI, která vyprodukuje vysoké množství částic PN. V době výroby těchto motorů legislativa tvorbu PN nikterak nelimitovala a z toho důvodu výrobce nebral ohled na tuto složku ve spalínách. V následující tabulce č. 15 jsou přehledně zobrazeny výsledky analyzovaných složek ze všech experimentálních jízd ve srovnání s homologačním údajem. Výsledné hodnoty ukazují vliv RDE tras a chování řidiče na tvorbu škodlivých látek. Především při jízdě RDE A je tvorba jednotlivých složek nízká. Kompletní vyhodnocení jednotlivých jízd je v příloze B pod kapitolou 15.2.3.

Tab. 15.: Výsledné emise experimentálních jízd u vozu Škoda Fabia II

	Euro 5	WLTC PEMS	RDE B-t	RDE B-t.2	RDE A-t	RDE A-s
CO [g/km]	1,00	0,716	0,53	0,539	0,526	0,366
NO _x [g/km]	0,06	0,019	0,03849	0,0344	0,018	0,021
PN[#/km]	-	$7,8 \cdot 10^{12}$	$5,07 \cdot 10^{12}$	$5,37 \cdot 10^{12}$	$5,86 \cdot 10^{11}$	$5,55 \cdot 10^{12}$

13.5.1 Složka CO

U všech měřených jízd se analyzovaná složka vešla do legislativní tolerance. Poukazuje to na skutečnost, že ačkoliv je testovací cyklus WLTC výrazně náročnější, i přes tuto skutečnost je vozidlo schopné splnit legislativní podmínky té doby. Na následujícím grafu č. 12 je srovnání dvou totožných jízd na trase RDE B, kde je možné pozorovat téměř totožný vývoj analyzované složky. Celkový výsledek výrazně ovlivnilo stoupání (stejným způsobem jako u vozu Škoda Fabia I) na počátku dálnice.



Graf 12.: Kumulativní vývoj emisí CO při testu RDE B-t a RDE B-t.2 s vozem Fabia II



13.5.2 Složka NO_x

Důkazem správné funkce emisního systému jsou výsledky analýzy NO_x. U tohoto vzorku nebyl problém splnit legislativní požadavky. Hodnoty NO_x jsou přibližně 3× pod legislativním limitem a žádná z jízd nevykazovala problémy s touto analyzovanou složkou.

13.5.3 Složka PN

Norma Euro 5 tuto složku nelimituje. Při analýze všech dat lze jednoznačně usoudit, že tvorba částic je o řád vyšší než u zbylých měřených vozidel. Příčinou je pravděpodobně starší technologie TSI motorů a méně přesné trysky vstřikovač. Pro tyto motory je typické špatné rozprášení paliva, kdy se rozpráší do velkých kapiček, které se špatně zažehávají. Poté se tvoří saze hořením kapičky pouze na jejím povrchu. Důkazem vysoké tvorby sazí jsou filtry, které byly po měření vyndány z měřicího zařízení (obrázek č. 62).



Obr 62.: Stav filtrů po měření s vozidlem Fabia II

13.6 Emisní analýza vozidla Fabia III

Tento vůz spadá pod normu Euro 6. Testovaná Škoda Fabia i přes své stáří 3 roky má najeto necelých 5000 km. Jedná se tedy o téměř nové auto. Slouží jako předváděcí a náhradní vozidlo u dealera vozu Škoda. Ze všech měřených vozů vykazovalo nejkonstantnější výsledky plnicí normu částic PN, které jsou u této normy již sledovány. U tohoto vozu byla snaha zajet platnou RDE jízdu na válcovém dynamometru. Více o tomto pokusu v kapitole 13.10. V tabulce č. 16 je přehled naměřených emisí z jednotlivých experimentálních jízd. Kompletní vyhodnocení jednotlivých jízd je v příloze B pod kapitolou 15.2.4.

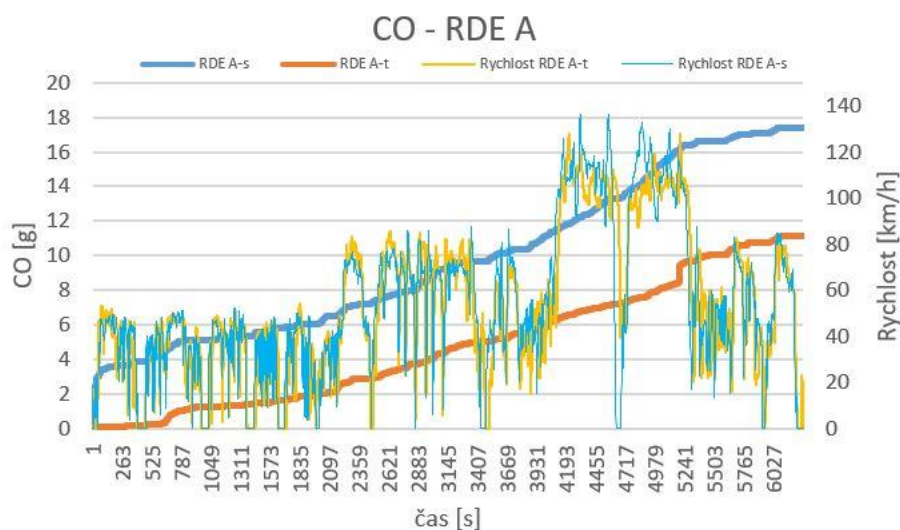
Tab. 16.: Výsledné emise experimentálních jízd u vozu Škoda Fabia III

	Euro 6	WLTC PEMS	RDE B-t	RDE B-t.2	RDE A-t	RDE A-s
CO [g/km]	1,00	0,289	0,309	0,528	0,11	0,18
NO _x [g/km]	0,06	0,0692	0,0694	0,09	0,03	0,044
PN[#/km]	6·10 ¹¹	9·10 ¹¹	5,8·10 ¹¹	4,85·10 ¹¹	3,72·10 ¹¹	5,6·10 ¹¹



13.6.1 Složka CO

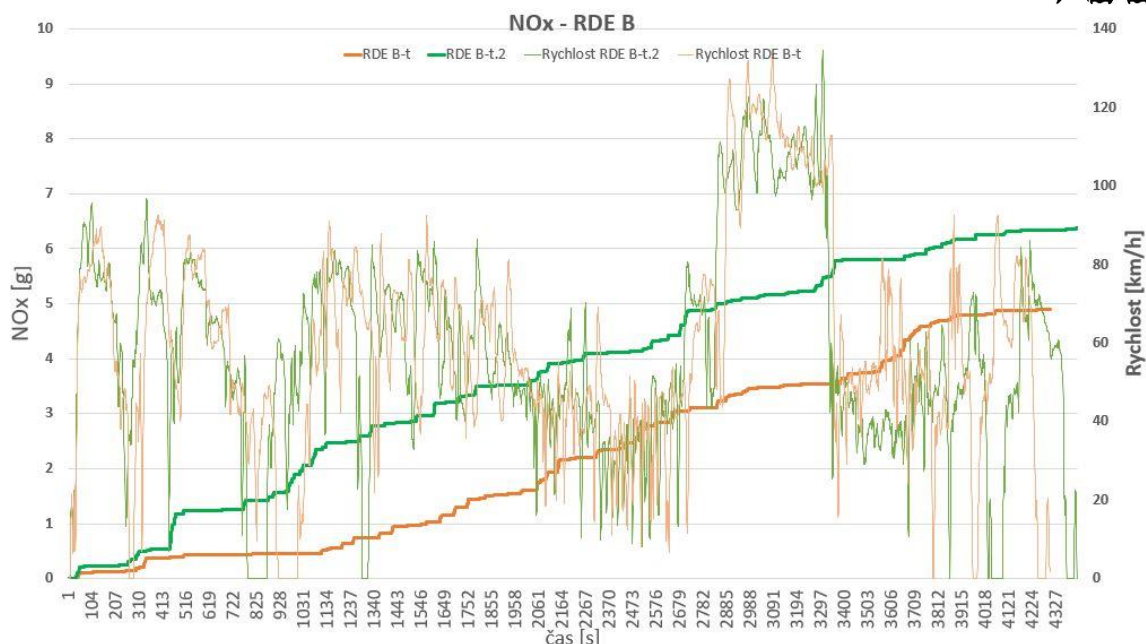
Ve všech měřených testech byla složka CO v limitu. Vozidlu evidentně dobře pracuje celý emisní systém, včetně oxidačně-redukčního katalyzátoru. Na jízdu má výraznější vliv dynamika jízdy. Na trase A vozidlo vykazuje výrazně nižší hodnoty, než je tomu při dynamičtější koncipované RDE B. Na grafu č. 13 je znázorněn vliv katalyzátoru při teplém a studeném startu.



Graf 13.: Srovnání teplé a studené jízdy na trase RDA A u vozu Fabia III

13.6.2 Složka NO_x

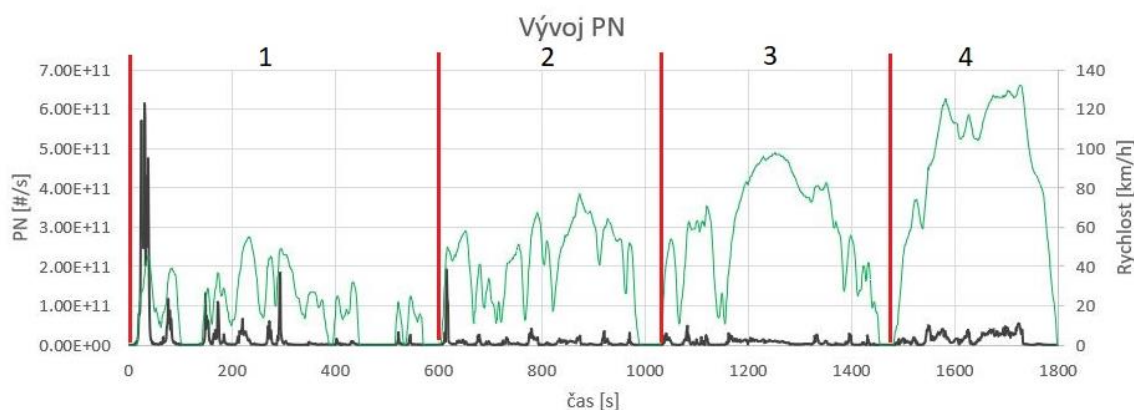
Na tvorbu této složky má výrazný vliv dynamika jízdy. Na trase A byla nízká (plnila homologační požadavky) a díky tomu byla i tvorba NO_x v toleranci. Na grafu č.14 je vidět závislost NO_x na čase při dvou srovnatelně dynamických jízdách na trase RDE B. Je prokazatelné, že při vysoké dynamice jízdy výrazně roste tvorba této škodlivé látky.



Graf 14.: Srovnání kumulativní tvorby NO_x u měřených testů RDE B-t a RDE B-t.2 vozu Fabia III

13.6.3 Složka PN

Tvorba částic je u motoru s přímým vstřikem paliva největší problém. Díky novým technologiím, vyšším vstřikovacím tlakům a přesnějším tryskám vstřiků, které zajišťují lepší rozprášení kapek se vůči druhé generaci vozu Fabia podařilo tuto složku snížit na požadovaný emisní limit. Na obrázku č. 63 jsou vidět filtry, které jsou po měření zdokumentovány. Oproti TSI motoru v předchozím vozu je znečištění sazemi výrazně nižší. Jako problematická se ukázala jízda na válcovém dynamometru při WLTC, kde výsledné částice byly nad legislativním limitem. Je pravděpodobné, že motor se nedokázal dokonale prohrát a díky studenému startu na počátku měření, kdy palivo není dokonale spalováno, ovlivnil celkový výsledek měření. V (městské) fázi byla dle CVS tvorba PN = $5,43 \cdot 10^{12}$ [# / km], což výrazně ovlivnilo celkový výsledek (viz graf č.15).



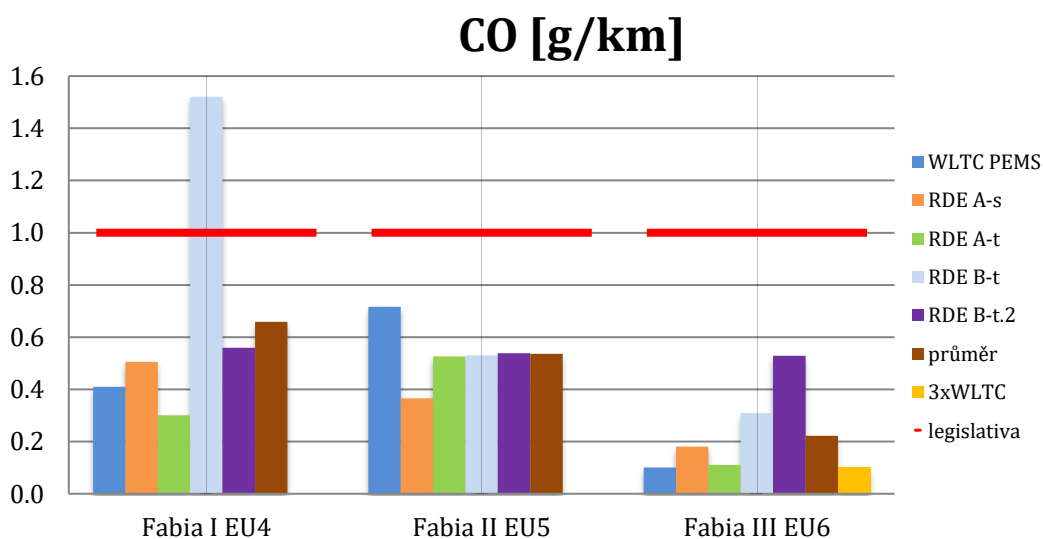
Graf 15.: Vývoj PN v jednotlivých fázích WLTC u měřeného vzorku



Obr. 63.: Stav filtrů po měření s vozidlem Fabia III

13.7 Celkové srovnání produkce škodlivin u měřených vozů

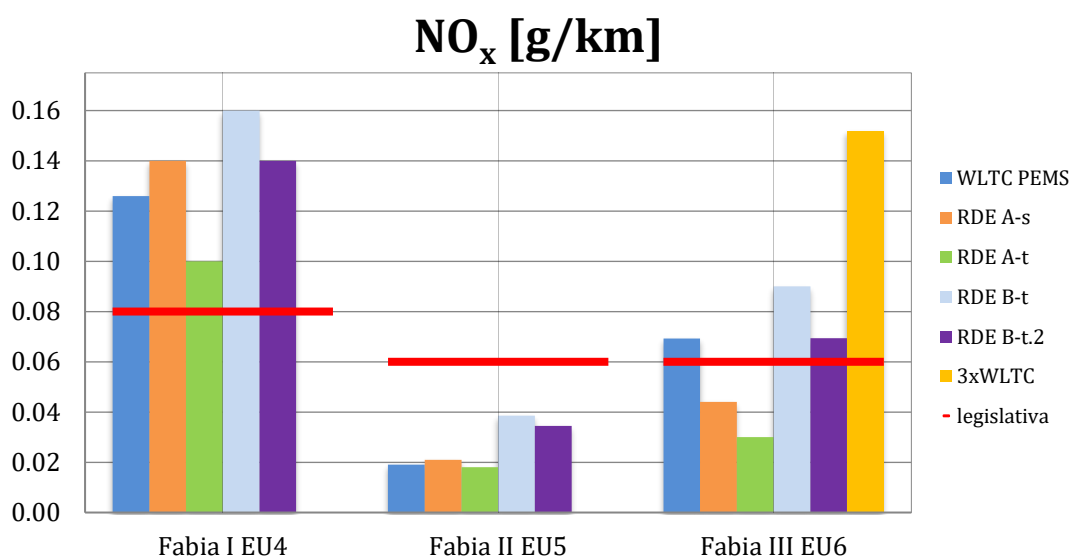
V následujících přehledech naměřených hodnot je uvedeno srovnání všech testovaných vzorků vůči legislativě, která příslušela vozům v době výroby. Legislativní limity je nutné brát jako referenční a pro srovnání, jak si měřená vozidla vedla v experimentu. Není možné je považovat jako regulérně platné, jelikož se aplikovala nová metodika měření emisí a vozidla byla testována i v rámci experimentálních jízd, které se neslučují s žádnou platnou legislativou. Účelem bylo analyzovat vliv provozních a jiných podmínek na emisní chování vozidel v provozu i na válcovém dynamometru. Sloupcový graf č. 16 ukazuje výsledky CO v g/km pro jednotlivá měřená vozidla. U všech experimentálních měření vozy vypouštěly nízké hodnoty CO, pouze u vozu plnicí normu Euro 4 byla jedna z jízd vysoko nad limitem. Příčinou vysokých hodnot byla extrémní zátěž motoru překračující dovolené akcelerace (dovolené z pohledu testování). Dle očekávání vyšel nejlépe pro CO vzorek plnicí normu Euro 6.



Graf 16.: Sloupcové srovnání experimentálních měření pro CO

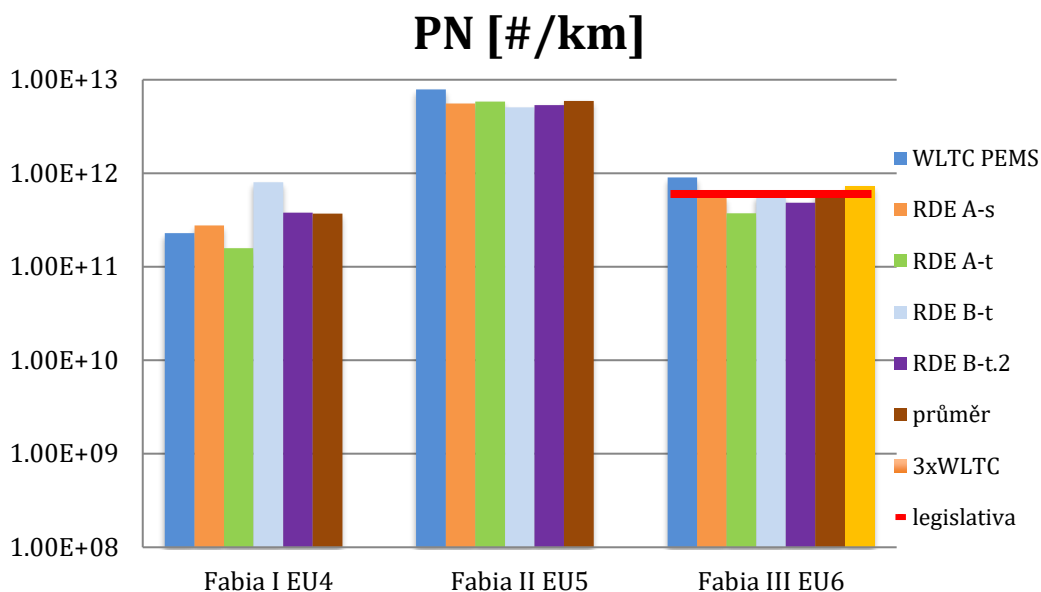


Na sloupcovém grafu č. 17 je znázorněna tvorba oxidů dusíku NO_x v g/km. Nejvyšších hodnot NO_x výrazně přes limit dosahoval vůz Euro 4. Na druhé straně je vozidlo Euro 5, které vykazuje nízké hodnoty sledované složky. I přes nájezd vysoko nad 100 000 km mu emisní systém pracuje dobře. U vozidla Euro 6 jsou výsledné hodnoty nestabilní z důvodu vyšší citlivosti vozu na dynamiku jízdy. V případě simulace homologačních jízd v reálném provozu se vůz do limitu vešel, avšak u ostatních experimentů nevyhověl. Ze strany automobilky tak lze hovořit o naladění pohonného ústrojí pro nízká zatížení. Jakmile jede vozidlo dynamičtěji, hodnoty NO_x jsou vysoké. Více jak dvojnásobně překročil emisní limit test 3xWLTC o kterém bude detailní zmínka v závěru této práce.



Graf 17.: Sloupcové srovnání experimentálních měření pro NO_x

Na sloupcovém grafu č. 18 je produkce počtu částic. Tento parametr je sledován až se zavedením normy Euro 6, proto u vozidel Euro 4 a Euro 5 není uveden limit. Vozidlo normy Euro 4 vykazuje nejnižší hodnoty, jelikož i přes své stáří disponuje nejméně problematickým motorem bez přímého vstřiku paliva. Nejhorších výsledků u této analyzované složky dosahuje vozidlo Euro 5, které má starší generaci TSI motorů, jež na tvorbu částic (sazí) trpí. Vozidlo normy Euro 6 se s počtem částic pohybuje na hranici legislativního limitu. Příčin může být mnoho, avšak hlavním faktorem je nedostatečná schopnost emisního systému odbourat tuto škodlivou látku. Výrobce se touto skutečností zabýval a od faceliftu tohoto vozidla (s nástupem přísnější normy) provedl úpravy snižující počty částic (filtr pevných částic).



Graf 18.: Sloupcové srovnání experimentálních měření pro PN

V následující tabulce č. 17 jsou přehledně zaznamenány odjeté experimentální jízdy, obsah škodlivin a srovnání vůči legislativě.

Tab. 17.: Přehled naměřených hodnot s porovnáním vzhledem k původní legislativě

Vůz	Test	Složky výfukových emisí		
		CO [g/km]	NO _x [g/km]	PN [# /km]
Fabia I	WLTC	0,410	0,085	2,29E+11
	RDE A-s	0,505	0,014	2,76E+11
	RDE A-t	0,300	0,010	1,58E+11
	RDE B-t	1,520	0,016	8,01E+11
	RDE B-t.2	0,559	0,014	3,79E+11
	Legislativa	1,00	0,08	-
Fabia II	WLTC	0,716	0,019	7,86E+12
	RDE A-s	0,366	0,021	5,55E+12
	RDE A-t	0,526	0,018	5,86E+12
	RDE B-t	0,530	0,039	5,07E+12
	RDE B-t.2	0,539	0,034	5,37E+12
	Legislativa	1,00	0,08	-
Fabia III	WLTC	0,289	0,069	9E+11
	RDE A-s	0,180	0,044	5,6E+11
	RDE A-t	0,110	0,030	3,72E+11
	RDE B-t	0,309	0,069	3,72E+11
	RDE B-t.2	0,528	0,090	4,85E+11
	Legislativa	1,00	0,06	6,00E+11
	3xWLTC	0,101	0,152	7,29E+11



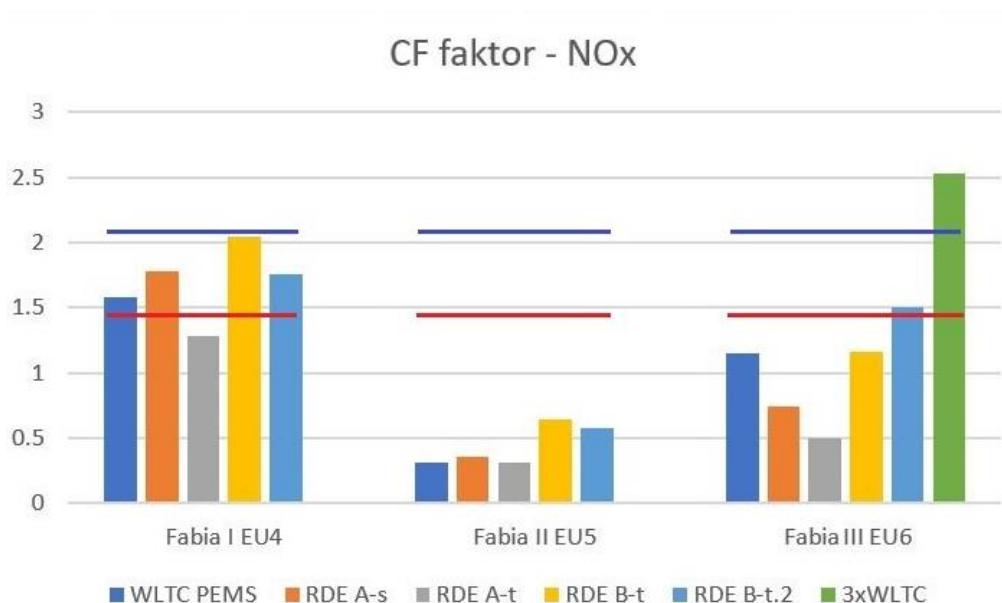
13.8 Zhodnocení dle CF faktoru

Conformity Factor se využívá od zavedení RDE. Od jeho zavedení v roce 2018 byl pro složku $\text{NO}_x = 2,1$ a následně s příchodem roku 2020 snížen na $\text{NO}_x = 1,43$. V tabulce č. 18 jsou zobrazeny vypočtené CF faktory pro jednotlivé testy.

Tab. 18.: Výsledné hodnoty CF pro NO_x

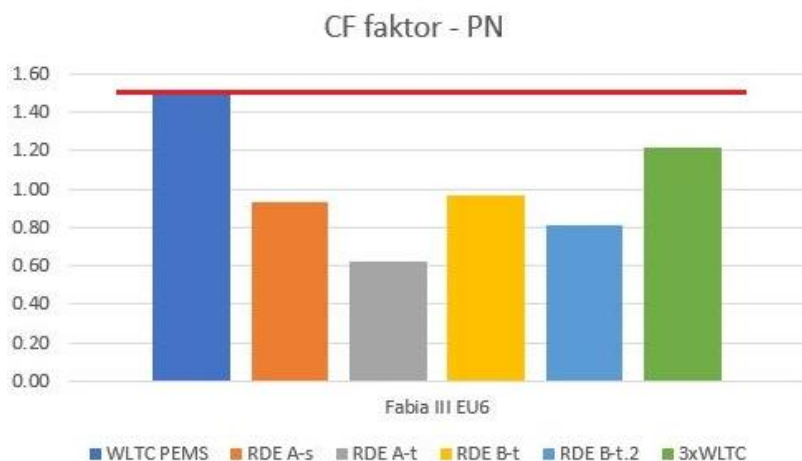
Vozidlo	Fabia I Euro 4	Fabia II Euro 5	Fabia III Euro 6
WLTC PEMS	1,583	0,3169	1,1529
RDE A-s	1,779	0,3567	0,7456
RDE A-t	1,288	0,312	0,5062
RDE B-t	2,047	0,6414	1,1572
RDE B-t.2	1,7582	0,5741	1,50722
3xWLTC	-	-	2,531

Na grafu č. 19 jsou přehledně vykresleny výsledky CF faktoru do sloupcových grafů. Tyto grafy doplňuje legislativní limit z roku 2018 (modrá, $\text{CF} = 2,1$) a 2020 (červená, $\text{CF} = 1,43$), který je v aktuální platnosti. Nejlepšího poměru dosahuje vozidlo emisní normy Euro 5, Vozidlo Euro 4 neplní přísnější normu $\text{NO}_x = 1,43$, avšak původní toleranci plní. U vozidla Euro 6 se do legislativního limitu nevešla pouze experimentální jízda 3xWLTC.



Graf 19.: Výsledné hodnoty CF měřených jízd pro NO_x

Na grafu č. 20 jsou přehledně vykresleny CF faktory pro PN. Legislativa jej limituje od roku 2020 s faktorem $\text{CF} = 1,5$. Jelikož pro emisní normy 4 a 5 nebyl zaveden legislativní limit je vykreslen sloupcový graf pro emisní normu Euro 6.



Graf 20.: Výsledné hodnoty CF měřených jízd pro PN

13.9 Vyhodnocení dle CFr faktoru

V rámci experimentálního výzkumu a reálnějšího porovnání měřených vozidel byl zaveden vliv CFr (*Conformity Factor real*). Jde o reálný faktor shody a jeho interpretace je v následujícím vzorci 18.

$$CFr = \frac{RDE \text{ výsledky měření } g/km}{CVS \text{ výsledky měření } g/km} \quad (18)$$

CVS výsledky měření – je hodnota získaná v laboratoři z CVS při validaci (WLTC) vozidla

Pro každé vozidlo byl stanoven vlastní CFr faktor, resp. vypočten na základě dat získaných při validaci na válcovém dynamometru pomocí dat z CVS analyzátorů. Tento faktor dokáže lépe vyhodnotit naměřené výsledky z reálného provozu vůči válcovému dynamometru, jelikož klasický CF faktor zohledňuje výsledné hodnoty vzhledem k legislativě, nikoliv konkrétnímu vzorku.

13.9.1 CFr faktor

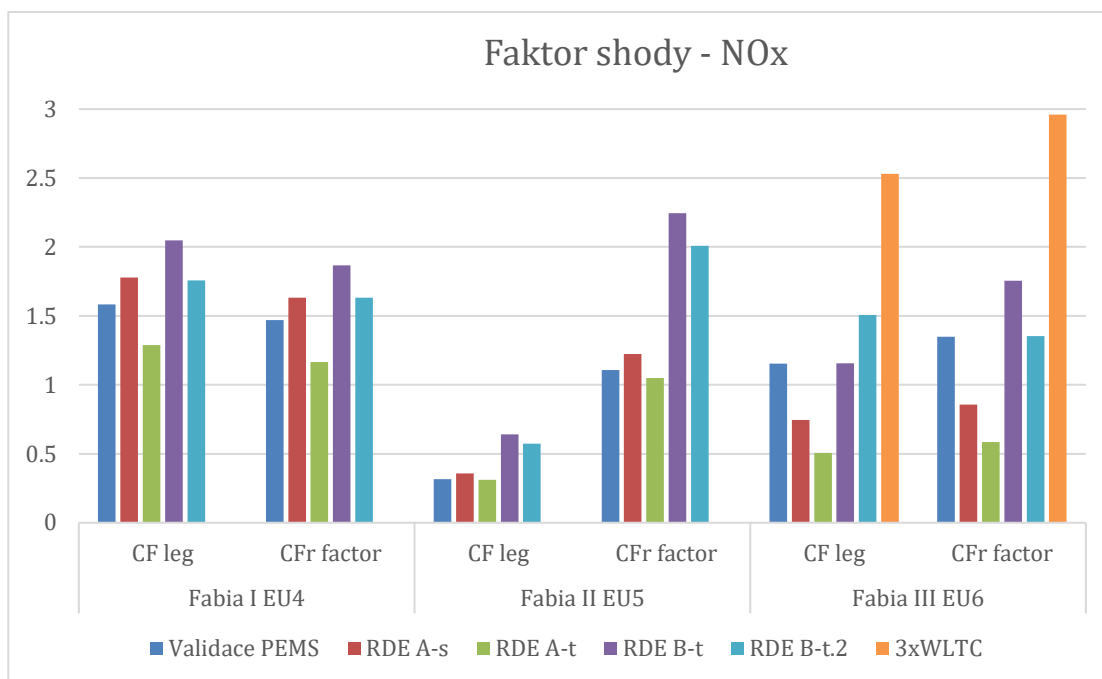
V následující tabulce č. 19 jsou získané hodnoty vlastního CFr faktoru pro jednotlivá testovaná vozidla.

Tab. 19.: Výsledné hodnoty CFr pro NO_x

Vozidlo	Fabia I Euro 4	Fabia II Euro 5	Fabia III Euro 6
WLTC PEMS	1,47	1,11	1,35
RDE A-s	1,63	1,22	0,86
RDE A-t	1,17	1,05	0,58
RDE B-t	1,87	2,24	1,75
RDE B-t.2	1,63	2,01	1,35
3xWLTC	-	-	2,96



Po komplexní analýze lze hovořit o přínosu vlastního faktoru u analyzovaných jízď. U vozidla Euro 4 se CF a CFr téměř shodují. Největší rozdíl je u vozidla Euro 5, kde CFr výrazně převyšuje původní hodnoty. Téměř shodné hodnoty platí u vozidla normy Euro 6, jak je vidět na grafu č. 21.



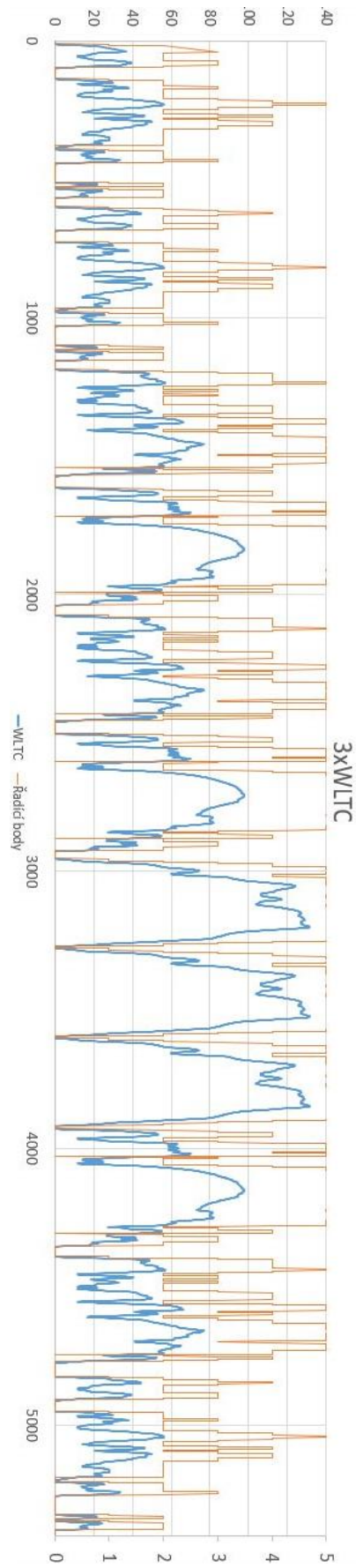
Graf 21.: Výsledné srovnání CF a CFr faktorů

13.10 RDE na válcovém dynamometru

V rámci RDE měření byl navrhnout a reprodukován RDE test odjetý na válcovém dynamometru. K tomuto testu bylo vybráno jedno z měřených vozidel, konkrétně Škoda Fabia III. Účelem tohoto pokusu bylo zajet platný RDE test, který by odpovídal jízdě homologační svojí dobou a dynamikou jízdy.

V první řadě byla navrhnutá trasa takového testu. Sestavena byla ze tří WLTC cyklů, která měla svými parametry reprodukovat trasu RDE A s jízdni délkou minimálně 90 min. V první řadě byl rozdělen základní WLTC do jednotlivých fází (Nízká- 1, Střední- 2, Vysoká- 3, Extra vysoká- 4).

Rozdělení na jednotlivé jízdni fáze je na grafu č. 2. Následně byl na základě jízdniho profilu RDE A sestaven cyklus z jednotlivých fází v pořadí: 1, 1, 2, 3, 2, 3, 4, 4, 4, 3, 2, 1. Současně byly zaneseny k nově vzniklému cyklu řadicí body tak, aby odpovídaly křivce. Výsledný graf pro reprodukci RDE na dynamometru je na grafu č. 22.



Graf 22.: Návrh testu 3xWLTC pro reprodukci RDE na válcovém dynamometru



Nově vzniklý test se podařilo nahrát do válcového dynamometru a měřený test odjet se studeným startem. Na následujícím obrázku č. 64 je vidět pohyb vozidla po křivce nově vzniklého cyklu. Na ose „y“ ubíhá čas v sekundách, na ose „x“ je poté vynesena rychlost vozidla. Vzhledem k náročnosti a délce testu se během jízdy na vozidle střídali řidiči. Tento faktor může mít na výsledek dynamiky pouze malý vliv, jelikož řidič se musí držet křivky a nemůže se od dané křivky odchýlit (zanedbatelný vliv řidiče).



Obr. 64.: Vyobrazení křivky cyklu během měřeného testu

13.10.1 Hodnocení RDE na válcích

Ze získaných dat a vyhodnocení lze jednoznačně říct, že zjetí platné RDE jízdy na válcích je velmi složité. Největším problémem bylo udržet stanovené křivky a zároveň hlídat dynamiku a styl jízdy. Tento proces je náročný na testovacího jezdce i kapacity válcové zkušebny. Délka jízdy je pro zkušeného technika náročná na koncentraci. I přes snahu se udržet v tolerancích dynamiky (RPA a VA) se o povedlo pouze v městské části, což je vidět na obrázku č. 65.



Urban Trip Dynamics			
Urban Datasets	(100, +Infinity)	1387	Valid
Urban RPA (m/s ²)	(0.18, +Infinity)	0.24	Valid
Urban VA (m ² /s ³)	(0.00, 14.44)	11.95	Valid
Rural Trip Dynamics			
Rural Datasets	(100, +Infinity)	325	Valid
Rural RPA (m/s ²)	(0.18, +Infinity)	0.12	Invalid
Rural VA (m ² /s ³)	(0.00, 14.44)	15.96	Invalid
Motorway Trip Dynamics			
Motorway Datasets	(100, +Infinity)	299	Valid
Motorway RPA (m/s ²)	(0.18, +Infinity)	0.09	Invalid
Motorway VA (m ² /s ³)	(0.00, 14.44)	15.89	Invalid

Obr. 65.: Výsledná dynamika jízdy 3xWLTC

Emisní srovnání všech škodlivých složek je v předešlých kapitolách u jednotlivých jízd. U složek CO a PN vozidlo vyhovělo legislativní toleranci. Kvůli vysoké dynamice bohužel vyprodukovalo extrémně vysoké NO_x. Možným problémem bylo sestavení cyklu v jiném pořadí a nedostatečné prohřátí katalyzátoru v úvodu jízdy. Na grafu č.17 jsou výsledné NO_x všech vozidel, kde sledovaná složka na trase 3xWLTC přibližně 2,5× převyšuje povolenou hranici.

Součástí přílohy B F3_RDE_3xWLTC.xlsm jsou kompletní výsledky včetně porovnání s CVS a jednotlivými vývoji všech složek včetně průtoků, teplot a rychlostí.



14 Závěr

První část této diplomové práce se věnovala rešerši vzniku emisí jednotlivých složek spalin, emisním normám Euro a jízdním cyklům. Byl proveden přehled aktuální legislativy, která určuje způsob vyhodnocení a měření na dynamometru a během reálného provozu (RDE), pomocí přenosného měřicího zařízení (PEMS). Součástí práce bylo popsání jednotlivých metod měření emisí a vzniku škodlivin. Byl popsán vývoj emisních norem v EU včetně způsobu homologace příslušným jízdním cyklem. Byly definovány požadavky, na základě platné legislativy, na měření RDE, návrh tras a podmínky pro splnění jízdy dle této nejnovější metody měření emisí. Práce se zabývá měřicím zařízením PEMS a jeho součástmi, instalací na měřené automobily, způsobem provozu a programem pro vyhodnocení dat.

Druhá část práce se zabývá experimentálním měřením emisí v laboratorním prostředí a v reálném provozu na vozidlech stejné kategorie splňující různé emisní normy. Nedílnou součástí byla zástavba měřicího zařízení na experimentální vozidla, návrh RDE tras pro analýzu různých provozních stavů testovaných vozidel a vyhodnocení naměřených dat vůči legislativě příslušné emisní normy pro danou třídu.

Navržené jízdy v reálném provozu i v laboratoři se zdařily a ověřily správnost aktuálního postupu při homologačním měření. U vozu Fabia I byly naměřeny hodnoty CO v toleranci i aktuální legislativy, až na jednu experimentální trasu s příliš vysokou dynamikou jízdy. Vozidlo oproti ostatním mělo nejvyšší tvorbu NO_x, přesahující i limity Euro 4. Tvorbu PN navzdory stáří vozu díky charakteristice motoru MPI vyšla z analyzovaných vozů nejlépe. Testovaná Fabia II z hlediska CO vyhověla limitům. Tvorbou NO_x se ukázala jako nejlepší, navzdory očekávání. Pro motor TSI dle předpokladu vyšly hodnoty PN nejvyšší, avšak v normě Euro 5 nebyly limitovány. Automobil Fabia III vyšel nejlépe pro měření CO, avšak tvorba NO_x byla výrazně závislá na dynamice jízdy. Tvorba PN odpovídala stanoveným limitům dle Euro 6. Všechny vozy vyhověly faktoru shody CF = 2,1 daným v roce 2018.

Z praktických experimentů se ukázalo, že homologační zkouška RDE je nastavena tak, že již dostatečně odpovídá reálnému provozu. Nejdůležitějším faktorem, který ovlivňuje emise, je vliv řidiče a jeho chování v reálném provozu (například při akceleraci vozidla v prudkém stoupání je dynamika jízdy příliš vysoká). Aktuální limit faktoru shody je pro výrobce automobilů relativně mírný, ale do budoucna se bude snižovat.

Vzhledem k trendu stále se zpřísňujících norem lze očekávat, že výrobci a konstruktéři automobilů budou stále více nuceni omezovat vyprodukované škodliviny ve výfukových plynech, aby měřené emise byly podobné za jakýchkoliv podmínek, a to nejen při předem a jasně daném homologačním měření, na které se automobilka může připravit a vozidlo naladit tak, aby tímto testem prošlo.



15 Přílohy

15.1 Příloha A

15.1.1 SEMTECH SCS (Sample Conditioning System)

Srdcem zařízení je systém kondice vzorku – SCS (*angl. Sample Conditioning System*). SCS umožňuje přímé měření koncentrace výfukových plynů pomocí vzorkovacích sond výfukových plynů, které jsou snadno připojeny pomocí průtokoměru k výfuku. Uvnitř zařízení se nachází vyhřívané filtry, různé stupně chlazení výfukových plynů, plynová sušička sloužící k odstranění vody z výfukových plynů. Jednotlivé části jsou umístěny v blízkosti odběru vzorků na konci potrubí, aby se před odběrem vzorek plynu kondicioval. K základnímu systému SCS je možné připojit moduly THC, měření methanu, PN nebo další pomocná zařízení. SCS funguje jako komunikační ústředna pro celý systém SEMTECH DS+, který obsahuje webový server pro komunikaci s uživatelem. Primárně zahrnuje správu dat všech generovaných informací. Pomocí wifi připojení se přes webový prohlížeč může uživatel připojit na dané IP adrese a může v reálném čase ovládat celé zařízení bez potřeby podpůrných systémů. Nejčastěji se používá notebook, ale je možné sledovat online data i na mobilním telefonu a tabletu (je důležité znát pouze IP a disponovat vhodným prohlížečem). Uživatelské rozhraní je zcela intuitivní a přehledné, obsahuje mimo nezbytných emisních údajů GPS polohu, vnější teplotu, stav nabití externí baterie a v neposlední řadě rozhraní pro sledování dat během homologační zkoušky. Komunikace je řešena dvěma způsoby: bezdrátově pomocí Wi-Fi nebo ethernet kabelem. [31] Na obrázku č. 66 je zobrazena společná sestava GAS a SCS zařízení.



Obr. 66.: V horní části GAS a ve spodní SCS [31]



Mezi důležité parametry patří přesnost, s jakou měří zařízení. V tabulce č. 20 je zobrazeno s jakou přesností pracuje SCS zařízení.

Tab. 20.: Analytická specifikace SCS zařízení [31]

Analytické specifikace	
Parametr	O ₂
Maximální dosah	25 % obj.
Rozlišení	0,1 % obj.
Linearita a přesnost	± 1 % plného rozsah stupnice
Rozsah provozních teplot	0 až 50 °C
Doba odezvy	< 6 s
Průtok	0,5 až 3 l/ min

15.1.2 SEMTECH GAS module

GAS module patří mezi nezbytnou součást celého zařízení. Je založen na nedisperzním ultrafialovém (NDUV) a infračerveném (NDIR) sensoru. NDUV spektroskopie pracuje samostatně a měří jednotlivé koncentrace NO a NO₂ ve vhodných rozsazích. K měření koncentrací, CO a CO₂ slouží NDIR. I přes svoji kompaktní velikost analyzátorů vůči analyzátorům z válcové zkušebny jsou vyrobeny s velkou přesností. Jsou certifikované, splňují EU požadavky EHK OSN R.49 a EC 582/2011 a vyhovují i US EPA standardům. [31]

Tabulka č. 21 obsahuje analytickou specifikaci NDUV analyzátoru.

Tab. 21.: Přesnost analyzátoru NDUV [31][45]

Analytické specifikace		
Parametr	NO	NO ₂
Maximální rozsah	0 – 3000 ppm	0 – 1000 ppm
Rozlišení	0,1 ppm	0,1 ppm
Přesnost	≤ 1 %	≤ 1 %

V tabulce č. 22 se nachází analytická specifikace NDIR analyzátoru.

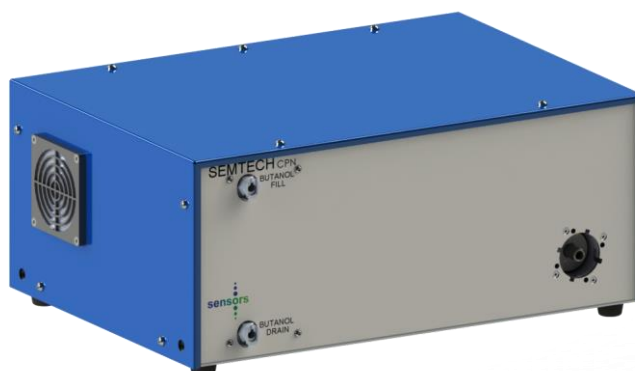
Tab. 22.: Přesnost analyzátoru NDIR [31][45]

Analytické specifikace		
Parametr	CO	CO ₂
Maximální rozsah	0 - 8 vol %	0 - 18 vol %
Rozlišení	10 ppm	0,01 % obj. CO ₂
Přesnost	≤ 1 %	≤ 1 %



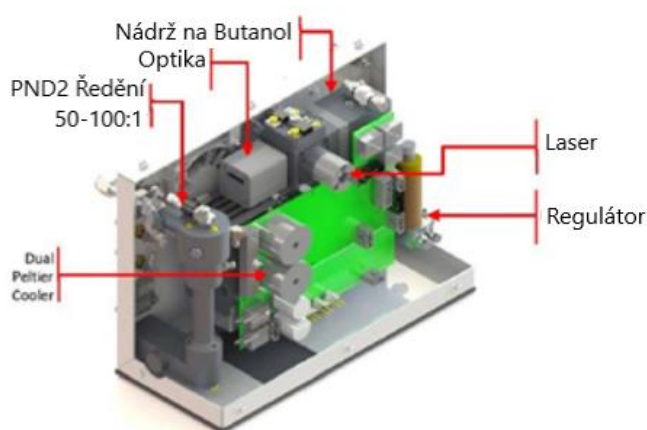
15.1.3 SEMTECH CPN – čítač částic

Zařízení CPN (*angl. Continuous Particle Number*) je zařízení pro kontinuální měření pevných částic, které měří celkový počet částic přítomných ve vzorku aerosolu. Čítač částic je analyzátor pracující v reálném čase, sekundu po sekundě optimalizovaný pro použití s motory s vnitřním spalováním paliva.



Obr. 67.: zařízení CPN od americké firmy Sensors [56]

CPN integruje čítač kondenzačních částic do nízkoenergetického, malého objemu, který umožňuje PEMS vyhodnocení. V horní a dolní části zařízení je vstup pro doplnění, resp. vypuštění butanolu (zařízení se nachází na obrázku č. 67). Nádobka butanolu má objem 5 ml (výrobce udává až celodenní měření na jedno doplnění). Z praktického hlediska je ideální nádobku doplnit jednou za 3 hod (cca dvě RDE jízdy).



Obr. 68.: Schéma CPN [56]

Vzorek se nejdříve zředí horkým ředícím vzduchem, který se odebere ke katalytickému odstranění těkavých částic VPR (*angl. Volatile Particle Removal*) a následuje sekundární (PND2) ředění před promícháním s butanolem. Poté se aerosol ochladí a zrychlí na vysokou rychlost do laserového světelného paprsku. Každá kondenzovaná přichodící kapička částic přicházející do paprsku způsobuje narušení intenzity paprsku, která se snímá v reálném čase detektorem rozptýleného světla.



Výsledky jsou uváděny jako částice PN. Jelikož je toto zařízení náchylné na teploty, je důležité je během testu hlídat. Například přehřátí butanolu vede k neplatnosti jízdy, jelikož analyzátor nepracuje správně.

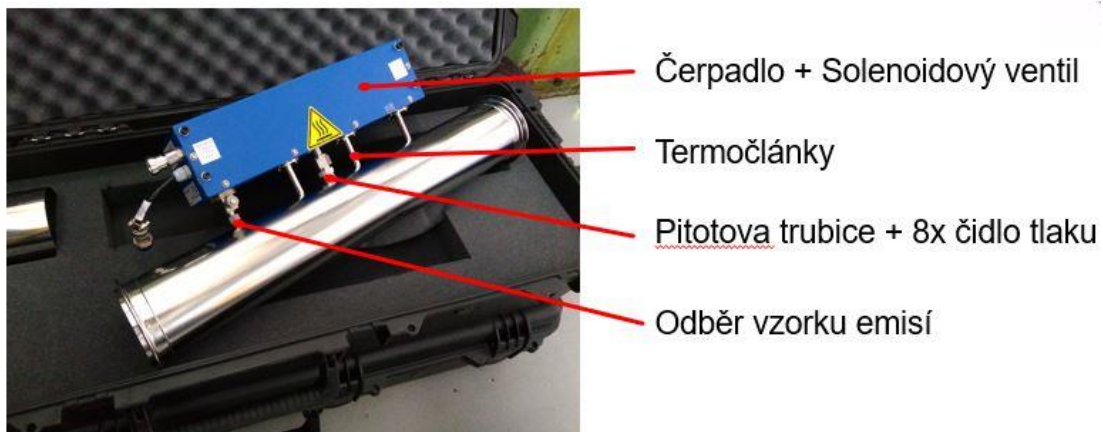
Integrovaný systém odběru vzorků sestávající z vyhřívaného konstantního ředění (dva ředící poměry) při zajištění odstranění těkavých částic. Toto zařízení pracuje s velmi vysokou korelací pro měření PN (velikost > 23 nm). Využívá účinné modulární vyhřívané vzorkovací linky. Výsledky jsou pak uvedeny jako koncentrace částic PN [# /cm³]. [31]

Vyhodnocení pomocí CPN v bodech:

- 1) Primární ředění horkým vzduchem (10-20:1)
- 2) Katalytické odstranění těkavých látek
- 3) Sekundární ředění (30-100:1)
- 4) Smíchání s butanolem
- 5) Ochlazení vzorku
- 6) Urychlení na vysokou rychlost
- 7) Průchod přes laserový paprsek
- 8) Detekce rozptýleného světla
- 9) Analýza koncentrace částic PN [# /cm³]

15.1.4 SEMTECH EFM4 – výfukový průtokoměr

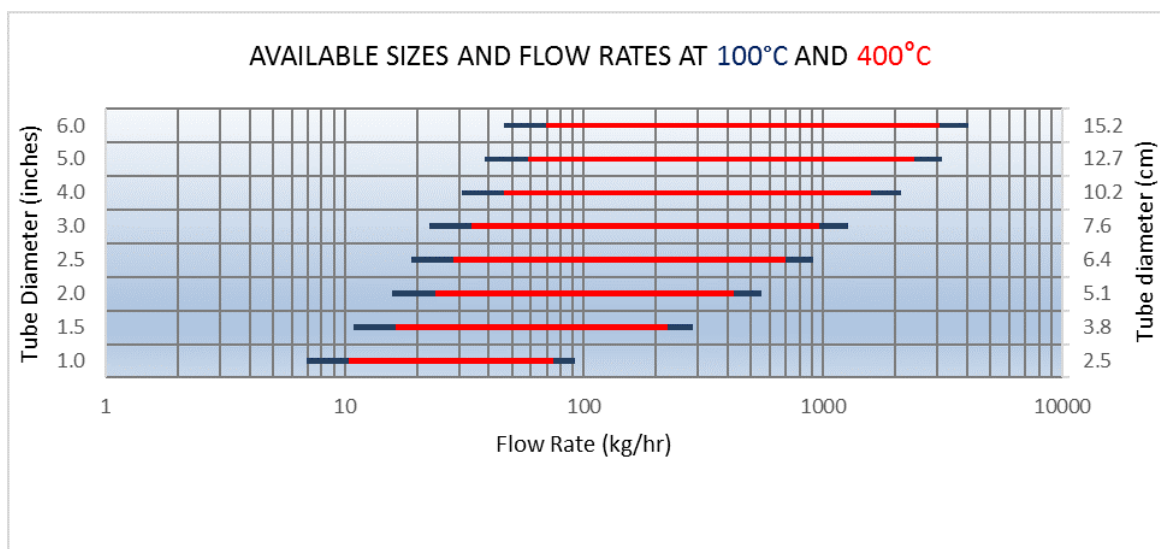
Průtokoměr je první část měřicího zařízení, která přichází do kontaktu s výfukovými plyny a následně je distribuována do dalších částí měřicího zařízení (na obrázku č. 69 je 2" průtokoměr použitý v této práci). Princip je založen na hmotnostním průtoku výfukových plynů. Pracuje podle Bernoulliho principu pomocí průměrovacích pitotových zkumavek. Průtokoměr je složen z pěti vysoce výkonných, dvoustupňových, diferenciálních tlakových převodníků, které umožňují provoz přes široký dynamický rozsah. Nejčastěji se upevňuje přímo na SCS modul, ale při specifickém použití je možné využít připojení elektricky a pneumaticky pomocí kabelového svazku s vyhřívaným vedením. Jelikož jsou na trhu vozidla s různými objemy motorů, je potřeba volit vhodný průměr průtokoměru dle stupnice, kterou udává výrobce (tabulka č. 23). Nabízejí se průtokoměry od 1" až po 5" (čím větší průměr, tím větší průtoky výfukových plynů). [31]



Obr. 69.: SEMTECH EFM průtokoměr

Tab. 23.: Průtokoměry a jejich rozsahy [31]

Průtok				
Teplota	100 °C		400 °C	
Průměr průtokoměru(")	Minimální průtok(kg/h)	Maximální průtok(kg/h)	Minimální průtok(kg/h)	Maximální průtok(kg/h)
1	6.9	85.0	10.4	64.0
1.25	8.9	217.0	13.4	162.0
1.5	10.9	276.0	16.4	208.0
2	15.8	535.0	23.9	402.0
2.5	18.9	890.0	28.4	670.0
3	22.5	1250.0	34.0	930.0
4	30.7	2080.0	46.3	1550.0
5	38.6	3115.0	58.2	2345.0



Obr. 70.: Schématické znázornění rozsahů jednotlivých průtokoměrů [31]



15.1.5 SEMTECH ICM – řídicí modul

Řídicí modul ICM slouží ve vozidle jako podpora řidiče a komunikační platforma s vozidlem. Jedná se o zařízení drobných rozměrů, které propojuje PEMS s OBD portem vozidla (viz. obrázek č. 71). Je umístěn v blízkosti řidiče a disponuje dvěma tlačítky. Jedno slouží jako *Kill Button* (tlačítko pro okamžité odpojení od napájení) a druhé slouží pro označení určitého úseku či akcelerace, které chce řidič zaznamenat. Tento údaj o stisku vidí následně technik při vyhodnocení a usnadňuje analýzu dat. Často se jej využívá, pokud je třeba změřit emise ve stoupání a označit tak přesné okno kalkulovaných emisí.



Obr. 71.: Řídicí modul ICM

ICM disponuje OBD portem, který po připojení k vozidlu detekuje protokol vozidla a přenosovou rychlost. Systém byl navrhnut primárně pro nové emisní normy, pracuje tedy s OBD zásuvkami od normy Euro 5 (starší normy bohužel není možné detekovat). Pomocí ICM jsou promítány během testu data z vozidla, konkrétně otáčky motoru a teplota chladící kapaliny. [31]



15.1.6 SEMTECH GPS

Nezbytnou součástí celého zařízení je GPS lokátor, který je připevněn na vnější část karoserie pomocí magnetu (ukázka uchycení na vozidlo je na obrázku č. 72). Data, která jsou zaznamenána, zahrnují datum, čas, zeměpisnou šířku a délku, nadmořskou výšku a rychlost vozidla.



Obr. 72.: GPS lokátor GARMIN

15.1.7 VAISALA HSP155 teplotní čidlo

Teplotní čidlo se upevňuje pomocí přísavek na zadní nebo boční okno automobilu. Při měření je to na první pohled jeden z nejvýraznějších prvků na měřeném vozu. Teplotní sonda se nachází ve speciálním obalu, který sondu chrání před teplotními výkyvy, které hrozí z náporového vzduchu.



Obr. 73.: Teplotní čidlo VAISALA HSP155



15.1.8 Napájení PEMS zařízení

Zařízení PEMS pracuje s napájecím napětím 12 V. Řeší se pro dva stavy (napájení během měření a na přípravě). V přípravě, kdy PEMS běží, musí být permanentně připojen na zdroj. Využívá se k tomu továrně dodávaný zdroj dodávající 120 A při 12 V, což je pro napájení PEMS dostatečné. Na obrázku č. 74 je napájecí zdroj SENSORS SEMTECH.



Obr. 74.: SEMTECH napájecí zdroj 12V/ 120A

Při měření RDE je PEMS napájen externí baterií, která musí vydržet minimálně 2 hodiny bez poklesu napětí. Každá měřicí akreditovaná stanice má svůj vlastní postup, ale zcela běžně se používá běžná olověná 12 V baterie s dostatečnou kapacitou, která je podobná té z automobilu. Nejčastěji se umísťuje do kufru, ale v případě, že to není možné, je možné ji umístit i jinam, její umístění není legislativně stanoveno. Na obrázku č. 75 jsou vyobrazeny baterie používané při měřeních popsaných v této diplomové práci.



Obr. 75.: Olověná baterie používaná pro napájení PEMS



15.1.9 Prostředí SENSOR Tech-PRO

Pomocí tohoto prostředí se uskutečňuje veškerá komunikace s PEMS. Propojení funguje bezdrátově pomocí Wi-Fi. Preferuje se propojení s počítačem, ale je možné navázat komunikaci i pomocí tabletu či mobilního telefonu. Na obrázku č. 76 je pohled na hlavní stránku programu. Na hlavní stránce dominuje panel s analyzátory a čidly PEMS, které ukazují aktuální hodnoty a jeho stav. V horní části je indikace s názvem měřeného testu a aktuální čas záznamu.

Po rozkliknutí ikona nabízí čtyři možnosti:

- *Standby*
- *Calibration*
- *Ambient*
- *Sample*

Toto jsou čtyři stavy PEMS, které se během měření používají a přepínají. *Standby*, neboli pauza, značí stav, kdy PEMS běží, ale nekoná měření. *Calibration* je kalibrace a využívá se jí před nebo po testu pro kalibraci analyzátorů. *Ambient* slouží k profukování čerstvým vzduchem a *Sample* (vzorek) slouží během testu k zaznamenávání a sběru dat.



Obr. 76.: Řídicí rozhraní SENSOR Tech-PRO

V levém sloupci je správa, ovládání, založení a uložení testu, nastavení času, zeměpisného pásma, *Time Alignment* a operační rozhraní. Během testu je možné sledovat vývoj, dynamiku, čas jízdy a stav vyprodukovaných emisí. Tato data lze sledovat pod ikonami *Trip Composition* a *Live Mass Emission*. Na obrázku č. 77 je průběh *Trip Composition*, který je důležité hlídat před koncem testu, jelikož z něho lze vyčíst aktuální stav jízdy a zda vychází veškeré hlídané složky [*Pass* (splněno)/*Fail* (nesplněno)].



Obr. 77.: Slouží k sledování dat při jízdě slouží Trip Composition

Důležité informace o voze poskytuje okno *Vehicle Communications*, které zobrazuje informace o teplotě okolí, otáčkách motoru, rychlosti vozidla a další hodnoty. Během této diplomové práce byl problém u první generace vozu Škoda Fabia I s nefunkčností tohoto okna. Data jsou získávána přes OBD II rozhraní a následně bylo zjištěno, že PEMS nepodporuje OBD II pracující pomocí protokolu ISO9141. Tento problém přetrvával až do druhé generace vozu Fabia II. Od roku 2010, kdy byla představena Škoda Fabia II facelift přešla automobilka na protokol ISO 15765-4, který komunikaci podporuje. Měření bez propojení s OBD II je možné, avšak při vyhodnocení nejsou poskytnuty údaje z *Vehicle Communications*.



15.2 Příloha B - CD

15.2.1 Seznam přiložených souborů s výsledky

15.2.2 Fabia I

- F1_RDE_B-t.xlsm
- F1_RDE_B-t.2.xlsm
- F1_RDE_A-t.xlsm
- F1_RDE_A.-s.xlsm
- Validace_F1.xlsm

15.2.3 Fabia II

- F2_RDE_B-t.xlsm
- F2_RDE_B-t.2.xlsm
- F2_RDE_A-t.xlsm
- F2_RDE_A.-s.xlsm
- Validace_F2.xlsm

15.2.4 Fabia III

- F3_RDE_B-t.xlsm
- F3_RDE_B-t.2.xlsm
- F3_RDE_A-t.xlsm
- F3_RDE_A.-s.xlsm
- F3_RDE_3xWLTC.xlsm
- Validace_F3.xlsm
- F3_RDE_3xWLTC.xlsm

15.2.5 Fotogalerie laboratorního vybavení a měřících přístrojů

- Obr. A.1 Válcová brzda MAHA AIP-ECDM 4x4
- Obr. A.2 Ventilátor AIP-AIR 33/120 a monitor
- Obr. A.3 Směšovací komora HORIBA, kde se mísí výfukové plyny a ředící vzduch
- Obr. A.4 Horní část obsahuje plnoprůtočný ředící tunel Horiba CVS
Uprostřed jsou filtry pro čištění ředícího vzduchu
V dolní části je odtahový ventilátor
- Obr. A.5 Vlevo odběrové zařízení na PM
Vpravo analyzátor uhlovodíků (vyhříváný) a NO_x
- Obr. A.6 Čítač částic AVL
- Obr. A.7 Analyzátor Horiba Mexa-ONE-C2-OV



- Obr. A.8 Odběrové vaky pro jednotlivé analyzované složky
- Obr. A.9 Operační panel vah DINI ARGEO TPRP GB-1461
- Obr.A.11 PEMS MAHA
- Obr.A.12 PEMS HORIBA

Všechny soubory jsou přiloženy pouze v elektronické podobě



16 Seznam obrázků

Obr. 1.: Vývoj emisních limitů NO _x od roku 2000 po současnost	13
Obr. 2.: Emisní požadavky na vozidla [13]	14
Obr. 3.: Časová osa vzniku emisních norem [2]	17
Obr. 4.: Válcový dynamometr MAHA-VTP Roztoky	19
Obr. 5.: Válcový dynamometr Na Julisce	19
Obr. 6.: Absorbční spektra [35].....	21
Obr. 7.: Nedisperzní infračervený analyzátor NDIRA [22].....	22
Obr. 8.: Nedisperzní ultrafialový analyzátor NDUV [22].....	22
Obr. 9.: Kondiční hala v centru udržitelné mobility VTP Roztoky.....	25
Obr. 10.: Ukotvení vozu na válcovém dynamometru	28
Obr. 11.: Harmonogram emisních norem s postupnou implementací RDE [47].....	29
Obr. 12.: Množství legislativních nařízení k normě Euro 6d [47]	30
Obr. 13.: Conformity Factor pro dané znečišťující látky v aktuální platnosti [16]	33
Obr. 14.: Rychlost vozidla v čase – Průměrné emise vozidla v čase [16].....	37
Obr. 15.: Vymezení průměrovacích okének na základě hmotnosti CO ₂ [16]	37
Obr. 16.: Charakteristická křivka CO ₂ ohraničená křivkami pro validnost testu [16]	38
Obr. 17.: Ukázka MAW vyhodnocení z programu SENSOR Tech-CT LDV.....	39
Obr. 18.: Ověření platnosti jízdy [16].....	39
Obr. 19.: PEMS firmy SENSORS umístěný na vozidle	40
Obr. 20.: PEMS firmy AVL	41
Obr. 21.: Ukázka sestavy pro měření emisí na traktoru včetně FID modulu.....	42
Obr. 22.: PEMS na tažném zařízení: vozidlo Škoda Fabia I	43
Obr. 23.: PEMS umístěný ve vozidle: vozidlo Škoda Fabia II	44
Obr. 24.: Spojovací materiál, který se využívá na napojení výfuku.....	45
Obr. 25.: Vlevo – vlnovce, spony a redukce	45
Obr. 26.: Vpravo – způsob napojení na 2“ průtokoměr	45
Obr. 27.: Sestava SENSORS SEMTECH.....	46
Obr. 28.: Škoda Fabia I 1.4 16V 2004	48
Obr. 29.: Škoda Fabia II 1.2 TSI 2011	49
Obr. 30.: Škoda Fabia III 1.0 TSI 2017	50
Obr. 31.: Mapa trasy RDE A [32]	52
Obr. 32.: Mapa trasy RDE B [32].....	53
Obr. 33.: Kontrolní protokol pro vůz Škoda Fabia III.....	56
Obr. 34.: Vlevo zástavba do vozu Škoda Fabia III	57
Obr. 35.: Vpravo Škoda Fabia I s PEMS na tažném zařízení.....	57
Obr. 36.: Vlevo uchycení PEMS včetně izolačních materiálů ve voze Škoda Fabia III	58
Obr. 37.: Vpravo uchycení ve vozidle Škoda Fabia II.....	58
Obr. 38.: umístění teplotní sondy (2) a GPS (1) na vozidle Škoda Fabia II	58



Obr. 39.: Aktivní Rollen mode	59
Obr. 40.: Rollen mode neaktivní	59
Obr. 41.: Vlevo schéma zapojení pneumatického kapacitátoru, 1- EFM,	61
Obr. 42.: Vpravo reálná aplikace na vozidle Škoda Fabia III	61
Obr. 43.: Kalibrační plyny v obslužném vozíku při jedné z kalibrací	61
Obr. 44.: Požadavek průtokoměru a analyzátorů na vynulování	62
Obr. 45.: nulování průtokoměru pomocí ikony Zero Pressures	62
Obr. 46.: Time Alignment pro jeden z měřených vozidel	63
Obr. 47.: Princip zapojení solenoidu pro Time Alignment	63
Obr 48.: Sample Purge Solenoid [46]	64
Obr. 49.: Doplnění Butanolu před testem	64
Obr. 50.: Kontrolní list pro měřený test	65
Obr. 51.: Komunikace PEMS a všech podpůrných složek [46]	66
Obr. 52.: Vozidlo Škoda Fabia III před měřenou jízdou	67
Obr. 53.: Rozhraní vyhodnocovacího programu SENSOR Tech-CT LDV pro vložení naměřených dat	68
Obr. 54.: Rozhraní vyhodnocovacího programu SENSOR Tech-CT LDV	69
Obr. 55.: Strom vyhodnocení výsledků [29]	69
Obr. 56.: Vyhodnocení odchylek analyzátorů u vozu Škoda Fabia III	70
Obr. 57.: Shrnutí měřené jízdy s vozem Škoda Fabia III	70
Obr. 58.: Názorná ukázka vyhodnocení v MS Excel u jednoho z vzorků	71
Obr. 59.: Schéma válcového dynamometru na měření emisí [35]	72
Obr. 60.: Vážení měřeného vozu Škoda Fabia I na kondiční hale	73
Obr. 61.: Stav filtrů po měření s vozidlem Fabia I	80
Obr 62.: Stav filtrů po měření s vozidlem Fabia II	82
Obr. 63.: Stav filtrů po měření s vozidlem Fabia III	85
Obr. 64.: Vyobrazení křivky cyklu během měřeného testu	92
Obr. 65.: Výsledná dynamika jízdy 3xWLTC	93
Obr. 66.: V horní části GAS a ve spodní SCS [31]	95
Obr. 67.: zařízení CPN od americké firmy Sensors [56]	97
Obr. 68.: Schéma CPN [56]	97
Obr. 69.: SEMTECH EFM průtokoměr	99
Obr. 70.: Schématické znázornění rozsahů jednotlivých průtokoměrů [31]	99
Obr. 71.: Řídící modul ICM	100
Obr. 72.: GPS lokátor GARMIN	101
Obr. 73.: Teplotní čidlo VAISALA HSP155	101
Obr. 74.: SEMTECH napájecí zdroj 12V/ 120A	102
Obr. 75.: Olověná baterie používaná pro napájení PEMS	102
Obr. 76.: Řídící rozhraní SENSOR Tech-PRO	103
Obr. 77.: Slouží k sledování dat při jízdě slouží Trip Composition	104



17 Seznam tabulek

Tab. 1.: základní parametry cyklů NEDC a WLTP [11]	26
Tab. 2.: Požadavky pro validnost RDE zkoušky	32
Tab. 3.: Vybraná vozidla pro experimentální část	48
Tab. 4.: Parametry jízd RDE	51
Tab. 5.: Plán jízd sestavených pro experimentální měření.....	51
Tab. 6.: Volba průtokoměru u měřených vzorků	60
Tab. 7.: Maximální možné odchylky analyzátorů od původních hodnot během testu [17]	67
Tab. 8.: Naměřené hodnoty měřených vzorků.....	74
Tab. 9.: Koeficienty jízdních odporů použité na válcovém dynamometru	75
Tab. 10.: Vyhodnocení validace u vozidla Škoda Fabia I.....	75
Tab. 11.: Výsledky validace jednotlivých experimentálních vozidel.....	75
Tab. 12.: Výsledné hodnoty z CO ₂ referenční.....	76
Tab. 13.: Spotřeby paliva v l/100 km jednotlivých jízd	77
Tab. 14.: Výsledné emise experimentálních jízd u vozu Škoda Fabia I.....	78
Tab. 15.: Výsledné emise experimentálních jízd u vozu Škoda Fabia II.....	81
Tab. 16.: Výsledné emise experimentálních jízd u vozu Škoda Fabia III.....	82
Tab. 17.: Přehled naměřených hodnot s porovnáním vzhledem k původní legislativě	87
Tab. 18.: Výsledné hodnoty CF pro NO _x	88
Tab. 19.: Výsledné hodnoty CFr pro NO _x	89
Tab. 20.: Analytická specifikace SCS zařízení [31].....	96
Tab. 21.: Přesnost analyzátoru NDUV [31][45].....	96
Tab. 22.: Přesnost analyzátoru NDIR [31][45]	96
Tab. 23.: Průtokoměry a jejich rozsahy [31]	99



18 Seznam grafů

Graf 1.: Homologační cyklus NEDC [40].....	24
Graf 2.: Homologační cyklus WLTC pro vozidla od normy Euro 6.....	26
Graf 3.: Porovnání jízdních cyklů NEDC a WLTP [34]	27
Graf 4.: Výškový profil trasy RDE A.....	52
Graf 5.: Rychlostní profil trasy RDE A	53
Graf 6.: Výškový profil trasy RDE B.....	54
Graf 7.: Rychlostní profil trasy RDE B.....	54
Graf 8.: Kumulativní tvorba CO na trase RDE B-t s vozem Škoda Fabia I	78
Graf 9.: Kritické místo ovlivňující výrazně vývoj CO	79
Graf 10.: Kumulativní vývoj emisí CO u jízd RDE B s vozem Škoda Fabia I.....	79
Graf 11.: Kumulativní tvorba NO _x na trase RDE A-t s Fabii I.....	80
Graf 12.: Kumulativní vývoj emisí CO při testu RDE B-t a RDE B-t.2 s vozem Fabia II.....	81
Graf 13.: Srovnání teplé a studené jízdy na trase RDA A u vozu Fabia III	83
Graf 14.: Srovnání kumulativní tvorby NO _x u měřených testů RDE B-t a RDE B-t.2 vozu Fabia III	84
Graf 15.: Vývoj PN v jednotlivých fázích WLTC u měřeného vzorku.....	84
Graf 16.: Sloupcové srovnání experimentálních měření pro CO	85
Graf 17.: Sloupcové srovnání experimentálních měření pro NO _x	86
Graf 18.: Sloupcové srovnání experimentálních měření pro PN	87
Graf 19.: Výsledné hodnoty CF měřených jízd pro NO _x	88
Graf 20.: Výsledné hodnoty CF měřených jízd pro PN.....	89
Graf 21.: Výsledné srovnání CF a C _{Fr} faktorů	90
Graf 22.: Návrh testu 3xWLTC pro reprodukci RDE na válcovém dynamometru.....	91



19 Použitá literatura

- [1] SAJDL, PH.D., Ing. Jan. *Emisní norma EURO* [online]. [cit. 2020-09-06]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro
- [2] DELPHI TECHNOLOGIES. *Worldwide emissions standards: Passenger Cars & Light-Duty Vehicles 2019-2020* [online]. [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://www.delphi.com/sites/default/files/2019-05/2019-2020%20Passenger%20Car%20&%20Light-Duty%20Vehicles.pdf>
- [3] RYBECKÝ, Vladimír. *Přehled o WLTP, RDE a Euro 6d-TEMP* [online]. 15.08.2018 [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: <https://www.autonoviny.cz/clanek/34612-prehled-o-wltp-rde-a-euro-6d-temp>
- [4] DITTRICH, Lukáš. Normované měření spotřeby dnes a zítra: Ztratí start/stop smysl?. *Autorevue* [online]. [cit. 2020-09-05]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/normovane-mereni-spotreby-dnes-azitra-ztrati-start/stop-smysl>
- [5] Oxidy dusíku [online], 5 [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf
- [6] Oxid uhličitý [online], 5 [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/oxid_uhlicity.pdf
- [7] Oxid uhelnatý [online], 4 [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/oxid_uhelnaty.pdf
- [8] What is the real driving emissions (RDE) test?. *Car Emissions Testing Facts* [online]. [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: <http://www.caremissionstestingfacts.eu/rde-real-driving-emissions-test/>
- [9] DUSIL, Tomáš. Nový homologační emisní test WLTP: Opravdu znamená konec lhaní?. *Auto.cz* [online]. [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/wltp-novy-homologacni-emisni-test-110305>
- [10] ICCT. *The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU* [online]. 10. 2014 [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_WLTP_EffectEU_20141029.pdf
- [11] MOCK, Peter, Jörg KÜHLWEIN, Uwe TIETGE, Vicente FRANCO, Anup BANDIVADEKAR a John GERMAN. *The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU* [online]. 2-4 [cit. 2020-09-05]. Dostupné z: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_WLTP_EffectEU_20141029_0.pdf
- [12] Aromatické uhlovodíky [online], 4 [cit. 2020-08-28]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/polycyklicke_aromaticke_uhlovodiky.pdf
- [13] ING. TRNKA, Luboš a TÜV SÜD Czech. *Měření emisí: Technika motorů a vozidel*. Praha, Říjen 2019. Interní prezentace.
- [14] SEVEN Energy s. r. o. a ČVUT v Praze Fakulta strojní / Centrum vozidel udržitelné mobility. *USKUTEČNĚNÍ KOMPLEXNÍHO TESTU EMISNÍCH CHARAKTERISTIK VYBRANÝCH OSOBNÍCH VOZIDEL*. Praha 2, Listopad 2016.
- [15] DITTRICH, Lukáš. Co přinesou následující roky z pohledu emisí a jejich měření? Opel nám dal odpověď. *Autobible.euro* [online]. 10. července 2018 [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/prinesou-nasledujici-roky-pohledu-emisi-mereni-opel-nam-dal-odpoved/>
- [16] EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EU. In: *1151/2017 EU* [online]. [cit. 2020-08-20]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1595719736562&uri=CELEX:32017R1151>



- [17] EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EU. In: *1832/2018 EU* [online]. [cit. 2020-08-20]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1595719797012&uri=CELEX:32018R1832>
- [18] HOOFTMAN, Nils, et al. A review of the European passenger car regulations—Real driving emissions vs local air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Duben 2018, 86: 1-21. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032118300182>
- [19] SUAREZ-BERTOIA, Ricardo, et al. On-road emissions of passenger cars beyond the boundary conditions of the real-driving emissions test. *Environmental research*, 2019, 176. ISSN 00139351. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001393511930369X>
- [20] Vyšetřování diselgate se vrací zpět do Evropy, zaměřuje se na Audi. *E15* [online]. 2. června 2017 [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/vysetrovani-diselgate-se-vraci-zpet-do-evropy-zameruje-se-na-audi-1333250>
- [21] ČERMÁK, Ladislav. Ojetá Škoda Fabia: Vsaďte na kombi a 1.2 TSi. *Autobible.cz* [online]. 12. 6. 2019 [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/srovnacni-test-3x-skoda-fabia-1-0/>
- [22] TAKÁTS, Michal. *Měření emisí spalovacích motorů*. CVUT Praha, 1997. ISBN 8001016323.
- [23] Ojetá Škoda Fabia: Vsaďte na kombi a 1.2 TSi. *AutocZ* [online]. 22. 7. 2014 [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/ojeta-skoda-fabia-vsadte-na-kombi-a-1-2-tsi-82241>
- [24] Škoda Fabia 1.4 16V 55kW. *Skoda.katalog-automobilu* [online]. [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: <http://skoda.katalog-automobilu.cz/automobil/skoda-fabia-1-4-16v-55kw>
- [25] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. Statistika II. pol./2019. [online]. 8. January. 2020 [cit. 2020-08-19]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika?returl=/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel>
- [26] HRABICA, Pavel. Vozidla poslední záchrany“ zvyšují průměrné stáří aut. *Metro.cz* [online]. 16. června 2020 [cit. 2020-08-30]. Dostupné z: https://www.metro.cz/vozidla-posledni-zachrany-zvysuji-prumerne-stari-aut-pph-/domov.aspx?c=A200615_161303_metro-region_hyr
- [27] Kyveta. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kyveta>
- [28] FIRST, Jiří. Zkoušení automobilů a motocyklů: Příručka pro konstruktéry. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5. [cit. 2020-08-25]
- [29] *SENSOR Tech-CT HDV NRMM: Post Processor Manual*. 9510-219. Sensors Europe GmbH, Únor 2019, 82 s. Interní dokument TÜV SÜD Czech.
- [30] *SEMTECH CPN PEMS Analyzer: Quick Start Reference Manual*. 2.4. Sensors Europe GmbH, Únor 2017, 37 s. Interní dokument TÜV SÜD Czech
- [31] *Quotation for a Portable Emission Measurement System (PEMS): SEMTECH DS+ . SE-20191216-OF.084-1*. Sensors Europe GmbH, 16. Prosince 2019n. l., 29 s. Interní dokument TÜV SÜD Czech.
- [32] *MAPY CZ: Mapy Česká republika* [online]. [cit. 2020-08-27]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.5148000&y=50.0766000&z=11>
- [33] Polétavý prach [online], 3 [cit. 2020-08-28]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/poletavy_prach.pdf
- [34] ŽAHOUR, Jiří, Jindřich KŘIVKA a Kamil KOSTURIK. *Emisní testy nezávislého systému pro redukci NOx* [online]. Plzeň, 2018 [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/30746/3/Zahour.pdf>. Výzkumný článek. Západočeská univerzita v Plzni.



- [35] ING. TRNKA, Luboš., 1-emise-analyzatory-SK-prac, TÜV SÜD Czech, Praha, 2019-06-11.
- [36] DÜSER, Tobias, Hans OLMS, Anita HAASE, Roland VON GAVEL, Christoph SCHMIDT a Uwe SCHMIDT. *Vehicle Chassis Dynamometer: Units under test*. Süddeutscher Verlag onpact. Mnichov, 2011
- [37] BERÁNEK, Ing. Vít. *Hodnocení dopadů nových paliv a technologií na emise částic ze zážehových motorů*. 2016. DISERTAČNÍ PRÁCE. ČVUT Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Michal Vojtíšek, M.S., Ph.D.
- [38] JENNE, Diana. *CHEMAGAZÍN: SPECIÁLNÍ PLYNY A EVROPSKÁ EMISNÍ NORMA EURO 6* [online]. In: . 6 [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: https://www.linde-gas.cz/en/images/CHEMAGAZ%C3%8DN%206-2014_tcm78-151968.pdf
- [39] FIRST, Jiří. *Energetická analýza pozemní dopravy: Systémy přeměny energií*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05664-6. [cit. 2020-08-28]
- [40] Pohonné hmoty. In: AUTOCZ [online]. [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: <http://towipage.webzdarma.cz/spotreba.html>
- [41] Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC). DieselNet: Emission Standards [online]. [cit. 2020-08-26]. Dostupné z: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>
- [42] Real Driving Emissions (RDE). www.avl.com [online]. [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: <https://www.avl.com/real-driving-emissions-rde>
- [43] ADACHI, Masayuki a Hiroshi NAKAMURA. *Engine Emissions Measurement Handbook: HORIBA Automotive Test Systems*. [cit. 2020-05-12] Warrendale, Pennsylvania, USA, 2014.
- [44] Emisní normy v případě Skoda Fabia: Emise. *Autatua* [online]. 2015 [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: <http://autatua.com/emise/skoda/fabia.html>
- [45] *Měření emisí v běžném provozu (RDE) pomocí přenosných zařízení (PEMS): Základní laboratorní technika* [online]. [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: https://www.tuv-sud.cz/cz-cz/odvetvi/automobilovy-prumysl/vyrobcivozideloem/emise/mereni-emisi-v-beznem-provozu-rde#tab_1532522116771922960725
- [46] *SEMTECH LDV: Light Duty Vehicle PEMS Analyzer*. 9510-167. 3.20. Duben 2017, 164 s. Interní dokument TÜV SÜD Czech.
- [47] HOFEGGER, Werner. *AVL POWERTRAIN ENGINEERING TECHDAY #4: Emissions legislation update from WLTP/RDE to EU7* [online]. Srpen 2017 [cit. 2020-09-07]. Dostupné z: https://www.avl.com/documents/5490654/6605769/AVL+PTE+Techday+%234_03_Emissions+legislation+update+WLTPrde-EU7_Hofegger
- [48] ACHTENOVÁ, Gabriela Achtenová a Vojtěch KLÍR. VÁLCOVÁ BRZDA MAHA. *Aktualne.cvut* [online]. 19.11.2015 [cit. 2020-09-07]. Dostupné z: <https://aktualne.cvut.cz/zpravy-z-medii/20151119-valcova-brzda-maha>
- [49] Real Driving Emissions. In: *HORIBA* [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.horiba.com/horiba/automotive-test-systems/real-driving-emissions/>
- [50] DÖRNFELDER, Andreas. *VW-Skandal als unverhoffter Umsatzbringer: Mobiler Abgasmesser von Maha* [online]. In: . 7.4.2016 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/pems-boom-dank-dieselgate-vw-skandal-als-unverhoffter-umsatzbringer/13417892.html?ticket=ST-572358-oyCgkVvYEV4JymEQfIFq-ap2>