



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

**Nekonvenčný spôsob hodnotenia
emisného chovania vozidiel v reálnej
prevádzke**

**Unconventional method for evaluation of
vehicles emission under real driving
conditions**

**DIPLOMOVÁ PRÁCA
2021**

Bc. Filip HUDAČEK

Studijní program: N0716A270001 Dopravní a transportní technika

Specializace: N071TMVO Motorová vozidla

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

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hudaček** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **452805**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Dopravní a transportní technika**
Specializace: **Motorová vozidla**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Nekonvenční způsob hodnocení emisního chování vozidel v reálném provozu

Název diplomové práce anglicky:

Unconventional method for evaluation of vehicles emission under real driving conditions

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte přehled možných způsobů hodnocení emisního chování vozidel v reálném provozu. Uveďte v současnou dobu platné legislativní požadavky a z toho vyplývající podmínky na provádění měření emisí. Navrhněte způsob měření emisí vozidel za provozu bez přímého využití analyzátoru. Na základě nově uvažované metodiky vytvořte návrh zařízení včetně dokumentace pro výrobu prototypu, který bude následně sestaven. Vypovídací schopnost měření s takovýmto zařízením ověřte experimentálně.

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: **14.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **14.07.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **19.09.2021**

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

doc. Ing. Oldřich Vítek, 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.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotačný list

Meno autora:	Bc. Filip Hudaček
Názov práce:	Nekonvenčný spôsob hodnotenia emisného chovania vozidiel v reálnej prevádzke
Anglický názov:	Unconventional method for evaluation of vehicles emission under real driving conditions
Akademický rok:	2020/2021
Študijný program:	N0716A270001 Dopravní a transportní technika
Ústav:	12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
Vedúci bakalárskej práce:	Ing. Vojtěch Klír, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet strán: 88 Počet obrázkov: 39 Počet príloh: 3
Kľúčové slová:	Prenosný merací systém emisií PEMS, Meranie emisií v reálnej prevádzke RDE, Európske emisné normy Euro, Analyzátory emisií, NEDC, WLTP
Keywords:	Portable emissions measurement system PEMS, Real driving emissions RDE, European emission standards, Emission analyzers, NEDC, WLTP

Abstrakt

Táto diplomová práca je zameraná na nekonvenčný spôsob hodnotenia emisného chovania vozidiel v reálnej prevádzke. V úvode práce je predstavená problematika zloženia emisií výfukových plynov pri meraní emisií osobných a ľahkých úžitkových vozidiel v reálnej prevádzke, aktuálne spôsoby hodnotenia týchto emisií a legislatívne požiadavky na priebeh a limity nameraných emisií výfukových plynov. V ďalšej časti práce je popísaný návrh a výroba zariadenia na odber a uskladnenie výfukových plynov osobných a ľahkých úžitkových vozidiel pre ich následnú analýzu v laboratórnych podmienkach. V závere práce je overená funkčnosť a vypovedajúca schopnosť tohoto zariadenia a výsledky sú porovnané s hodnotami nameranými pomocou homologovaného zariadenia PEMS.

Abstract

This diploma thesis is focused on an unconventional way of evaluating the emission behaviour of vehicles in real driving conditions. In the introduction of the thesis, the problem of exhaust emissions composition in the measurement of passenger and light commercial vehicle emissions in real driving conditions, the current methods of evaluation of these emissions and the legislative requirements for the course and limits of measured exhaust emissions are presented. The next part of the thesis describes the design and manufacture of device for the collection and storage of exhaust gases of passenger cars and light commercial vehicles, for their subsequent analysis in laboratory conditions. In the conclusion of the thesis the functionality and the predictive capability of this device is verified and the results are compared with the values measured with the homologated PEMS device.

Podakovanie

Týmto by som sa chcel poďakovať vedúcemu diplomovej práce Ing. Vojtěchovi Klírovi, Ph.D. za odbornú pomoc a cenné pripomienky počas konzultácii, ale najmä za čas a podporu pri písaní diplomovej práce. Zároveň by som chcel poďakovať aj ostatným členom spolupracujúcim na tomto projekte, ktorí významnou mierou prispeli k jeho úspešnému dokončeniu.

Prehlásenie o autorstve

Čestne prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracoval samostatne, na základe svojich vedomostí, s využitím konzultácií a informačných zdrojov uvedených v zozname použitej literatúry.

.....
V Prahe dňa

.....
Podpis

Obsah

1	Zoznam použitých skratiek, symbolov a jednotiek.....	9
2	Úvod.....	11
3	Emisie spaľovacích motorov	13
3.1	Oxid uhličitý	15
3.2	Oxid uhoľnatý.....	16
3.3	Oxidy dusíka	16
3.4	Nespálené uhľovodíky	16
3.5	Pevné častice	16
3.6	Ďalšie emisie	17
4	Emisné normy v Európe	18
4.1	História.....	18
4.2	Súčasná norma.....	20
4.3	Budúcnosť emisných noriem	22
5	Skúšky typového schvaľovania	23
5.1	Skúška typu I. - Overenie priemerných výfukových emisií pri studenom štarte 23	
5.1.1	NEDC - (New European driving cycle).....	23
5.1.2	WLTP - (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure)	25
5.1.2.1	Spôsob odberu spalín.....	28
5.1.2.2	Analyzátory plyných emisií	29
5.1.2.3	Odber emisií tuhých častíc.....	29
5.1.3	Porovnanie NEDC a WLTC.....	30
5.1.4	Zavedenie emisnej skúšky v reálnej prevádzke (RDE)	31
6	Emisná skúška v reálnej prevádzke (RDE).....	33
6.1	Legislatívne požiadavky	33
6.1.1	Podmienky okolia.....	33
6.1.2	Dynamické podmienky.....	34
6.1.3	Stav a prevádzka vozidla	35
6.1.4	Požiadavky na jazdu	35
6.1.5	Prevádzkové požiadavky	36
6.1.6	Overenie platnosti skúšky RDE	36
6.1.7	Vyhodnocovanie	37
6.1.8	Neprekročiteľné limitné hodnoty emisií.....	38
6.1.9	Faktor zhody	38
6.2	Prenosný systém na meranie emisií (PEMS).....	39
6.2.1	Validácia systému PEMS	41
6.2.2	Typy bežne používaných zariadení PEMS	41
6.2.2.1	Zariadenie PEMS pre meranie plyných emisií	41

6.2.2.2	Zariadenie PEMS pre meranie emisií častíc.....	42
6.2.3	Analýzátory v zariadeniach PEMS.....	43
6.3	Priebeh emisnej skúšky RDE	44
7	Návrh zariadenia	45
7.1	Návrh systému odberu a ukladania spalín.....	45
7.2	Ideový návrh	47
7.3	Diagnostické rozhranie EOBD	48
7.4	Matematický model	48
7.4.1	GT Suite	48
7.5	Komponenty zariadenia	52
7.6	Model CAD	54
7.7	Výroba	57
7.8	Test odberu vzorky	62
8	Meranie.....	68
8.1	Voľba trasy pre experimentálne meranie.....	68
8.2	Experimentálne meranie	69
9	Vyhodnotenie.....	73
10	Záver	77
11	Zdroje.....	79
12	Zoznam obrázkov	83
13	Zoznam tabuliek.....	85
14	Zoznam grafov	86
15	Zoznam príloh	87
15.1	Príloha A - Zoznam základných komponentov zariadenia.....	87
15.2	Príloha B - Namerané hodnoty skúšky v laboratóriu.....	88
15.3	Príloha C - Namerané hodnoty skúšky RDE	88

1 Zoznam použitých skratiek, symbolov a jednotiek

SMMT	Society of Motor Manufacturers and Traders
NEDC	New European Driving Cycle (Nový európsky jazdný cyklus)
WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure (Celosvetovo odsúhlasený testovací štandard pre ľahké úžitkové vozidlá)
WLTC	Worldwide Harmonized Light-duty Vehicles Test Cycles
RDE	Real Driving Emissions (Emisie v reálnej prevádzke)
PEMS	Portable Emission Measurement System (Prenosný merací systém na meranie emisií)
UDC	Urban Driving Cycle (Mestský cyklus)
EUDC	Extra-Urban driving cycle (Mimo mestský cyklus)
EHK	Európska hospodárska komisia
OSN	Organizácia spojených národov
EÚ	Európska únia
CF	Conformity Factor (Koefficient zhody)
HEV	Hybrid Electric Vehicles (Hybridný elektromobil)
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicles (Plug-in hybridný elektromobil)
BEV	Battery Electric Vehicles (Elektromobil na batérie)
TWC	Three-way catalyst (Trojcestný katalyzátor)
CVS	Constant Volume Sampling (Systém odberu vzorky pri konštantnom objeme)
NDIR	Non-dispersive Infrared Analyser (Nedisperzný analyzátor sa absorpciou infračerveného pásma)
FID	Flame Ionization Detector (Plameňo-ionizačný analyzátor)
HFID	Heated Flame Ionization Detector (Ohrievaný plameňo-ionizačný analyzátor)
CLA	Chemiluminescent Analyzer (Chemiluminiscenčný analyzátor)
NDUV	Non-dispersive Ultra-Violet Analyser (Nedisperzný ultrafialový analyzátor)
NTE	Not-To-Exceed (Neprekročiteľné limitné hodnoty emisií)
GPS	Global Positioning System (Globálny lokalizačný systém)
EOBD	European On-Board Diagnostics (Palubná diagnostický systém pre európske vozidlá)
HC	Uhlíkovodíky
S	Síra
O ₂	Kyslík
N ₂	Dusík
H ₂ O	Voda
CO ₂	Oxid uhličitý
CO	Oxid uhoľnatý

NO _x	Oxidy dusíka
NO	Oxid dusnatý
N ₂ O	Oxid dusný
NO ₂	Oxid dusičitý
PM	Particulate Matter (Hmotnosť pevných častíc)
PN	Particle Number (Počet pevných častíc)
SO ₂	Oxid siričitý
SO _x	Oxidy síry
NH ₃	Amoniak
NMHC	Nemetánové uhľovodíky
CH ₄	Metán
COH	Oxid uhoľnatý s vysokým rozsahom
COL	Oxid uhoľnatý s nízkym rozsahom
λ	Súčiniteľ prebytku vzduchu
kg	Kilogram
g	Gram
mg	Miligram
km	Kilometer
m	Meter
mm	Milimater
nm	Nanometer
km/h	Kilometer za hodinu
m/s ²	Zrýchlenie
m.n.m.	Metre nad morom
s	Sekunda
l	Liter
kPa	Kilopascal
#	Počet
°C	Stupeň Celzia
W	Výkon
W/kg	Výkon na kilogram
A	Prúd
V	Napätie
ppm	Parts Per Million (Častíc na jeden milión)

2 Úvod

Neustály rozvoj automobilovej dopravy sa do určitej miery nepriaznivo podieľa na znižovaní kvality životného prostredia a zhoršovaní zdravia ľudí. Snahou spoločnosti chrániť zdravie ľudí a životné prostredie bolo zavedené legislatívne ošetrovanie emisií škodlivín spaľovacích motorov formou emisných noriem. Cieľom emisných noriem pre vozidlá je znížiť škodlivé emisie výfukových plynov z dopravy. Okrem znižovania emisií spaľovacích motorov poháňaných motorovým benzínom a naftou dochádza neustále k snahe nájsť alternatívne palivá a to nie len pre pohon osobných vozidiel. V súčasnosti sa môžeme v automobilovom priemysle stretnúť s niekoľkými druhmi pohonu. Medzi tie najzásadnejšie a najviac využívané alternatívne pohony v osobnej doprave môžeme zaradiť plynové, elektrické, hybridné a vodíkové [21].

Podľa SMMT (z angl. Society of Motor Manufacturers and Traders) by v dnešnej dobe muselo byť vyrobených približne 50 nových vozidiel, aby vyprodukovali rovnaké emisie škodlivých a znečisťujúcich látok ako jedno vozidlo v 70. rokoch minulého storočia [16]. Napriek poklesu emisií z cestnej dopravy však merací cyklus NEDC (z angl. New European Driving Cycle) nezodpovedal podmienkam, v ktorých sa pohybovali vozidla v reálnej prevádzke. Preto bol zavedený nový merací postup WLTP (z angl. Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure).

V rámci procedúry WLTP je súčasťou posledných legislatívnych noriem overovanie skúšobného cyklu na valcovej skúšobni testom v reálnej prevádzke (RDE z angl. Real Driving Emissions). Test sa vykonáva pomocou prenosných emisných analyzátorov (PEMS angl. Portable Emission Measurement System), splňujúcich normy EHK.

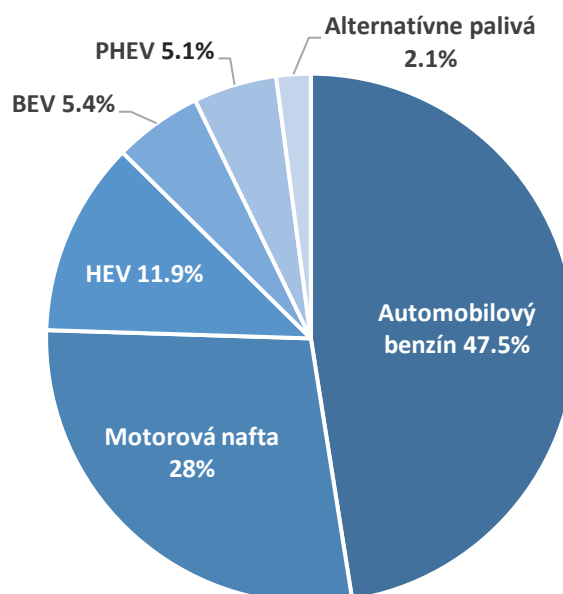
Implementácia analyzátorov škodlivých látok do systému PEMS je komplikovaná a z tohoto dôvodu býva často nevýhodou týchto prenosných systémov vysoká hmotnosť, komplikovaná manipulácia a kalibrácia. Náklady na ich zadováženie sú v množstve prípadov taktiež vysoké. Činnosť zariadení PEMS v rozličných nepriaznivých podmienkach vytvára jednu z ich najväčších komplikácií, ktorou je presnosť merania. Tá musí byť pre homologačné skúšky dostatočne vysoká, aby výsledky namerané týmito zariadeniami boli porovnateľné s meraniami na valcovom dynamometri. Rozdiel medzi

hodnotami nameranými v laboratóriu a v reálnej prevádzke sa má s vývojom zariadení PEMS znižovať, kým nebude dosiahnutá zhoda výsledkov týchto skúšobných postupov.

Táto práca je zameraná na problematiku skúšky RDE a systémov PEMS. Snahou bolo vytvoriť zariadenie, ktoré by bolo možné použiť na analýzu výfukových plynov v priebehu vývoja vozidla. V tomto období nie je potrebné zaznamenávať podrobnú analýzu výfukových plynov a dosahovať vysokú presnosť merania. Preto vznikla myšlienka vyrobiť zariadenie, ktoré by bolo schopné v tomto období zaručiť, že vozidlo spĺňa aspoň priemerné emisie v rámci celej skúšky RDE. Cieľom tejto práce bolo navrhnúť spôsob merania emisií vozidiel pri prevádzke bez priameho využitia analyzátorov. Na základe tejto metodiky vytvoriť návrh zariadenia a dokumentáciu na výrobu prototypu, ktorý bude následne zostavený. Ďalšiu úlohou bolo experimentálne overiť funkčnosť a presnosť tohto zariadenia.

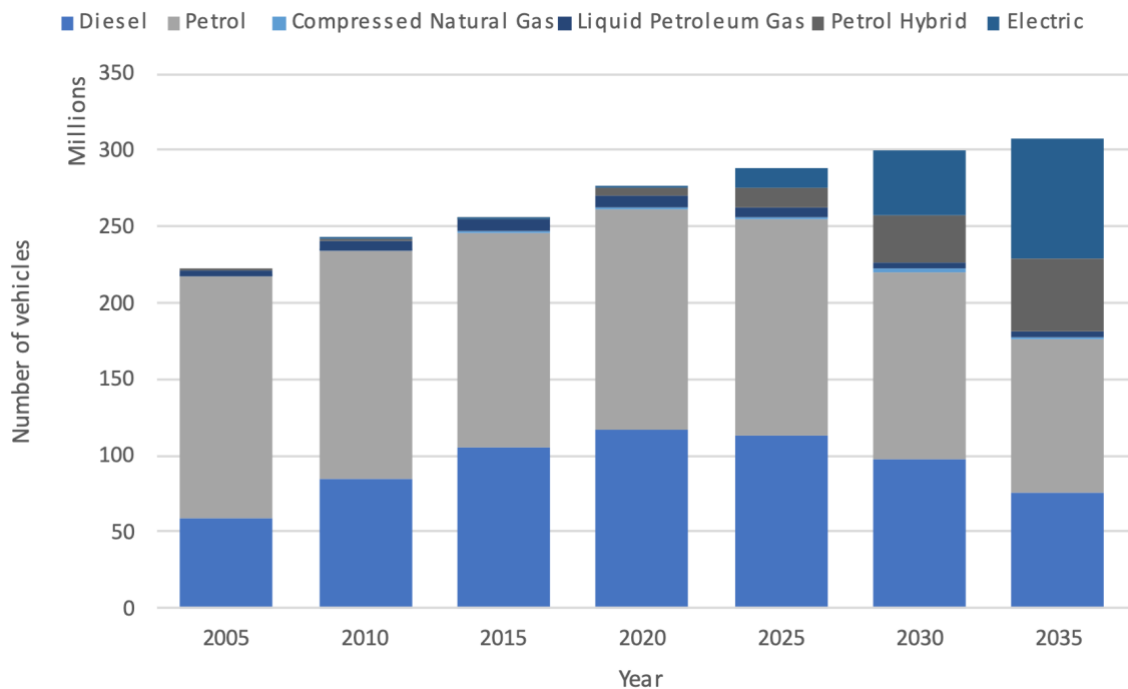
3 Emisie spaľovacích motorov

Napriek značným výhodám niektorých alternatívnych palív a ich nižšej škodlivosti voči životnému prostrediu, stále prevažujú ich nevýhody ako nedostatočný výkon, trvanlivosť, dojazd, náklady a infraštruktúra pre ich plnohodnotné využitie v porovnaní s momentálne najviac využívanými palivami. Podiel registrovaných osobných vozidiel v roku 2020 podľa používaného paliva je zobrazený na Graf 3.1.



Graf 3.1: Podiel registrovaných osobných vozidiel podľa paliva v roku 2020 [22]

Ako vyobrazuje Graf 3.1, najväčšiu časť európskeho trhu stále tvoria vozidla s čisto spaľovacími motormi, využívajúcimi uhľovodíkové palivá benzín a naftu, a to aj napriek tomu, že od roku 2017 došlo k výraznému zvýšeniu podielu hybridných elektrických vozidiel (HEV) o približne 9 %, plug-in hybridných vozidiel (PHEV) o približne 4,4 %, elektromobilov (BEV) o približne 4,7 % a v prípade alternatívnych palív len približne o 0,4 % [22].



Obr. 3.1: Vývoj vozového parku osobných automobilov v Európe [4]

Z Obr. 3.1 je zrejmé, že aj v budúcnosti do sa značnej miery počíta s naftovými a benzínovými spaľovacími motormi a z tohoto dôvodu má zmysel aj naďalej sa zaoberať analýzou ich výfukových plynov. Táto práca je zameraná práve na osobné a ľahké úžitkové vozidlá využívajúce zážihové a vznetrové spaľovacie motory spaľujúce automobilový benzín a motorovú naftu.

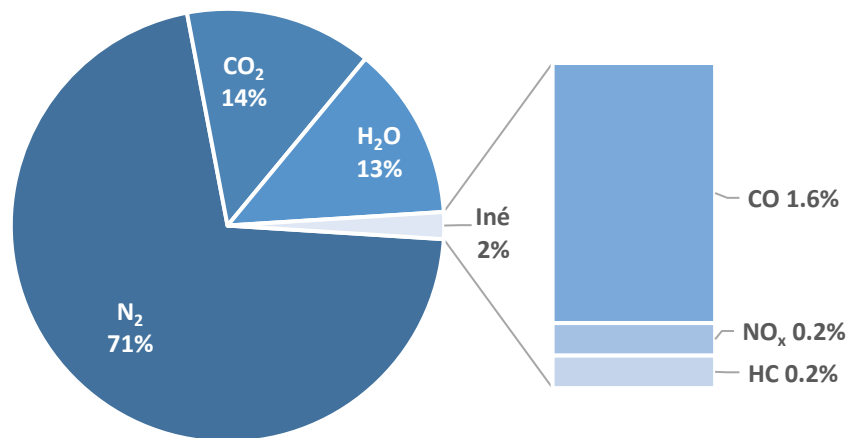
Základom spaľovacieho procesu týchto motorov je palivo a vzduch. Hlavnou zložkou týchto kvapalných palív sú uhľovodíky (HC) a v minulosti aj nečistoty vo forme síry (S). Od roku 2009 by mal automobilový benzín a motorová nafta obsahovať zanedbateľné množstvo síry (S) a to menej ako 10 mg/kg paliva [23]. Privádzaný vzduch obsahuje kyslík (O₂), dusík (N₂) a vodné pary (H₂O). Spaľovacím procesom vzniká oxid uhličitý (CO₂), voda (H₂O), oxid uhoľnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x), nespálené uhľovodíky, pevné častice (PM), oxid siričitý (SO₂) a ďalšie látky.

Spaľovaním uhľovodíkových palív vznikajú dve hlavné skupiny škodlivých emisií:

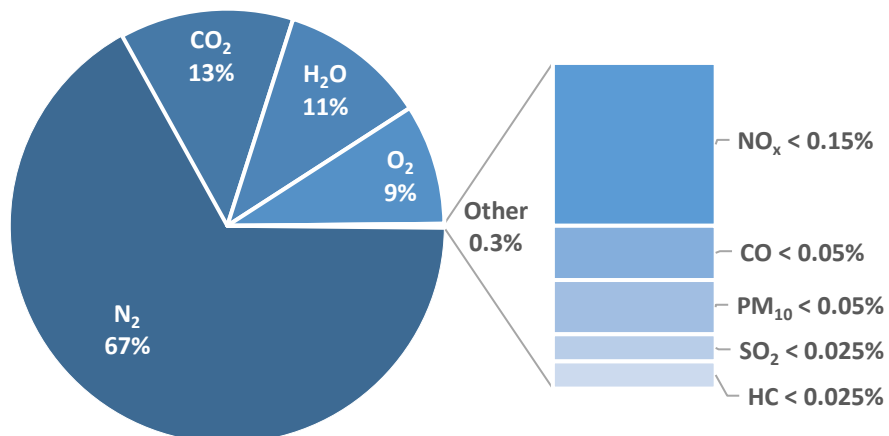
- a. Priamo limitované zložky
- b. Nepriamo limitované zložky

Medzi priamo limitované zložky radíme oxid uhoľnatý (CO), oxidy dusíka (NO_x) a u vznetrových motorov častice. Nepriamo limitovanými časticami je oxid uhličitý (CO₂)

a oxidy síry (SO_x) [5]. Podiel jednotlivých zložiek výfukových plynov zážihových motorov zobrazuje Graf 3.2 a zloženie výfukových plynov vznetrových motorov Graf 3.3.



Graf 3.2: Zloženie výfukových plynov zážihových motorov [13]



Graf 3.3: Zloženie výfukových plynov vznetrových motorov [13]

Podiely látok sa v rôznych zdrojoch mierne líšia, no napriek tomu z väčšiny zdrojov vyplýva, že podiel zdraviu škodlivých látok vo výfukových plynoch je u zážihových spaľovacích motorov približne 2% z celkových produkovaných emisií a v prípade vznetrových spaľovacích motorov tvorí táto zložka približne 0,3%.

3.1 Oxid uhličitý

Aktuálne je najviac sledovanou zložkou spalín motorových vozidiel oxid uhličitý (CO_2). Ako produkt dokonalého spaľovania uhľovodíkového paliva nemá okrem

skleníkového efektu žiadny škodlivý vplyv. Jeho obsah vo výfukových plynoch rastie priamo úmerne s množstvom spáleného paliva.

3.2 Oxid uhoľnatý

Oxid uhoľnatý (CO) vzniká nedokonalým spaľovaním bohatej zmesi paliva, teda neúplnou oxidáciou oxidu uhličitého (CO₂) pri nedostatku kyslíka (O₂). Taktiež vzniká pri vysokých teplotách nad 2000 °C a pri rýchlej expanzii spalín, pri ktorej zamrznú oxidačné reakcie. Koncentrácia je určená hlavne súčiniteľom prebytku vzduchu λ . [24]

3.3 Oxidy dusíka

Oxidy dusíka NO_x pozostávajú z oxidu dusného (N₂O), oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂). Vznikajú oxidáciou vzdušného dusíka kyslíkom pri vysokých teplotách a rýchlou expanziou spalín, pri ktorej zamrznú reakcie.

3.4 Nespálené uhľovodíky

Vznikajú pri predčasne zastavených oxidačných reakciách na konci horenia hlavne v štrbinách kde sa nešíri plameň. Taktiež pri prieniku nespálenej zmesi do výfukového potrubia pri prekrytí ventilov spaľovacieho motoru.

3.5 Pevné častice

Pevné častice vznikajú počas neúplnej oxidácie lokálne veľmi bohatej palivovej zmesi a pri nízkych teplotách horenia. Emitované častice pevného skupenstva o veľkosti menšej ako 10 μm (PM₁₀) sú rozptýlené v okolitom prostredí. Sú tvorené sadzami, popolom a ďalšími časticami. Pevné častice sú považované za najškodlivejšiu zložku moderných spaľovacích motorov.

Rozlišujeme:

- a) Počet emitovaných častíc (PN) – predstavuje celkový počet tuhých častíc vypustených z výfukového potrubia vozidla určený metódou riedenia a merania
- b) Hmotnosť emitovaných tuhých častíc (PM) – predstavuje hmotnosť tuhých častíc vypustených z výfukového potrubia vozidla určenú metódou riedenia a merania

3.6 Ďalšie emisie

Okrem predchádzajúcich emisii produkujú spaľovacie motory aj ďalšie škodliviny ako oxid siričitý (SO_2) a kovy [12]. Jedná sa o nepriamo limitované zložky emisii a ich produkcia je ovplyvnená zložením paliva.

Ďalšou škodlivou látkou vo výfukových plynach je amoniak (NH_3). U vznetových spaľovacích motorov vzniká pri používaní selektívnej katalytickej redukcie (SCR z angl. Selective Catalytic Reduction). Amoniak (NH_3) môže unikať do ovzdušia pri nadmernom vstrekaní močoviny do spalín, kedy táto močovina nedokáže plne zreagovať. Túto problematiku rieši katalyzátor proti úniku amoniaku (ASC z angl. Ammonia Slip Catalyst), ktorý prevádza zvyšný amoniak na dusík (N_2). V prípade zážihových motorov vzniká amoniak (NH_3) v trojcestnom katalyzátore (TWC z angl. Three-Way Catalyst) pri spaľovaní bohatej zmesi paliva.

4 Emisné normy v Európe

Jedna z ciest znižovania znečistenia ovzdušia a zvyšovania kvality životného prostredia je snaha redukovať škodliviny vo výfukových plynoch. Z toho dôvodu boli v minulosti zavedené emisné štandardy pre osobné a ľahké úžitkové vozidlá. Európske štandardy pre vozidlá sú vytvárané Európskou hospodárskou komisiou Organizácie spojených národov (EHK OSN) sídliacou v Ženeve. Tieto štandardy vznikajú v rámci Dohody o prijatí jednotných podmienok pre homologáciu a vzájomné uznávanie homologácie výbavy a dielov motorových vozidiel z roku 1958.

4.1 História

Emisné normy boli v Európe zavedené v roku 1971 predpisom EHK č.15, inšpirovaným kalifornským cyklom z roku 1968. Ten bol niekoľko krát modifikovaný až do konečného predpisu EHK 15.03. V júli 1992 bol nahradený emisnou normou EHK 83.01 pod označením Euro 1 [5].

Normy Euro 1 až Euro 4 rozlišovali tri hmotnostné kategórie osobných vozidiel:

- Trieda 1 ≤ 1250 kg
- Trieda 2 > 1250 kg a ≤ 1700 kg
- Trieda 3 > 1700 kg

Norma Euro 1 stanovovala limitné hodnoty pre škodliviny oxid uhoľnatý (CO), súčet nespálený uhľovodíkov a oxidov dusíka (HC + NO_x) a v prípade vznetrových spaľovacích motorov aj hmotnosť pevných častíc (PM). Neskôr v roku 1996 bola upravená na normu Euro 2 kde došlo k zníženiu limitov emisií. V roku 2000 vyšla v platnosť emisná norma Euro 3 kde boli u zážihových spaľovacích motorov HC a NO_x sledované samostatne. Hodnoty CO boli naďalej sledované ako u zážihových motorov tak aj u vznetrových spaľovacích motorov. U vznetrových motorov sa stále sledoval súčet HC + NO_x, PM a navyše hodnoty NO_x samostatne. K ďalšej aktualizácii došlo v roku 2005 normou Euro 4, ktorá predstavovala zníženie limitov emisií škodlivých látok sledovaných v rámci Euro 3.

V roku 2009 došlo k výraznejšej zmene emisných noriem zavedením normy Euro 5a. Zavedené boli limity pre celkové emisie uhľovodíkov (THC) a nemetánové uhľovodíky (NMHC). Stále boli sledované hodnoty NO_x, CO, PM a u vznetrových motorov navyše

súčet HC + NO_x. V ďalších modifikáciách Euro 5b/b+ z roku 2011 sa v prípade vznetrových motorov navyše sledoval počet pevných častíc (PN).

V septembri 2014 bola uvedená norma Euro 6b, na ktorú naviazali normy Euro 6c a Euro 6d. V rámci týchto emisných noriem boli pozmenené, prípadne pridané skúšobné postupy a limitné hodnoty emisií výfukových plynov ostali bez zmeny.

Limity uvádzané v legislatíve vyjadrujú absolútne množstvo jednotlivých škodlivín uvoľnených do atmosféry, pričom pre osobné automobily je jednotka vyjadrená závislosťou hmotnosti škodlivín na prejdenej dráhe.

Emisie	THC	NMHC	NO _x	HC	HC+NO _x	CO	PM	PN
Normy	mg/km							#/km
EURO 1	-	-	-	-	970	2720	-	-
EURO 2	-	-	-	-	500	2200	-	-
EURO 3	200	-	150	200	-	2300	-	-
EURO 4	100	-	80	100	-	1000	-	-
EURO 5a	100	68	60	-	-	1000	5	-
EURO 5b	100	68	60	-	-	1000	4,5	-

Tab. 4.1: Emisné limity noriem Euro 1 až Euro 5b pre osobné vozidlá so zážihovým spaľovacím motorom [14][1]

Emisie	THC	NMHC	NO _x	HC	HC+NO _x	CO	PM	PN
Normy	mg/km							#/km
EURO 1	-	-	-	-	970	2720	140	-
EURO 2	-	-	-	-	700	1000	80	-
EURO 3	-	-	500	-	560	660	50	-
EURO 4	-	-	250	-	300	500	25	-
EURO 5a	-	-	180	-	230	500	5	-
EURO 5b	-	-	180	-	230	500	4,5	6x10 ¹¹

Tab. 4.2: Emisné limity noriem Euro 1 až Euro 5b pre osobné vozidlá so vznetrovým spaľovacím motorom [14][1]

Tabuľky Tab. 4.1 a Tab. 4.2 zobrazujú súhrnný prehľad emisných limitov noriem od EURO 1 až po normu EURO 5b pre osobné vozidlá so zážihovým a vznetrovým spaľovacím motorom.

Predpisy o emisiách skleníkových plynov navyše stanovujú limity pre emisie oxidu uhličitého (CO₂). Nariadenie obmedzujúce emisie oxidu uhličitého (CO₂) pre nové osobné automobily bolo prvýkrát zavedené v roku 2009. Jeho cieľom bolo stanoviť hodnotu emisií oxidu uhličitého (CO₂) pre rok 2015 na 130 g/km [17]. Táto hodnota sa vzťahovala pre priemernú hodnotu všetkých vozidiel vozového parku všetkých výrobcov dohromady. Hodnota sa mohla meniť pre jednotlivých výrobcov v závislosti od priemernej hmotnosti vozidiel vo vozovom parku. S vyššou priemernou hmotnosťou vozidiel narastal aj limit emisií oxidu uhličitého (CO₂). Táto norma tiež definovala dlhodobý cieľ na roky 2015 až 2021, ktorý bol dokončený v roku 2014. Cieľom bola hodnota 95 g/km emisií oxidu uhličitého (CO₂), ktorú musia splniť všetci výrobcovia do roku 2021 [18]. Ďalším dlhodobým cieľom bolo zníženie emisií oxidu uhličitého (CO₂) medzi rokmi 2021 a 2030 o 15% do roku 2025 a o 37,5% do roku 2030 v porovnaní s hodnotami z roku 2021 [19]. Pri popísanom znížení hodnôt z roku 2021 o 15% by došlo k zníženiu výslednej hodnoty na 80,8 g/km a v prípade konečného zníženia o 37,5% do roku 2030 by sa jednalo o hodnotu 59,4 g/km emisií oxidu uhličitého (CO₂). [18][19]

4.2 Súčasná norma

V súčasnosti sú nové vozidlá homologované podľa emisnej normy Euro 6d ISC FCM zavedenej v januári 2020, ktorú musia od 1.1.2021 spĺňať všetky nové typy vozidiel. Označenie ISC (z angl. In-Service Conformity) predstavuje zaradenie novej procedúry skúšky zhody v prevádzke a skratka FCM (z angl. Fuel Consumption Monitoring) označuje zavedenie monitorovania spotreby paliva a elektrickej energie. Limitné hodnoty škodlivín zážihových a vznetrových motorov pre osobné a ľahké komerčné vozidlá sú zhrnuté v Tab. 4.3. Momentálne platné limity boli stanovené nariadením 715/2007 naposledy aktualizovaným na začiatku septembra 2020.

Emisie	Jednotky	Zážihové motory	Vznetové motory
THC	mg/km	100	-
NMHC		68	-
NO _x		60	80
HC + NO _x		-	170
CO		1000	500
PM		4,5	4,5
PN	#/km	6x10 ¹¹	6x10 ¹¹

Tab. 4.3: Limitné hodnoty škodlivín pre normu Euro 6d ISC FCM [15]

Aktuálne limity emisií oxidu uhličitého (CO₂) boli definované nariadením (EÚ) 2019/631. Ako bolo popísané v časti 4.1 limitná hodnota emisií oxidu uhličitého (CO₂) produkovaných spaľovacími motormi osobných automobilov pre rok 2021 je 95 g/km. Špecifické limitné hodnoty pre jednotlivých výrobcov závisia od hmotnosti vozidla. Počítajú sa podľa vzťahu

$$\text{Špecifické emisie } CO_2 = T + a \cdot (M - M_0) \quad (1)$$

kde T vyjadruje emisný cieľ pre dané obdobie. Pre roky 2020 až 2024 sa jedná o hodnotu 95 g/km. Hodnota koeficientu a bola pre rozmedzie rokov 2012 až 2019 stanovená na $a = 0,0457$ a pre rozmedzie rokov 2020 až 2024 na $a = 0,0333$. Hodnota M prezentuje hmotnosť vozidla v kg. M_0 predstavuje priemernú hmotnosť vozidiel stanovenú nariadením (EÚ) 2019/631. Pre rok 2020 bola hodnota M_0 stanovená na $M_0 = 1379,88$ kg.

Referenčná cieľová hodnota špecifických emisií pre rok 2021 sa potom určí podľa vzťahu

$$WLTP_{ref} = WLTP_{CO_2} \cdot \left(\frac{NEDC_{cieľová\ hodnota}}{NEDC_{CO_2}} \right) \quad (2)$$

kde:

$WLTP_{CO_2}$ predstavuje priemernú hodnotu špecifických emisií oxidu uhličitého (CO₂) v roku 2020 podľa nariadenia (EÚ) 2017/1151

$NEDC_{CO_2}$ predstavuje priemernú hodnotu špecifických emisií oxidu uhličitého (CO_2) v roku 2020 podľa nariadenia (EÚ) 2017/1153

$NEDC_{cieľová\ hodnota}$ je hodnota špecifických emisií CO_2 vypočítaných pomocou vzťahu (1).

4.3 Budúcnosť emisných noriem

Od roku 2025 by mala vojsť do platnosti norma Euro 7, ktorá by mala nie len sprísniť limity niektorých emisií ale aj zaviesť limity pre ďalšie emisie obsiahnuté vo výfukových plynoch. Medzi novo limitované zložky výfukových plynov by mali patriť skleníkové plyny metán (CH_4) a oxid dusný (N_2O), ďalej tiež amoniak (NH_3), pevné častice PN_{10} , nemetánové organické plyny (NMOG) a formaldehyd (HCHO). Limitné hodnoty týchto emisií, ktoré stanoví norma Euro 7, však stále nie sú konečné.

5 Skúšky typového schvaľovania

Aktuálne nariadenie komisie č. 2017/1151 podrobne uvádza technické požiadavky na vozidlá a definuje tri skúšky:

a) Počiatočné skúšky typového schvaľovania

- Skúška typu I. - Overenie priemerných výfukových emisií pri studenom štarte
- Skúška typu II. - Emisie oxidu uhoľnatého pri voľnobežných otáčkach
- Skúška typu III. - Emisie plynov z kľukovej skrine
- Skúška typu IV. - Emisie z odparovania
- Skúška typu V. - Životnosť zariadení na reguláciu znečisťujúcich látok
- Skúška typu VI. - Overenie priemerných výfukových emisií oxidu uhoľnatého a uhľovodíkov pri nízkych teplotách okolia po studenom štarte
- Skúška palubných diagnostických systémov (OBD)
- Skúška merania opacity dymu

b) Skúška zhody výroby

c) Skúška zhody v prevádzke

Skúšky WLTC a RDE spadajú pod skúšky typového schvaľovania typu I. a overenie priemerných výfukových emisií pri studenom štarte, tiež označované ako typ 1 pre WLTC a typ 1A pre skúšku RDE. V ďalších častiach práce bude z tohto dôvodu detailnejšie popísaná len táto časť typového schvaľovania. [7]

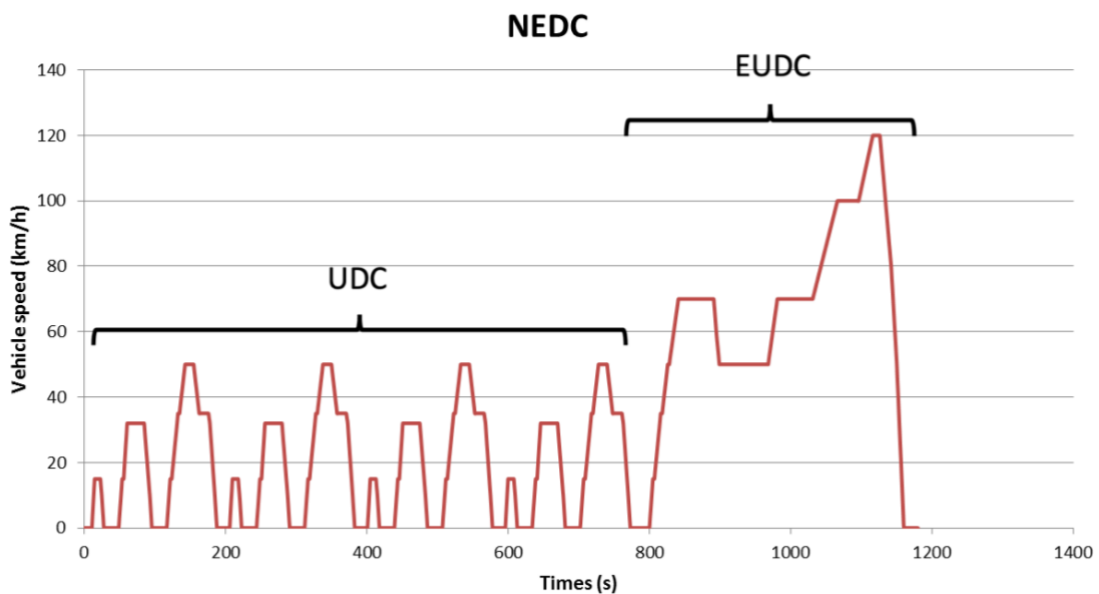
5.1 Skúška typu I. - Overenie priemerných výfukových emisií pri studenom štarte

Pre vytvorenie opakovateľných podmienok merania emisií a simulovanie skutočných jazdných stavov boli vytvorené skúšobné cykly, ktoré sú dôležitou súčasťou emisných noriem. Skúška typu I. definuje meranie a vyhodnocovanie výfukových emisií vozidiel na valcovom dynamometri a v reálnej prevádzke. Predpisuje prípravu pred meraním, postupy merania, priebeh skúšobného cyklu WLTC a skúšky RDE ale aj spôsoby vyhodnocovania výsledkov meraní.

5.1.1 NEDC - (New European driving cycle)

Označuje starý skúšobný cyklus pre meranie emisií v laboratóriu, ktorého posledná verzia bola zavedená emisnou normou Euro 3 v roku 2000. Simuluje mestskú

(UDC z angl. Urban Driving Cycles) a mimo mestskú (EUDC z angl. Extra-Urban Driving Cycle) prevádzku vozidla. V mestskej časti sa na valcovom dynamometri simuluje jazda vozidla do 50 km/h a v mimo mestskej časti je simulovaná jazda vozidla limitovaná maximálnou rýchlosťou 120 km/h. Skúška NEDC počíta s jednotným rýchlostným profilom pre všetky vozidla bez ohľadu na aerodynamiku alebo výbavu, pričom hmotnosť vozidla má vplyv hlavne na jazdné odpory. Príklad skúšobného cyklu je zobrazený na Obr. 5.1.



Obr. 5.1: Homologáčny skúšobný cyklus NEDC [31]

V priebehu emisnej skúšky vodič sediaci vo vozidle akceleruje, deceleruje a radí rýchlostné prevody podľa presne stanovených predpisov a sleduje rýchlostný profil s toleranciou ± 2 km/h pre ustálenú rýchlosť. Teoreticky nie je možné zmerať rovnaké hodnoty dva krát po sebe. Doba tohto cyklu je 1180 s.

Základné predpoklady a parametre skúšky NEDC:

- Teplota v skúšobnej miestnosti 20 - 30 °C
- Vozidlo má najazdených viac ako 3000 km
- Počíta sa s hmotnosťou prázdneho vozidla a hmotnosťou 100 kg navyše
- Prejdená vzdialenosť 11 km
- Trvanie cyklu je 20 minút
- Priemerná rýchlosť je približne 34 km/h
- Doba, počas ktorej je vozidlo v pokoji tvorí 24% celého cyklu

- Maximálna rýchlosť je 120 km/h
- Pevné okamihy radenia rýchlostných prevodov
- Do analýzy sa neuvažuje výbava

Keďže vozidlo približne 24% z celého cyklu stojí, má na výsledky merania NEDC veľký vplyv systém Start – Stop, ktorý umožňuje v určitých prípadoch vypnúť spaľovací motor keď sa vozidlo nepohybuje. Testovanie sa vykonávalo len na jednej modelovej rade automobilov.

5.1.2 WLTP - (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure)

Nariadením (EÚ) č. 2017/1151 bol zavedený nový regulačný skúšobný cyklus na vykonávanie celosvetového harmonizovaného skúšobného postupu (WLTP), ktorý nahradil meraciu metódu NEDC popísanú v odseku 5.1.1. Jedná sa o prísnejšiu a podrobnejšiu emisnú skúšku pre typové schvaľovanie vozidiel s platnosťou od septembra 2017 pre nové typy vozidiel a od septembra 2018 pre všetky vozidlá. [1][6]

Súčasťou procedúry WLTP sú okrem iného skúšobné cykly WLTC (z angl. Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycles). V rámci nového meracieho cyklu sa už hodnotí celé vozidlo, keďže na celkové emisie má vplyv aj hmotnosť vozidla, prevodové ústrojenstvo a ďalšie parametre vozidla. Skúška sa podobne ako u NEDC vykonáva na valcovom dynamometri za stáleho odberu výfukových spalín. Vodič v priebehu celého cyklu reguluje pedál akcelerátoru a radí rýchlostné prevody tak, aby udržal ukazovateľ rýchlosti vozidla na valcovom dynamometri v tolerančnom poli diagramu časového priebehu rýchlosti daného cyklu. Táto činnosť zvykne byť v moderných aplikáciách čiastočne robotizovaná a digitalizovaná.

Cykly WLTC sú definované pre tri triedy vozidiel zobrazené v Tab. 5.1, rozdelené podľa hodnoty hmotnostného výkonu P_{mr} , ktorý je určený vzťahom:

$$P_{mr} = \frac{\text{Výkon [W]}}{\text{Hmotnosť v prevádzkovom stave [kg] - 75 [kg]}} \quad (3)$$

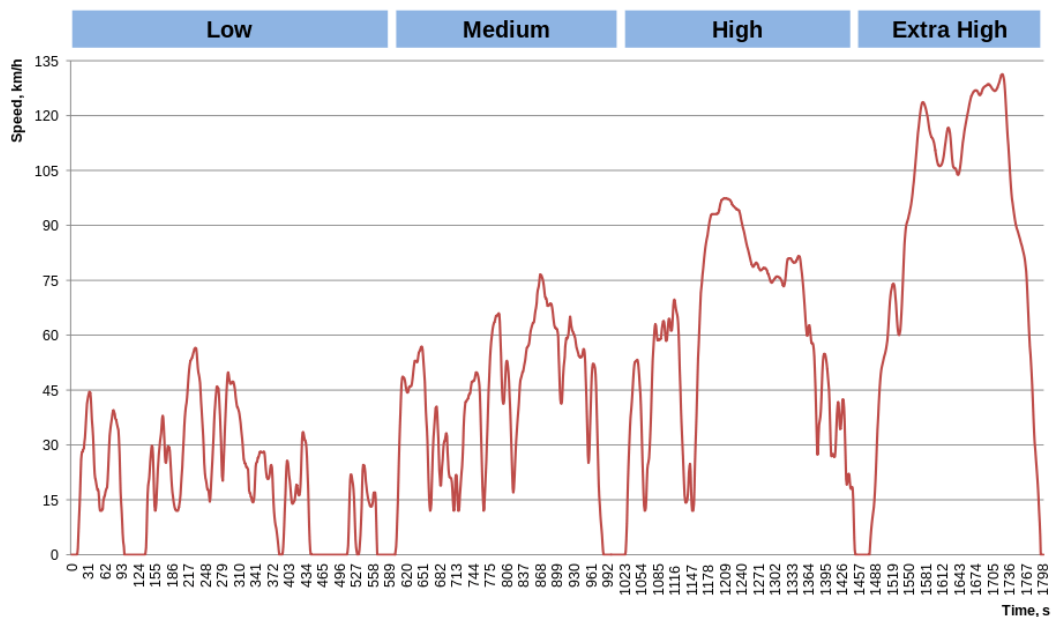
Triedy vozidiel	Hodnota hmotnostného výkonu P_{mr}
Trieda 1	< 22 W/kg
Trieda 2	> 22 W/kg a < 34 W/kg
Trieda 3	> 34 W/kg

Tab. 5.1: Triedy vozidiel procedúry WLTP

Cyklus WLTC je rozdelený na štyri fázy a to na fázu nízkej rýchlosti (Low) do 56,5 km/h, fázu strednej rýchlosti (Medium) do 76,6 km/h, fázu vysokej rýchlosti (High) do 97,4 km/h a fázu veľmi vysokej rýchlosti (Extra High) do 131,3 km/h. Tieto fázy simulujú jazdu v meste, mimo mesta a na diaľnici. Jednotlivé emisné cykly sú zostavené podľa triedy, do ktorej vozidlo spadá. U triedy 1 cyklus WLTC pozostáva z fázy malej rýchlosti Low_1 , fázy strednej rýchlosti $Medium_1$ a znova fázy malej rýchlosti Low_1 . Trieda vozidiel 2 má cyklus zostavený z fázy Low_2 , $Medium_2$, $High_2$ a $Extra\ High_2$ a vozidla triedy 3 majú cyklus rozdelený na fázy Low_3 , $Medium_{3a/3b}$, $High_{3a/3b}$ a $Extra\ High_3$, pričom sa ešte delia podľa maximálnej rýchlosti na vozidla s $v_{max} < 120$ km/h (trieda 3a) a vozidla s $v_{max} \geq 120$ km/h (trieda 3b). Celkové trvanie cyklu je 1800 s pričom trvanie jednotlivých fáz je zobrazené v Tab. 5.2. Príklad cyklu WLTC je zobrazený na Obr. 5.2. [7][3]

Fáza	Trvanie [s]
Malá rýchlosť (Low)	589
Stredná rýchlosť (Medium)	433
Vysoká rýchlosť (High)	455
Veľmi vysoká rýchlosť (Extra High)	323
Celkom	1800

Tab. 5.2: Trvanie jednotlivých fáz cyklu WLTC



Obr. 5.2: Merací cyklus WLTC rozdelený na jednotlivé rýchlostné časti [30]

V prípade vozidiel, ktorých hmotnostný výkon sa pohybuje okolo hraničných hodnôt jednotlivých tried a v prípade vozidiel triedy 1 s veľmi nízkym výkonom sa môžu vyskytnúť problémy súvisiace s jazdnými vlastnosťami. Problémy sa týkajú hlavne fáz cyklu, kde sa kombinuje vysoká rýchlosť a vysoké zrýchlenie vozidla. V takýchto prípadoch sa na zlepšenie jazdných vlastností využíva postup zmenšenia. [3]

Ak nastane situácia, že vozidlo nedokáže dodržať krivku daného cyklu v rámci tolerancie pri rýchlostiach nižších než je maximálna rýchlosť, musí byť v týchto oblastiach cyklu ovládač akceleračora úplne stlačený.

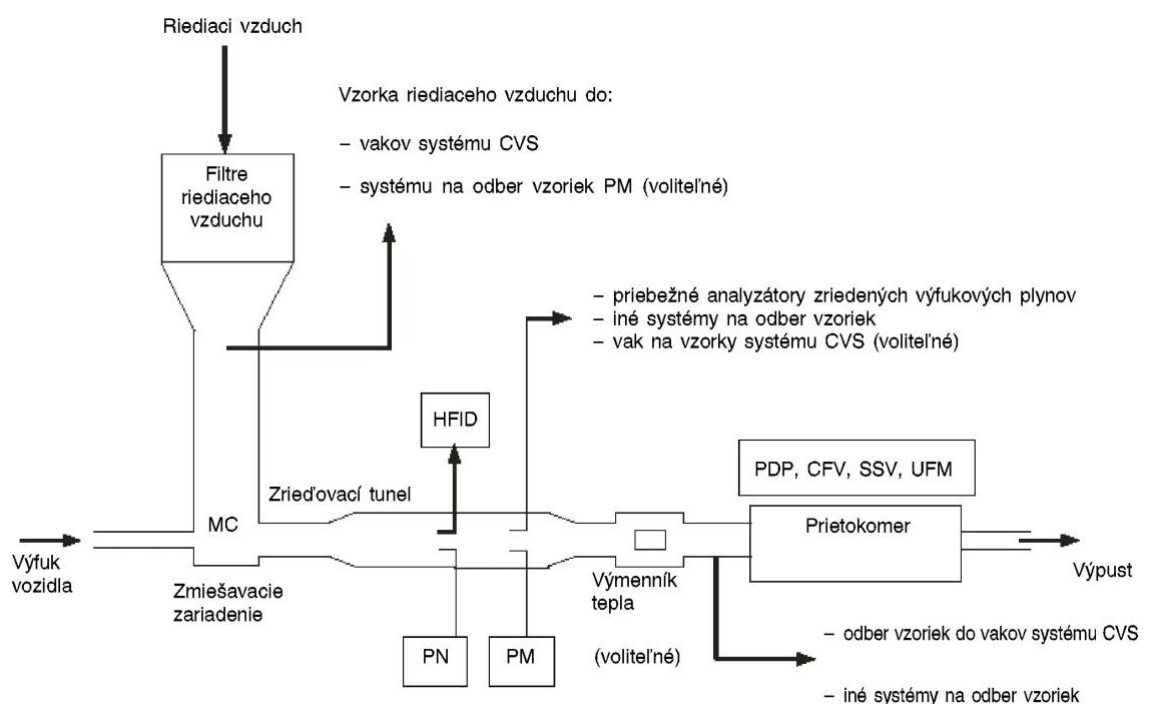
Základné predpoklady a parametre skúšky WLTC:

- Teplota v miestnosti je 23 °C (±5 °C) alebo 14 °C (±3/±5 °C)
- Prejdená vzdialenosť 23 km
- Trvanie cyklu je 30 minút
- Priemerná rýchlosť je približne 47 km/h
- Doba, počas ktorej je vozidlo v pokoji tvorí približne 13% celého cyklu
- Maximálna rýchlosť je väčšia ako 130 km/h
- Okamžiky radenia sú dopredu určené pre každé vozidlo
- Do analýzy sa zahŕňa hmotnosť vozidla a výbava

5.1.2.1 Spôsob odberu spalín

Pri odbere spalín je nutné určiť ako plynné, tak aj tuhé zložky emisií. Odber týchto emisií prebieha na princípe proporcionálneho odberu zriedených výfukových plynov kde dochádza v riediacom tuneli k riedeniu výfukových plynov s nasávaným filtrovaným okolitým vzduchom.

Do riediaceho tunela sú zavedené sondy na odber zriedených plynných a tuhých zložiek. Pre priebežnú analýzu sú jednotlivé zložky výfukových plynov merané priamo v riediacom tuneli pomocou analyzátorov popísaných v časti 5.1.2.2 a 5.1.2.3.



Obr. 5.3: Schéma odberu výfukových plynov počas WLTC cyklu [3]

Ďalšie vzorky zriedených výfukových plynov sú uložené pomocou systému CVS (z angl. Constant Volume Sampling) do odberných vakov. Vaky musia disponovať dostatočnou kapacitou, aby nedochádzalo k obmedzovaniu toku vzoriek. Okrem vzorky zriedených výfukových plynov sa tiež odoberá vzorka riediaceho vzduchu pri jeho vstupe za filtrom. Je potrebné dbať na to, aby táto vzorka nebola kontaminovaná od výfukových plynov. Analýza výfukových plynov z odberných vakov systému CVS musí prebehnúť najneskôr 30 minút od skončenia meracieho cyklu. Presný postup vyhodnocovania výfukových plynov je popísaný legislatívou.

5.1.2.2 Analyzátory plynných emisií

Základnou podmienkou použitých analyzátorov je merací rozsah. Ten musí byť kompatibilný s požadovanou presnosťou merania koncentrácií látok vo vzorke. Taktiež je potrebné zabezpečiť, že chyba merania nepresiahne $\pm 2\%$.

Analýza oxidu uhoľnatého (CO) a oxidu uhličitého (CO₂) sa vykonáva pomocou nedisperzného infračerveného analyzátoru (NDIR).

K analýze uhľovodíkov (HC), pri použití paliva iného než nafta musí byť použitý plameňo-ionizačný detektor (FID). Ako kalibračný plyn musí byť použitý propán. Analýza uhľovodíkov (HC) pri použití vznetového spaľovacieho motora musí byť vykonaná vyhrievaným plameňo-ionizačným detektorom (HFID). Tento analyzátor je ohrievaný na teplotu 190 °C s odchýlkou 10 °C. Rovnako ako v predchádzajúcom prípade musí byť kalibračným plynom propán.

Pri analýze metánu je možné použiť kombináciu plynového chromatografu s plameňo-ionizačným detektorom (FID) alebo plameňo-ionizačný detektor (FID) s odlučovačom nemetánových uhľovodíkov. Ako kalibračný plyn možno použiť metán prípadne propán.

Analýza oxidov dusíka (NO_x) musí byť vykonaná pomocou chemiluminiscenčného analyzátoru (CLA) alebo nedisperzného ultrafialového analyzátoru (NDUV).

5.1.2.3 Odber emisií tuhých častíc

Na meranie hmotnosti tuhých častíc (PM) je v riediacom tuneli umiestnená sonda. Vzorka je trubicou na prenos častíc vedená cez držiak filtra do čerpadla a prietokomeru. V odbernej zostave môže byť použitý predtrieďič častíc umiestnený pred držiakom filtra.

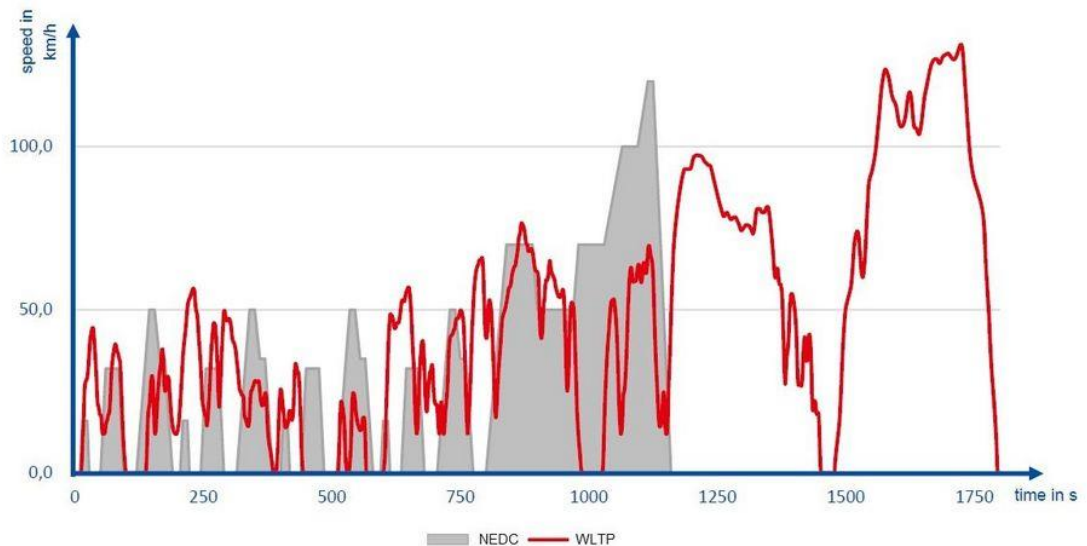
Pri zisťovaní počtu emitovaných častíc (PN) nesmie vzorka prejsť cez čerpadlo predtým než prejde počítačom častíc. Zostava na odber obsahuje rovnako ako systém na meranie hmotnosti tuhých častíc (PM) sondu v riediacom tuneli, trubicu na prenos častíc a predtrieďič častíc. Ďalej je v zostave zaradený odstraňovač prchavých častíc, ktorý pozostáva z prvého zariadenia na riedenie počtu častíc, trubice na odparovanie častíc a druhého zariadenia na riedenie počtu častíc. Za odstraňovačom prchavých častíc je pripojená, normou definovaná, výstupná trubica zavedená do počítadla častíc.

5.1.3 Porovnanie NEDC a WLTC

Hlavné rozdiely medzi NEDC a WLTC cyklu sú zobrazené v Tab. 5.3. Ako je vidieť prechodom na cyklus WLTC došlo hlavne k zväčšeniu testovacej vzdialenosti a trvaniu skúšky. Teplota okolia bola prispôsobená priemerným hodnotám v Európe. Ďalším dôležitým rozdielom je skrátenie doby státia vozidla a väčší rozsah jazdných fáz. Zatiaľ čo cyklus NEDC pozostával len z dvoch fáz, cyklus WLTP je zložený zo štyroch fáz aplikovaných podľa hmotnostného výkonu testovaného vozidla. Ďalej došlo k zvýšeniu maximálnej a priemernej rýchlosti v priebehu cyklu, ale tiež k zvýšeniu maximálneho zrýchlenia. Obr. 5.4 znázorňuje grafické porovnanie cyklu NEDC a WLTC.

Parametre	NEDC	WLTC (trieda 3b)
Trvanie (s)	1180	1800
Vzdialenosť (km)	11,007	23,253
Teplota okolia (°C)	20 - 30	23 ± 5
Radenie prevodových stupňov	pevne dané	individuálne
Doba nečinnosti (%)	23,7	12,6
Podiel stabilnej jazdy (%)	40,3	3,7
Podiel zrýchlenia (%)	20,9	43,8
Podiel spomalenia (%)	15,1	39,9
v_{\max} (km/h)	120	131,3
$v_{\text{priemerná}}$ (km/h)	33,6	46,5
Maximálna akcelerácia (m/s^2)	1	1,67

Tab. 5.3: Porovnanie NEDC a WLTC [1][11]



Obr. 5.4: Grafické porovnanie NEDC a WLTP cyklu [25]

5.1.4 Zavedenie emisnej skúšky v reálnej prevádzke (RDE)

K minimalizácii emisií nie len v laboratórnych podmienkach, ale aj v reálnych podmienkach bola legislatívne zavedená emisná skúška RDE. Ustanovenia zabezpečujú, aby skúšobné jazdy pokrývali širokú škálu jazdných podmienok, s ktorými sa obvykle stretávajú vodiči v Európe. Boli stanovené podmienky, ktoré definujú, čo predstavuje platnú trasu a skúšku RDE. Na rozdiel od laboratórnych skúšok NEDC a WLTP, ktoré predstavujú stálu sadu skúšobných podmienok, ako je vopred určený rýchlostný profil a úzky rozsah teplôt okolia, a ktorých test je čiastočne opakovateľný a reprodukovateľný, má naopak skúška RDE širšiu škálu parametrov, z ktorých každý má dostatočné rezervy, aby mohol pokryť široké spektrum možností jazdy.

Aktuálne sa k meraniu skúšky RDE primárne využívajú prenosné meracie stanice PEMS, ktoré sú umiestnené na ťažnom zariadení alebo v kufri vozidla a dokážu vyhodnocovať emisie z výfukových plynov priamo počas jazdného cyklu.

Legislatíva RDE zavedená v rámci emisnej normy Euro 6 bola navrhnutá v štyroch balíkoch:

- RDE 1 – (EÚ) 2016/427
- RDE 2 – (EÚ) 2016/646
- RDE 3 – (EÚ) 2017/1154
- RDE 4 – (EÚ) 2018/1832

Prvým balíkom prijatým v máji 2015 bol definovaný skúšobný postup RDE. Druhým balíkom prijatým v októbri 2015 bol definovaný faktor zhody (CF) pre oxidy dusíka (NO_x) a dátumy zavedenia v platnosť. V rámci tretieho balíka prijatého v decembri 2016 bol pridaný faktor zhody (CF) počtu pevných častíc PN a skúšobný postup RDE bol doplnený o hodnotenie emisii pri studenom štarte. Štvrtým balíkom prijatým v máji 2018 bola definovaná skúška zhody v prevádzke (ISC) a znížená hodnota faktoru zhody (CF) oxidov dusíka (NO_x) do roku 2020 z 1,50 na 1,43. [2][7]

6 Emisná skúška v reálnej prevádzke (RDE)

Do zavedenia emisnej skúšky v reálnej prevádzke boli emisné nariadenia overované na vozidlách iba v laboratóriu. Technológie potrebné k ich overeniu zaberajú pomerne veľký priestor v skúšobnej miestnosti laboratória. Ako už vyplýva z názvu, skúška RDE prebieha za bežnej premávky na verejných komunikáciách a zariadenia PEMS, ktoré sa používajú v rámci tejto skúšky, musia dosahovať výrazne menšie rozmery. Súčasne musia obsiahnuť všetky analyzátory a pomocné systémy požadované legislatívou, keďže analýza výfukových plynov musí prebiehať priebežne počas celej tejto skúšky. Samotná skúška požaduje dôkladnú prípravu vozidla a meracích zariadení. Legislatíva tiež predpisuje množstvo ďalších podmienok, za ktorých musí byť skúška RDE vykonaná, aby mohla byť správne vyhodnotená a porovnateľná so skúškou WLTC meranou v laboratóriu.

6.1 Legislatívne požiadavky

Základný postup a požiadavky pre úspešné splnenie skúšky RDE boli popísané prvým balíkom RDE 1, definovaným nariadením (EÚ) 2016/427, ktorý je zahrnutý do nariadenia (EÚ) č. 2017/1151 v Prílohe IIIA. Táto príloha popisuje všeobecné požiadavky pre skúšku RDE, postupy pred skúškou, priebeh emisnej skúšky RDE a postup po skúške. Doplňujúce parametre skúšky RDE boli definované v ďalších balíkoch RDE popísaných v časti 5.1.4.

6.1.1 Podmienky okolia

Skúška musí byť vykonaná za podmienok okolia popísaných v Tab. 6.1. Nariadenie definuje aj rozšírené podmienky okolia. Ak je rozšírená aspoň jedna podmienka týkajúca sa nadmorskej výšky alebo teploty, sú všetky podmienky okolia označené ako rozšírené. Pri rozšírených podmienkach sa uplatňuje korekčný faktor nadmorskej výšky a teploty iba raz. Pri porušení bežných prípadne rozšírených podmienok je skúška považovaná za neplatnú. [3][9]

Nadmorská výška [m.n.m.]	
Mierne podmienky	≤ 700
Rozšírené podmienky	700 až 1300
Teplota [°C]	
Mierne podmienky	0 až 30
Rozšírené podmienky	-7 až 0 alebo 30 až 35

Tab. 6.1: Podmienky okolia pre RDE [3][9]

Počas skúšky RDE sa nemôže nadmorská výška na začiatku a na konci líšiť o viac ako 100 m a pomerný kumulatívny pozitívny nárast počas celej skúšky a počas merania v obci nesmie byť väčší ako 1200 m/100 km.

Na účely skúšania vozidla pri studenom štarte sa musí vykonať kondicionovanie vozidla. Kondicionovanie vozidla je nariadením popísané ako jazda vozidla minimálne 30 minút a jeho následné odstavenie so zatvoreným dverami a kapotou s vypnutým motorom za miernych alebo rozšírených podmienok nadmorskej výšky a teploty počas 6 až 56 hodín. Vozidlo by nemalo byť vystavené extrémnym poveternostným podmienkam a nadmernému prachu. Taktiež musí byť vozidlo pred skúškou skontrolované, či nedošlo k jeho poškodeniu alebo poruche. [9]

6.1.2 Dynamické podmienky

Súčasťou overovania platnosti skúšky RDE je overovanie dynamických podmienok v priebehu skúšky. Pod dynamické podmienky spadá vplyv sklonu vozovky, čelného vetra a dynamiky jazdy, ako zrýchlenie a spomalenie vozidla, ale tiež vplyv pomocných systémov na emisie a spotrebu energie skúšaného vozidla. Kontrola dynamických podmienok sa vykonáva z údajov zaznamenaných systémom PEMS po ukončení skúšky. Overí sa nadbytok a nedostatok jazdnej dynamiky, a ak sú výsledky označené za platné, uplatnia sa metódy overenia normálnosti skúšobných podmienok. [3][6]

Medzi dynamické parametre patrí 95. percentil násobku rýchlosti vozidla a jeho pozitívneho zrýchlenia, relatívne pozitívne zrýchlenie (RPA z angl. Relative Positive Acceleration) a kumulatívny nárast nadmorskej výšky. Dynamické parametre sa stanovujú pre hodnoty rýchlosti nad 3 km/h pri frekvenciách odberu vzoriek 1 Hz. [6]

6.1.3 Stav a prevádzka vozidla

Používanie klimatizačného systému prípadne iných pomocných zariadení musí byť zdokumentované a musí zodpovedať zvyčajnému použitiu. Pri použití klimatizačného systému a vyhrievania počas skúšky musia byť okná vozidla zatvorené. [6]

V prípade, že vozidlo využíva periodicky regeneratívne systémy, musia byť všetky výsledky opravené použitím faktora alebo korekciami K_i . Periodicky regeneratívny systém je nariadením (EÚ) č. 2018/1832 definovaný ako zariadenie na reguláciu výfukových emisií, ktoré si vyžaduje periodický regeneračný proces. [9][6]

Skúšané vozidlo nesmie byť riadené extrémnym spôsobom jazdy s cieľom dosiahnuť úspešný alebo neúspešný test. Vozidlo musí byť v čase skúšky v dobrom technickom stave a zabehnuté. Pred skúškou musí mať najazdených aspoň 3000 km. Najazdené kilometre a vek skúšaného vozidla sa zaznamenávajú. [6]

6.1.4 Požiadavky na jazdu

Skúška v prevádzke rozlišuje tri základné časti a to v obci, mimo obce a na diaľnici, klasifikované podľa okamžitej rýchlosti. Časti musia byť vyjadrené percentuálnym podielom celkového trvania jazdy. Jazdný cyklus pozostáva približne z 34 % jazdy v obci, 33 % jazdy mimo obce a 33 % jazdy na diaľnici. Hodnoty by sa mali pohybovať v intervale ± 10 percentuálnych bodov, pričom jazda v obci nesmie byť kratšia ako 29 % celkovej skúšky. Skúška sa začína vždy v obci, nasleduje jazda mimo obce a úsek po diaľnici. Minimálna dĺžka každého cyklu skúšky by mala byť 16 km a trvanie skúšky RDE by sa malo pohybovať v rozmedzí od 90 do 120 minút.

Priebeh skúšky v obci je charakterizovaný rýchlosťou vozidla nižšou alebo rovnou 60 km/h. Priemerná rýchlosť v priebehu skúšky v obci by sa mala pohybovať medzi 15 a 40 km/h. Zastávky sú definované rýchlosťou vozidla nižšou ako 1 km/h a musia pokrývať 6 - 30 % časti cyklu v obci. Zastavenie vozidla v obci môže trvať 10 sekúnd alebo dlhšie, ale nesmie prekročiť dobu 300 sekúnd. V prípade prekročenia tohto limitu je jazda vyhlásená za neplatnú.

Rýchlosť vozidla v časti cyklu mimo obce by sa mala pohybovať medzi 60 až 90 km/h. Jazdu mimo obce je možné prerušiť v krátkych úsekoch jazdou v obci.

Rýchlosť vozidla na diaľnici by mala byť vyššia než 90 km/h, pričom aspoň počas 5 minút musí byť vyššia ako 100 km/h. Maximálna rýchlosť nesmie prekročiť 145 km/h s odchýlkou maximálne 15 km/h v intervale menšom ako 3% z celkového cyklu na diaľnici. Časť jazdy vozidla po diaľnici môže byť prerušená krátkymi úsekmi jazdou v obci alebo mimo obce, ak vozidlo prechádza napríklad mýtnou stanicou alebo úsekom, v ktorom sa vykonávajú cestné práce. [8][3][6]

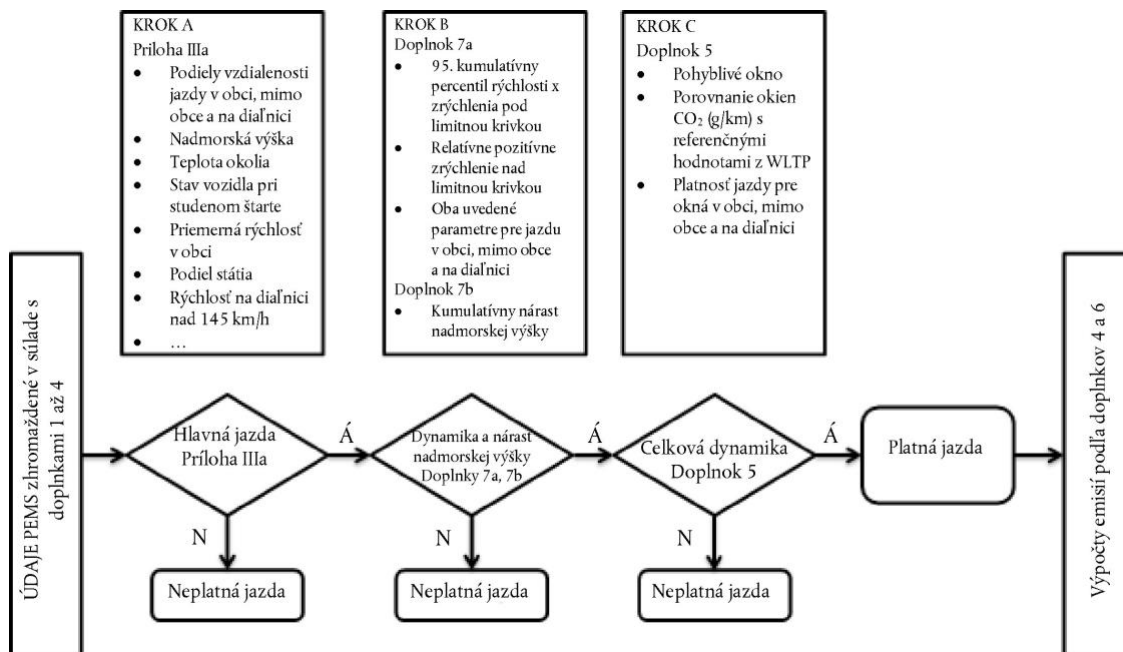
6.1.5 Prevádzkové požiadavky

Skúška by sa mala vykonávať v pracovných dňoch na spevnených vozovkách pričom sa trasa musí zvoliť tak, aby bol priebeh skúšky a záznam údajov neprerušovaný. Napájanie systému PEMS musí byť zabezpečené externým zdrojom, aby nebola čerpaná energia z motora skúšobného vozidla. Systém PEMS musí byť inštalovaný tak, aby čo najmenej ovplyvňoval emisie a výkon skúšaného vozidla. [3]

Studený štart predstavuje stav, kedy je teplota chladiaceho média nižšia alebo rovná 35 °C, prípadne je maximálne o 7 °C vyššia ako teplota okolia [3]. Pri skúške emisií v skutočnej prevádzke je však studený štart definovaný ako čas od začiatku skúšky do okamihu, kedy skúšané vozidlo jazdilo 5 minút prípadne keď teplota chladiaceho média prvý krát dosiahne teplotu 70 °C [6].

6.1.6 Overenie platnosti skúšky RDE

Validácia platnosti jazdy sa overuje trojkrokovým postupom, ktorého kroky sú uvedené na obrázku Obr. 6.1. Krok A overuje splnenie všeobecných požiadaviek a hraničných podmienok popísaných v časti 6.1.1. Taktiež overuje požiadavky na jazdu popísané v časti 6.1.4, požiadavky na prevádzku a špecifikácie vzťahujúce sa na mazací olej, palivo a čidlá. V kroku B sa vyhodnocuje splnenie dynamiky a nárastu nadmorskej výšky. V poslednom kroku C prebehne overenie pomocou pohyblivých okien, porovnanie okien CO₂ s referenčnými hodnotami z meracieho cyklu WLTC a overí sa platnosť jazdy pre okná v obci, mimo obce a na diaľnici. Ak sú všetky tieto kroky splnené, je jazda prehlásená za platnú a nasleduje vyhodnotenie a výpočet emisii výfukových plynov. Ak prinajmenšom jedna z validačných požiadaviek nebola splnená, je skúška vyhlásená za neplatnú. [3][6]



Obr. 6.1: Schéma postupu overenia platnosti jazdy [3]

Po overení platnosti jazdy sa vypočítajú výsledky emisií. Výpočet prebieha medzi začiatkom a koncom skúšky. V prípade rozšírenia okolitých podmienok popísaných v 6.1.1 v priebehu skúšky, sa emisie znečisťujúcich látok, okrem CO₂, vzniknuté v tomto úseku vydedia hodnotou 1,6 než sa začne overovať platnosť skúšky. [6]

6.1.7 Vyhodnocovanie

Pri vyhodnocovaní sa musí urobiť časová korekcia parametrov. Pre správny výpočet emisií je potrebné zosúladiť zaznamenané údaje o hmotnostnom prietoku výfukových plynov, koncentrácií zložiek, rýchlosti vozidla a ďalších parametrov s časovou osou a prejdenou vzdialenosťou. Taktiež je potrebné urobiť korekciu emisií v prípade, že boli emisie merané v suchom stave. V takom prípade sa namerané koncentrácie prevádzajú zo suchého stavu na mokrý stav. Súčasťou vyhodnocovania je aj stanovenie okamžitých plynných komponentov výfukových plynov pomocou metód popísaných legislatívou a určenie hmotnostného prietoku výfukových plynov na výpočet okamžitých hmotnostných emisií plynných zložiek a na výpočet okamžitého počtu emitovaných častíc.

6.1.8 Neprekročiteľné limitné hodnoty emisií

Skúška v reálnej prevádzke vykazuje veľký rozsah výsledkov nameraných emisií. Preto boli nariadením (ES) č. 715/2007 zavedené neprekročiteľné limitné hodnoty emisií (NTE z angl. Not To Exceed). Tie definujú najvyššie povolené emisie pre NO_x a PN. Limity sú definované faktorom zhody (CF) popísaným v časti 6.1.9 a emisným nariadením Euro 6 vzťahom

$$NTE_{\text{pollutant}} = CF_{\text{pollutant}} \times \text{Euro 6} \quad (4)$$

kde $CF_{\text{pollutant}}$ je faktor zhody a Euro 6 predstavuje aktuálnu limitnú hodnotu zvolenej škodliviny vo výfukových plynch.

Neprekročiteľné limity sa jednotlivo rešpektujú pre mestskú časť skúšky a pre celkovú skúšku RDE. [7]

6.1.9 Faktor zhody

Faktor zhody $CF_{\text{pollutant}}$ predstavuje pomer nameraných hodnôt emisií pomocou systému PEMS počas skúšky v reálnej prevádzke a hodnôt získaných laboratórnou skúškou WLTC. Chyba pri meraní je spôsobená komplikovaným priebehom skúšky RDE, činnosťou analyzátorov v neoptimálnom prostredí, ale tiež okolitými podmienkami, ktoré sa môžu pri rôznych skúškach líšiť.

Dočasné faktory zhody		
Znečisťujúca látka	Hmotnosť NO _x	Počet častíc PN
$CF_{\text{pollutant}}$	2,1	1+ tolerancia PN = 0,5
Konečné faktory zhody		
Znečisťujúca látka	Hmotnosť NO _x	Počet častíc PN
$CF_{\text{pollutant}}$	1 + tolerancia NO _x = 0,43	1+ tolerancia PN = 0,5

Tab. 6.2: Hodnoty faktorov zhody [6][9].

Tolerancia zohľadňuje neistoty merania vznikajúce používaním systému PEMS. Technickým pokrokom a zlepšovaním kvality týchto systémov by sa mali hodnoty tolerancie znižovať. Dočasné faktory zhody boli uplatňované v rámci normy EURO 6d-Temp od septembra 2017 do januára 2020 pre nové modely vozidiel a pre všetky vozidlá

od septembra 2019 do januára 2021 v prípade emisií NO_x a od septembra 2018 v prípade emisií PN [10].

6.2 Prenosný systém na meranie emisií (PEMS)

Skúška RDE sa vykonáva pomocou prenosného systému na meranie emisií PEMS. Základom prenosnej meracej jednotky PEMS sú analyzátory výfukových plynov na stanovenie koncentrácie znečisťujúcich látok s prístrojom na meranie, prípadne určenie hmotnostného prietoku výfukových plynov pripojený k počítaču. Súčasťou meracej jednotky je systém na určovanie polohy (GPS z angl. Global Positioning System) a senzor snímania atmosférických podmienok, ktoré sú umiestnené na najvyššom možnom mieste vozidla. Pomocou modulu GPS sú určené údaje o polohe, nadmorskej výške a rýchlosti vozidla. Pred samotnou skúškou je zariadenie PEMS uvedené do pohotovostného režimu, kedy sú skontrolované údaje získavané z meracej jednotky. [8]



Obr. 6.2: Systém PEMS [32]

Inštalácia systému PEMS na vozidlo je riešená individuálne a riadi sa pokynmi výrobcu konkrétneho zariadenia. Prevažne sú zariadenia PEMS umiestňované na ťažné zariadenie vozidla alebo do batožinového priestoru vozidla. Navyiac musí umiestnenie zariadenia spĺňať miestne bezpečnostné a zdravotné predpisy. Systém musí byť

nainštalovaný tak, aby bolo minimalizované elektromagnetické rušenie, vystavenie veľkým výkyvom teploty a pôsobenie nárazov, vibrácií a prachu na zariadenie. Zásadná podmienka úspešného merania je tesné prepojenie analyzátoru a výfukového potrubia, aby nedochádzalo k úniku spalín [8]. Montáž nesmie ovplyvniť povahu výfukových plynov a výrazne predĺžiť výfukové potrubie. Pri prepájaní meracieho systému a výfukového potrubia sa neodporúča použitie elastomérových konektorov, ktoré by mohli pri teplote výfukových plynov ovplyvniť hodnoty nameraných častíc. V prípade použitia elastomérových konektorov nesmie dôjsť k ich kontaktu s výfukovými plynmi. Taktiež je nutné dbať na to, aby montážou odbernej sondy nedošlo k neprimeranému zvýšeniu tlaku vo výfukovom potrubí, ktorý by mohol ovplyvniť výsledky merania.

Vzorky emisií sú odoberané v miestach, kde je vplyv okolitého vzduchu minimálny a výfukové plyny sú dôkladne premiešané. Výfukové plyny vystupujúce zo systému PEMS nesmú ovplyvniť odber vzoriek. Sonda na odber vzoriek musí byť od výstupu systému PEMS vzdialená minimálne 200 mm alebo trojnásobok vnútorného priemeru výfukového potrubia. Odber výfukových plynov sa pri motore so systémom dodatočnej úpravy spalín vykonáva až za týmto systémom. Konštrukcia všetkých prvkov meracieho systému, ktoré sú v kontakte s výfukovými plynmi, musí minimalizovať usadzovanie častíc a elektrostatický účinok. [3]

Pred každou testovacou jazdou musí prebehnúť kalibrácia analyzátorov v zariadení PEMS a validačná jazda vo valcovej skúšobni, čím sa potvrdí správnosť merania zariadenia PEMS a jeho presnosť, v porovnaní s výsledkami zo stacionárneho meracieho zariadenia v laboratóriu. Následne sa vozidlo nechá stabilizovať s vypnutým motorom pri teplote približne 23 °C [8].

Napriek tomu, že všetky zariadenia PEMS používané v rámci homologačnej skúšky musia spĺňať podmienky určené nariadením, výsledky meraní sa môžu mierne líšiť v závislosti od výrobcu daného meracieho zariadenia. Všeobecne je snaha o to, aby boli tieto zariadenia kompaktné, modulárne a hlavne spoľahlivé a presné aj v náročných podmienkach.

6.2.1 Validácia systému PEMS

Pred homologačnou skúškou musí merací systém PEMS absolvovať validačnú skúšku. Systém sa nainštaluje na vozidlo podľa časti 6.2 a musí zostať bez zmeny až do skúšky v reálnej prevádzke. Validačná skúška sa vykoná na valcovom dynamometri. [3][6]

6.2.2 Typy bežne používaných zariadení PEMS

Zariadenia PEMS možno v prvej rade rozdeliť na certifikované a necertifikované k homologácii vozidla v rámci RDE skúšky. Medzi certifikované PEMS zariadenia patria napríklad AVL M.O.V.E. a Horiba OBS-ONE. Tiež je možné zariadenia rozdeliť podľa používaných analyzátorov, a teda škodlivých látok, ktoré dokážu analyzovať. V neposlednom rade vieme zariadenia PEMS rozdeliť podľa spôsobu, akým sú na merané vozidlo nainštalované.

Cena analyzátorov PEMS určených k výslednej homologácii sa zväčša pohybuje okolo čiastky 100 - 150 tisíc eur. Vzhľadom na komplikovanosť týchto zariadení sa ich hmotnosť môže pohybovať medzi 30 -50 kg v závislosti od zariadenia a príslušenstva.

6.2.2.1 Zariadenie PEMS pre meranie plynných emisií

Vhodným príkladom zariadenia PEMS pre analýzu plynných výfukových emisií je AVL M.O.V.E Gas PEMS iS na Obr. 6.3. Základnými komponentmi je nedisperzný analyzátor s rezonančnou absorpciou ultrafialového spektra (NDUV) k priamemu meraniu obsahu oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂), a nedisperzný analyzátor s absorpciou infračerveného pásma (NDIR) pre priame meranie obsahu oxidu uhoľnatého (CO) a oxidu uhličitého (CO₂) vo výfukových plynach. Ďalšími dôležitými prvkami tohto zariadenia je upevňovací systém na ťažné zariadenie vozidla, GPS modul a snímač atmosférických podmienok, prietokomer, kalibračná jednotka, vyhrievaná vzorkovacia hadica a batérie. Zloženie všetkých týchto komponentov a ďalšieho príslušenstva do kompaktnej jednotky vedie k jej celkovej hmotnosti približne 45 kg.



Obr. 6.3: Popis AVL M.O.V.E Gas PEMS iS [26]

6.2.2.2 Zariadenie PEMS pre meranie emisií častíc

Pre meranie emisií tuhých častíc poskytuje výrobca AVL zariadenie AVL M.O.V.E PN PEMS iS, ktoré spĺňa požiadavky na meranie v reálnej prevádzke RDE pre osobné vozidlá a súčasne je kompaktné a odolné voči vonkajším vplyvom. Toto zariadenie je možné použiť samostatne alebo v kombinácii s platformou M.O.V.E iS, kde sa inštaluje na spodnú časť meracieho modulu Gas PEMS iS popísaného v časti 6.2.2.1. Zariadenie umožňuje meranie častíc veľkých 10 alebo 23 nm. Systém obsahuje jednotku na odber vzoriek zriedených výfukových plynov s regulovanou teplotou a jednotku na odstraňovanie prchavých častíc, aby boli minimalizované straty častíc.



Obr. 6.4: AVL M.O.V.E PN PEMS is [27]

6.2.3 Analyzátory v zariadeniach PEMS

Štandardné typy analyzátorov, ktoré je možné použiť v rámci systému PEMS uvádza predpis EHK OSN č.83. Na základe predpisu musí byť na analýzu oxidu uhoľnatého (CO) a oxidu uhličitého (CO₂) použitý nedisperzný analyzátor s absorpciou infračerveného pásma (NDIR). Pri analýze celkových uhľovodíkov (THC) predpis nariaďuje použitie plameňo-ionizačný analyzátor (FID) kalibrovaný propánom v prípade použitia zážihového spaľovacieho motora. Pri analýze celkových uhľovodíkov (THC) produkovaných vznetovými spaľovacími rovnako použije plameňo-ionizačný analyzátor kalibrovaný propánom, avšak celý merací systém je ohrievaný na 190 °C odchýlkou 10 °C (HFID). Analýza metánu (CH₄) sa môže vykonať plynným chromatografom kombinovaným s plameňo-ionizačným analyzátorom (FID) alebo plameňo-ionizačným analyzátorom (FID) so separátorom uhľovodíkov iných ako metán. Pri analýze vody (H₂O) musí byť použitý nedisperzný analyzátor s absorpciou infračerveného pásma (NDIR) kalibrovaný vodnou parou alebo propylenom. Pri analýze vodíka musí byť použitý sektorový hmotnostný spektrometer kalibrovaný vodíkom. V prípade analýzy oxidov dusíka (NO_x) sa musí použiť chemiluminiscenčný analyzátor (CLA) alebo nedisperzný analyzátor s rezonančnou absorpciou ultrafialového spektra (NDUVR). Oba typy analyzátorov pri tom musia obsahovať konvertor NO_x - NO. [20] V prípade, že samotný analyzátor umožňuje merať emisie oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂) nie je potrebné použiť konvertor. [3]

Za určitých podmienok je možné použiť alternatívne analyzátory. Tie však musia dosahovať rovnakú alebo vyššiu presnosť pri meraní koncentrácií škodlivých a znečisťujúcich látok. Súčasne musia spĺňať aj ďalšie špecifikácie popísané nariadením (EÚ) 2017/1151.

Základnými prvkami analyzátora počtu emitovaných častíc musí byť jednotka na prekondicionovanie a detektor častíc. Detektor by mal byť schopný počítat častice od veľkosti 23 nm s účinnosťou 50%. V prípade, že sa odoberajú nezriedené častice z výfukového potrubia, odberná trubica sa ohrieva na teplotu minimálne 100 °C do bodu prvého zriedenia analyzátorom počtu častíc alebo až k detektoru častíc. Zotrvanie vzorky v tomto úseku musí byť kratšie ako 3 sekundy.

Pri meraní iných zložiek výfukových plynov ako uhľovodíkov (THC) musí byť udržiavaná teplota odberného potrubia na hodnote minimálne 60 °C, aby nedošlo ku kondenzácii plynov a bola zaistená vhodná účinnosť prieniku všetkých regulovaných plynných látok.

6.3 Priebeh emisnej skúšky RDE

Nariadenie (EÚ) 2018/1832 definuje začiatok emisnej skúšky prvým naštartovaním spaľovacieho motora. Systém odberu vzoriek a zaznamenávania všetkých potrebných parametrov sa spustí pred začiatkom skúšky. Vozidlo musí byť uvedené do pohybu do 15 sekúnd od začiatku skúšky a zastavenie vozidla počas studeného štartu nesmie presiahnuť 90 sekúnd.

V priebehu samotnej skúšky musí byť záznam parametrov a odber vzoriek nepretržite spustený. Spaľovací motor je možné vypnúť a naštartovať, avšak záznam parametrov a odber vzorky výfukových plynov nesmie byť prerušený. V prípade akejkoľvek poruchy alebo chybového hlásenia systému PEMS musí byť skúška vyhlásená za neplatnú. Úplnosť zaznamenaných údajov musí byť vyššia ako 99 %. Prípadné prerušenie zaznamenávania dát nesmie prekročiť 1 % celkového trvania emisnej skúšky a interval prerušenia záznamu nesmie trvať dlhšie ako 30 sekúnd. [8][3]

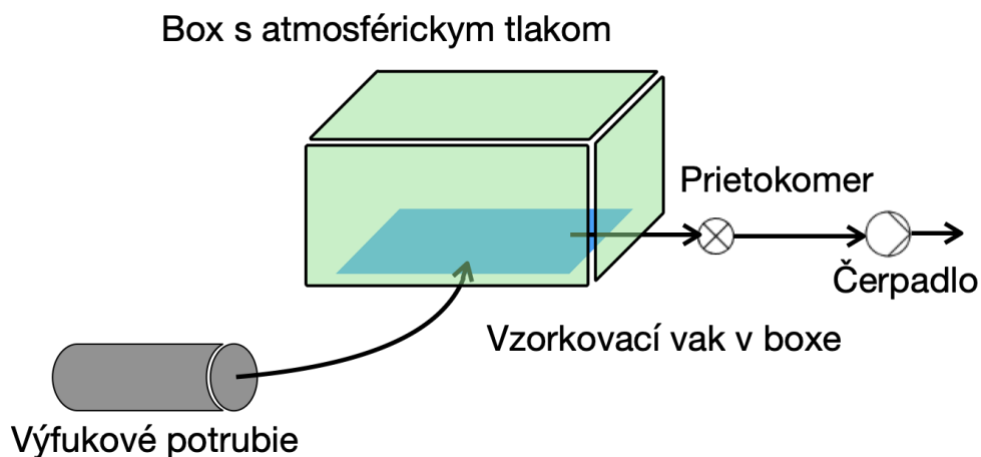
Emisná skúška je ukončená vypnutím spaľovacieho motora. Po zastavení vozidla pred ukončením emisnej skúšky je nutné bezodkladne vypnúť spaľovací motor, prípadne zaručiť, že pobeží čo najkratšiu dobu na voľnobeh. Záznam parametrov a odber vzorky výfukových plynov sa ukončia po uplynutí odozvy odberného systému.

7 Návrh zariadenia

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť alternatívu k aktuálne používaným zariadeniam PEMS. Zariadenia PEMS musia dosahovať presnosť merania blížiacu sa presnosti analyzátorov v laboratóriu, avšak s tým rozdielom, že musia dosahovať také rozmery, aby ich bolo možné umiestniť do vozidla, prípadne ho naň nainštalovať. Nie len táto podmienka, ale aj činnosť analyzátorov v nepriaznivých podmienkach predstavuje značnú komplikáciu, ktorá často vedie nie len k vysokej hmotnosti a cene týchto zariadení, ale tiež časovo náročnej príprave merania RDE.

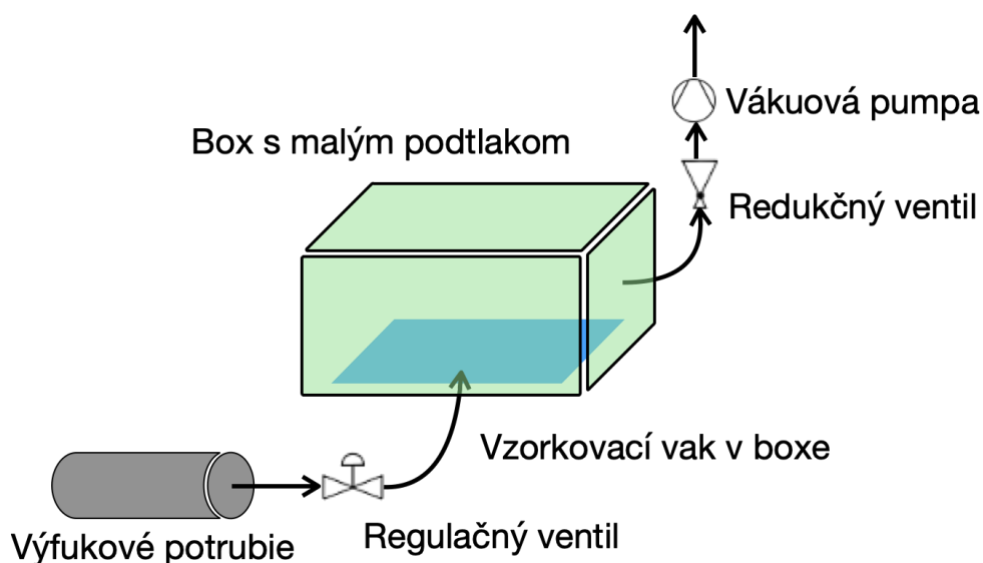
7.1 Návrh systému odberu a ukladania spalín

Vzhľadom ku spomínaným komplikáciám so zariadeniami PEMS vznikla myšlienka využitia analyzátorov používaných v laboratóriu pri meraní skúšky WLTC. V priebehu skúšky RDE by boli výfukové plyny ukladané do vaku podobne ako v prípade systému CVS. Po skúške by bola odobratá vzorka pripojená k analyzátorom a vyhodnotili by sa priemerné emisie z celej skúšky RDE. Aby bolo možné túto vzorku správne analyzovať, bolo pre ňu potrebné vytvoriť optimálne podmienky vo vaku. S tým súvisela voľba vhodného vaku aby nedochádzalo k reakciám vaku s emisiami výfukových plynov a nebolo tým zmenené chemické zloženie výfukových plynov. Aby nedochádzalo ku kondenzácií výfukových plynov, bolo potrebné udržiavať teplotu v okolí vaku nad teplotou rosného bodu. Ďalším krokom bol návrh vhodného systému na odber vzorky a systém na odčerpanie vaku do analyzátorov v laboratóriu. Ako obal tohto zariadenia musel byť zvolený odolný box s dostatočným objemom, do ktorého by bolo možné umiestniť vak na ukladanie spalín. S ohľadom na požadované vlastnosti vznikli dva návrhy zariadenia. V prvom návrhu zobrazenom na Obr. 7.1 bol uvažovaný atmosféricky tlak v boxe. Výfukové plyny by boli do vaku nasávané tlakom pomocou čerpadla.



Obr. 7.1: Návrh systému na odber výfukových plynov s atmosférickým tlakom

V druhej variante zobrazenej schematicky na Obr. 7.2, bol uvažovaný malý podtlak v boxe, ktorým by boli výfukové plyny nasávané do vaku z výfukového potrubia. Podtlak v boxe by bol udržiavaný vývevou a ovládaný redukčným ventilom. Prietok spalín by bol regulovaný ventilom aby bol zaručený dostatočný objem vaku pre celú skúšku.



Obr. 7.2: Návrh systému na odber výfukových plynov s podtlakom

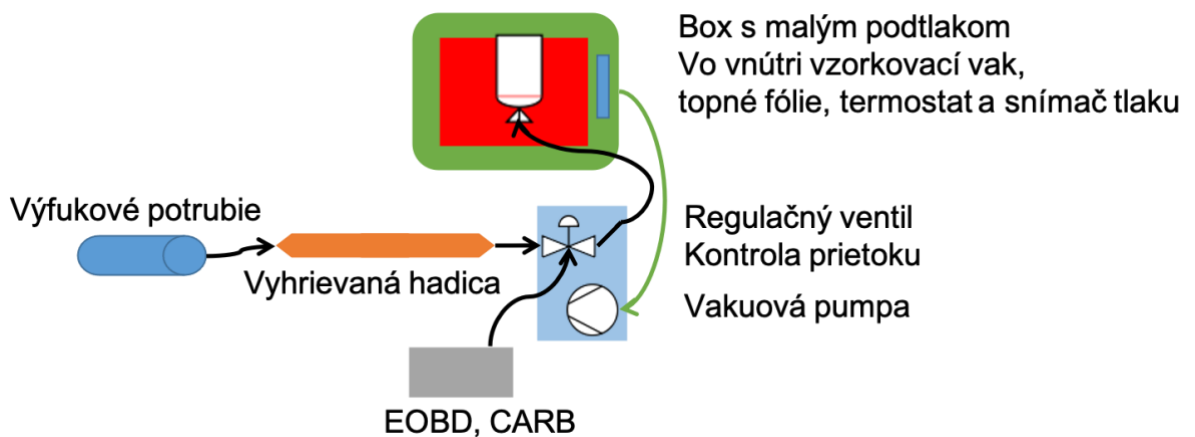
S ohľadom na teplotu výfukových spalín, ktorá by mohla mať nepriaznivý vplyv na funkčnosť a životnosť čerpadla z prvej varianty, bol ako vhodnejší a konštrukčne výhodnejší zvolený druhý návrh. Priemerný prietok spalín do vaku bol zvolený na hodnotu približne 1 l/min pričom regulácia by bola ovládaná na základe prevádzkového režimu vozidla. Keďže trvanie skúšky RDE by sa malo pohybovať v rozmedzí 90 - 120

minút, za použitia zvoleného prietoku spalín by mal na celú skúšku vystačiť vak s objemom 100 L.

Vzhľadom k tomu, že navrhnuté zariadenie by nespĺňalo všetky atribúty predpísané európskymi nariadeniami, zaradilo by sa do kategórie necertifikovaných zariadení. Výhodou tohto zariadenia by mala byť jeho cena a hmotnosť v porovnaní s dnes bežne používanými zariadeniami PEMS.

7.2 Ideový návrh

Na základe zvoleného návrhu systému z časti 7.1 bol vytvorený ideový návrh načrtnutý a popísaný na schéme Obr. 7.3.



Obr. 7.3: Ideový návrh odberu spalín

Zariadenie bolo navrhnuté na princípe odberu mokrých spalín aby nedochádzalo ku kondenzácii vody vo výfukových plynch a tým pádom k skresleniu výsledkov analýzy sledovaných zložiek. Z toho dôvodu musíme výfukové plyny udržiavať na teplote väčšej ako 55 °C. Využijeme k tomu vyhrievanú hadicu, ktorá bude podobne ako u zariadení PEMS pripojená k výfukovému potrubiu. Touto vyhrievanou hadicou budú výfukové plyny vedené cez regulačný ventil do odberného vaku umiestneného vo vyhrievanom boxe. Aby mohol byť prietok spalín regulovaný na základe prevádzkového režimu vozidla, bol regulačný ventil pripojený k palubnému diagnostickému rozhraniu EOBD (z angl. European On-Board Diagnostics).

7.3 Diagnostické rozhranie EOBD

Palubná diagnostika (OBD z angl. On-Board Diagnostics) predstavuje vlastnú diagnostiku integrovanú priamo vo vozidle, ktorá sleduje činnosť vozidla a ukladá zistené chybové hlásenia formou kódov do riadiacej jednotky. Diagnostika EOBD je európskym ekvivalentom americkej normy OBD II a slúži ku kontrole emisií a diagnostike motoru. Rozhranie EOBD využíva diagnostické signály z riadiacej jednotky a priebehy napätia z jednotlivých senzorov. Od roku 2001 musia byť všetky novo registrované vozidla v Európe so zážihovými a od roku 2003 všetky novo registrované vozidla so vznetrovými motormi kompatibilné s diagnostikou EOBD [28]. Pripojenie k palubnému diagnostickému rozhraniu preto tvorí najjednoduchší spôsob získania informácií o prevádzkovom režime vozidla. K pripojeniu sa používa normovaná diagnostická zásuvka CARB (z angl. California Air Resources Board). Pomocou palubnej diagnostiky bol získaný prístup k signálu zo snímača množstva vzduchu a rýchlosti vozidla. V prípade využitia signálu zo snímača množstva vzduchu musíme počítať s chybou spôsobenou dopravným oneskorením.

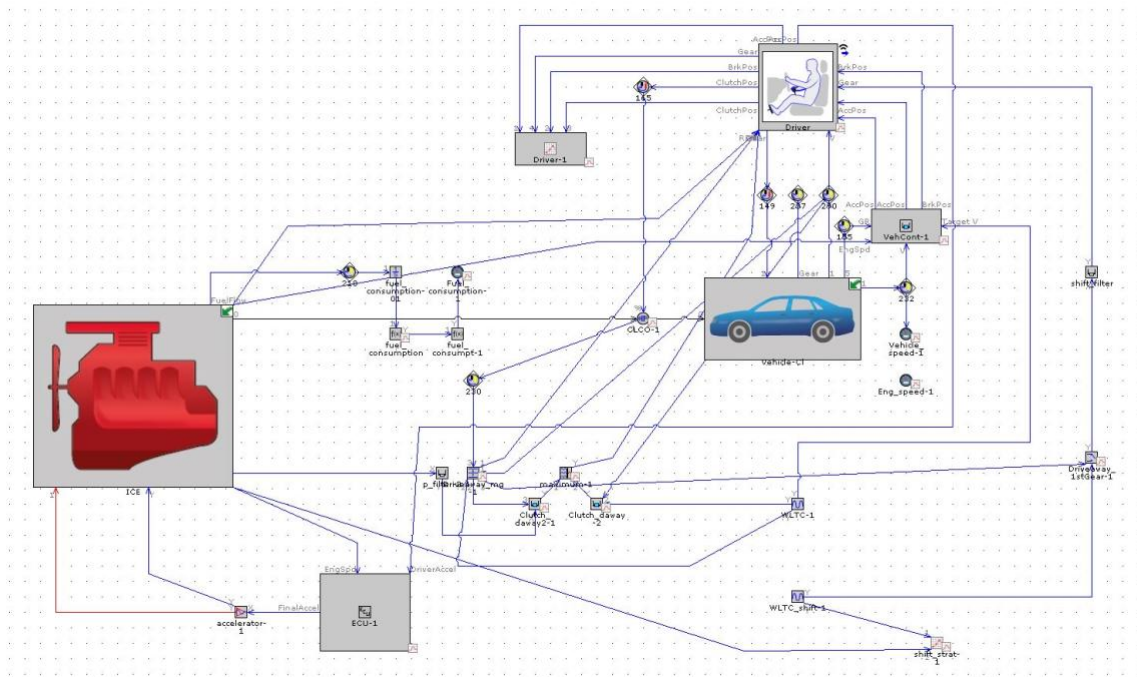
7.4 Matematický model

Pre reguláciu prietoku spalín do odberného vaku bolo potrebné stanoviť stratégiu ovládania redukčného ventilu podľa hmotnostného prietoku nasávaného vzduchu tak, aby vystačil objem vzorkovacieho vaku pre celý cyklus RDE. Ako bolo spomenuté v časti 7.3, bol pre zistenie hmotnostného prietoku nasávaného vzduchu použitý signál snímača množstva vzduchu MAF (z angl. Mass Air Flow).

Matematické modely, simulačné modely a stratégia regulácie prietoku spalín boli vytvorené členmi tímu podieľajúcimi sa na tomto projekte.

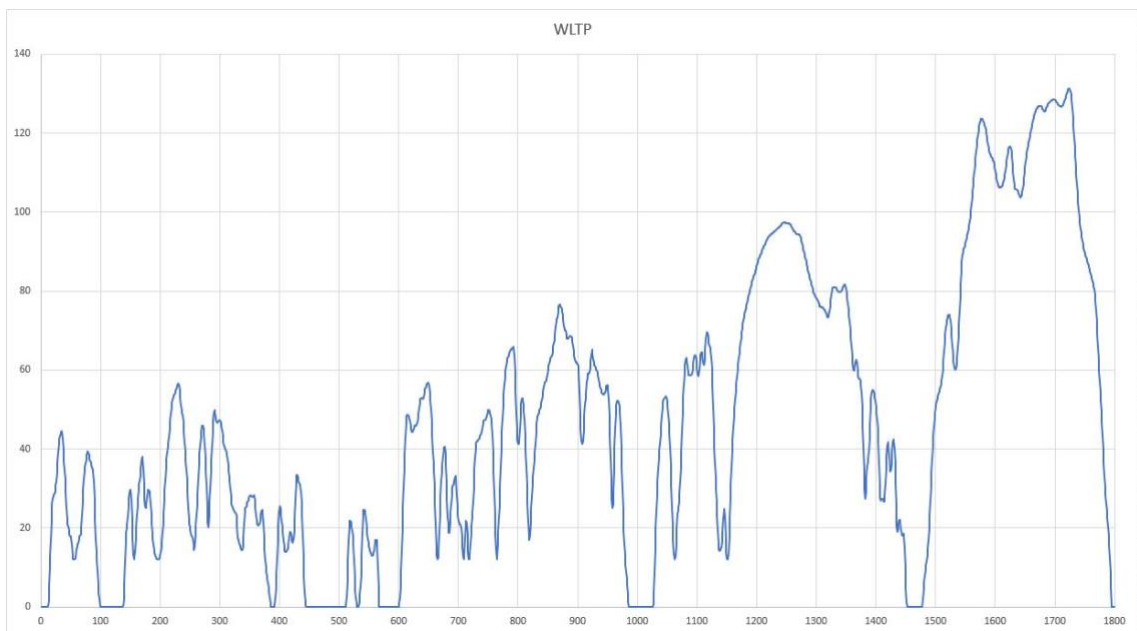
7.4.1 GT Suite

Na stanovenie stratégie regulácie prietoku spalín bol vytvorený simulačný model vozidla na valcovej brzde v programe GT Suite.

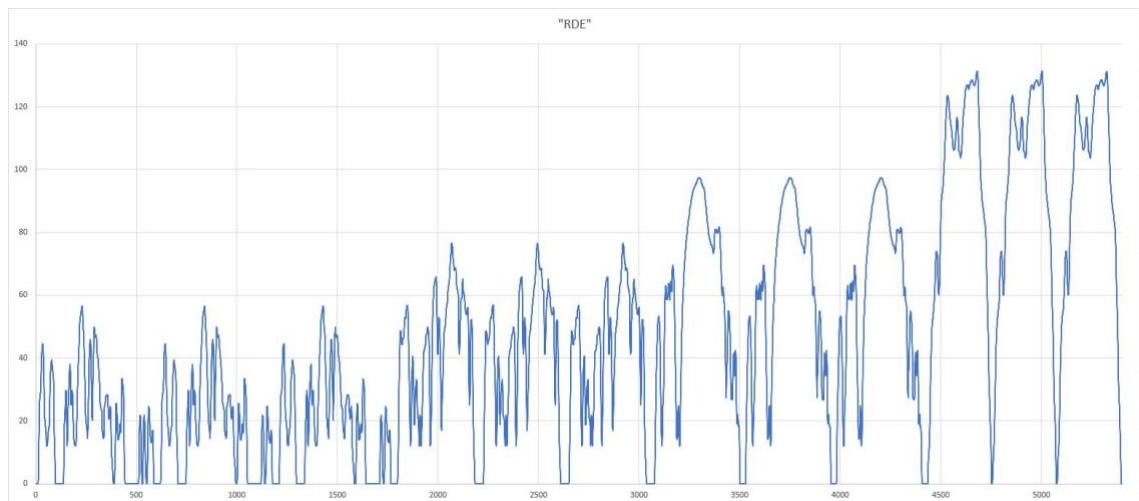


Obr. 7.4: Simulačný model vozidla v programe GT Suite

Model vozidla zobrazený na Obr. 7.4 obsahuje spaľovací motor podobný tomu, na ktorom sa budú vykonávať overovacie merania. Pre potreby simulácií bol vytvorený fiktívny RDE cyklus zobrazený na Obr. 7.6, s dĺžkou trvania 90 minút. Tento cyklus bol vytvorený rozdelením jednotlivých častí WLTC cyklu na Obr. 7.5 a ich skopírovaním.

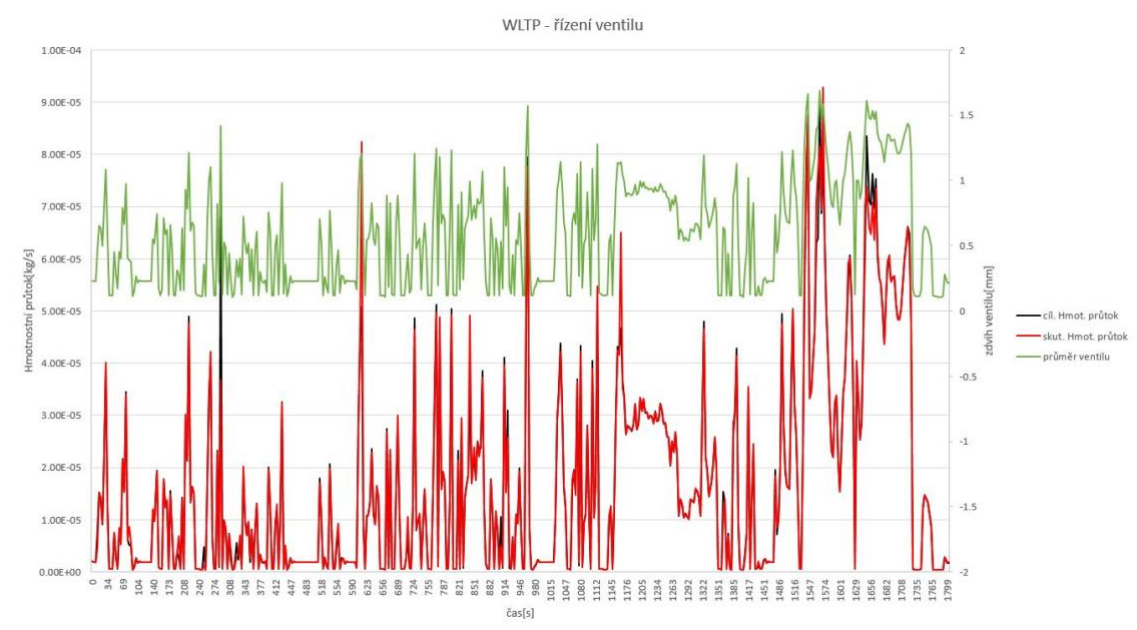


Obr. 7.5: WLTC cyklus



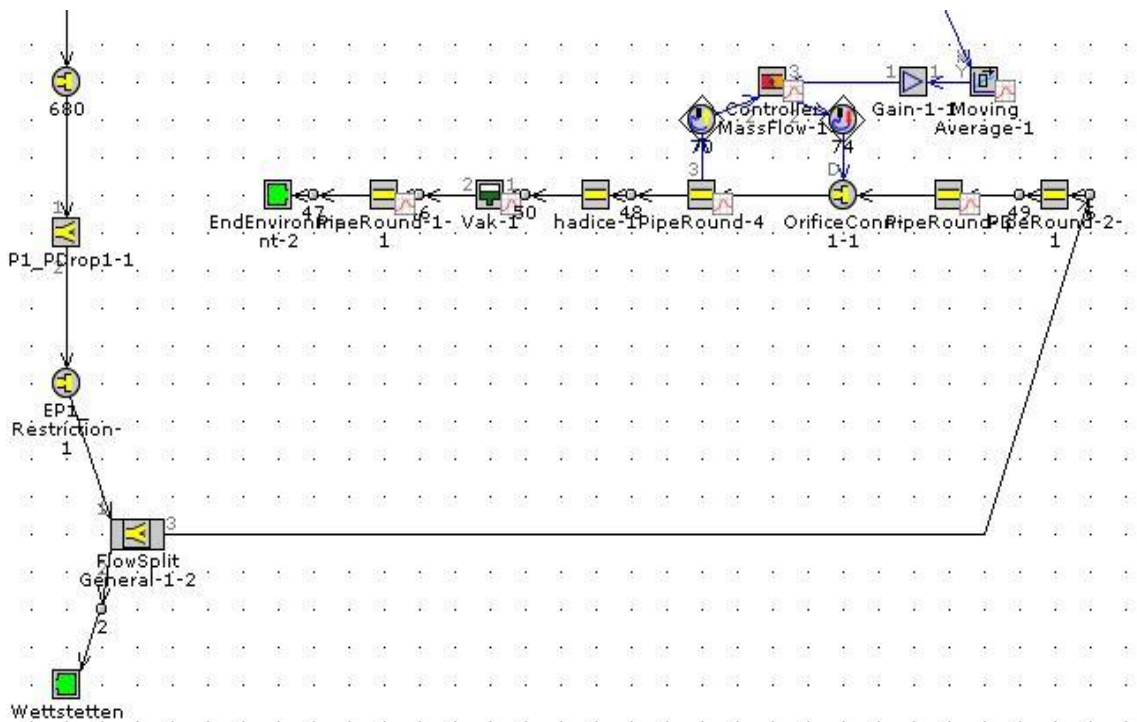
Obr. 7.6: Fiktívny RDE cyklus

V rámci matematického modelu boli simulované jednotlivé komponenty. Pri simulácií vzorkovacieho vaku boli uvažované 2 tekutiny oddelené membránou so zanedbanou hmotnosťou a maximálny objem bol nastavený zhodný s objemom reálneho vaku, ktorý bol stanovený na 100 L pri uvažovanom prietoku 1 L za minútu. Podtlak, vytváraný podtlakovou pumpou, bol simulovaný prvkom s okrajovými podmienkami, kde bola nastavená hodnota tlaku tak, aby bola dosiahnutá hodnota podtlaku generovaného podtlakovou pumpou. Hodnota absolútneho tlaku bola nastavená na 97 kPa pri teplote 25 °C. Prierez riadeného ventilu je v simulácií riadený podľa zlomku hmotnostného prietoku nasávaného vzduchu do motora. Na Obr. 7.7 je vyobrazená závislosť riadeného ventilu na hmotnostnom prietoku použitá v simulácií.



Obr. 7.7: Strategie řízení ventilu

Na základě těchto simulací boli zvolené všetky potrebné komponenty popísané v časti 7.5.



Obr. 7.8: Schéma simulácie jednotlivých komponentov

7.5 Komponenty zariadenia

Na základe simulačného modelu boli zvolené komponenty potrebné k správne fungovaniu zariadenia na odber spalín. Táto časť práce popisuje jednotlivé komponenty a ich funkciu v zostave.

K výfukovému potrubiu bola pripevnená vyhrievacia hadica Hillesheim H9256-050-08-T5-C111Z2, umožňujúca prevádzkovú teplotu do 550 °C. Tá slúži k udržiavaniu teploty spalín na požadovanej teplote pri ich ukladaní do odberného vaku. Táto vyhrievaná hadica je zobrazená v reze na Obr. 7.9.



Obr. 7.9: Vyhrievacia hadica Hillesheim H9256-050-08-T5-C111Z2 [33]

Vyhrievaná hadica bola pripojená cez redukciu k proporcionálnemu ventilu Bürkert 2836 A, ktorý bol prepojený s diagnostickým rozhraním EOBD. Získanie dát z diagnostického rozhrania vozidla bolo realizované pomocou modulu USB NI-8473. Prietok výfukových spalín bol riadený na základe prevádzkového režimu vozidla. Samotný elektromagnetický ventil bol riadený signálom generovaným modulom National Instruments NI-9478. Ďalej boli do zostavy zapojené vstupné napäťové moduly NI-9269 a NI-9221. Všetky tieto moduly boli zapojené do zariadenia National Instruments cDAQ – 9174.



Obr. 7.10: National instruments cDAQ – 9174 [34]

Z regulačného ventilu boli spaliny vedené do odberného vaku. Ten musel byť zvolený tak, aby materiál vaku neovplyvňoval meranie a chemické zloženie uložených výfukových plynov o viac ako $\pm 2 \%$ po 30 minútach. S ohľadom na túto podmienku bol zvolený vak SKC Tedlar 100L priamo určený k ukladaniu výfukových plynov. Vak bol umiestnený v boxe Peli Case 1730 o objeme 170 l a vonkajšími rozmermi približne 955x690x365 mm. Aby nedochádzalo ku kondenzácii výfukových plynov, bol box vybavený vyhrievaním, realizovaným pomocou výhrevných fólií TF138 PES a TF546 s celkovým príkonom 420 W, umiestnených z vnútornej strany odberného boxu na vrchnej a spodnej časti boxu. Aby nedochádzalo k úniku tepla, boli vnútorné plochy doplnené o dodatočnú tepelnú izoláciu viditeľnú na snímke Obr. 7.17. Teplota vo vnútri boxu bola regulovaná pomocou termostatu STC 1000 pripevneného k boxu.

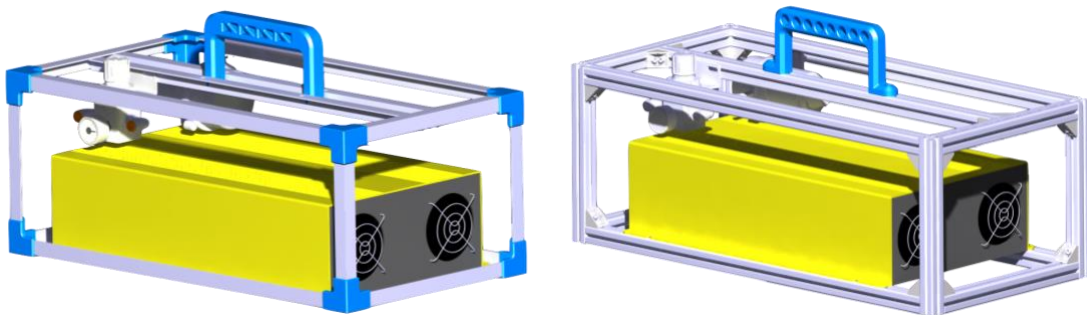
Pre správne ukladanie spalín do odberného vaku bolo potrebné vytvoriť v odbernom boxe malý podtlak o hodnote približne 0,5 kPa. Na vytvorenie tohto podtlaku bola použitá vákuová pumpa Hella UP28. Keďže nebola požadovaná jej trvalá prevádzka, bol do zostavy pridaný snímač tlaku pripojený k platforme Arduino a umiestnený vo vnútri meracieho boxu. Na základe toho bola vákuová pumpa spustená iba v prípade, že snímač zaznamená nedostatočný podtlak.

Prepojenie regulačného ventilu s vakom a vákuovej pumpy s boxom bol zaistený pomocou odolných teflónových hadičiek. Prechod cez stenu boxu bol realizovaný pomocou bežne dostupných spojok Mini dn5 pre prepážku s prevlečnou maticou.

K napájaniu celej zostavy boli použité externé batérie s napätím 24 V. Aby bolo možné napájať vyhrievanú hadicu s napájacím napätím 230 V, bolo potrebné použiť menič napätia.

7.6 Model CAD

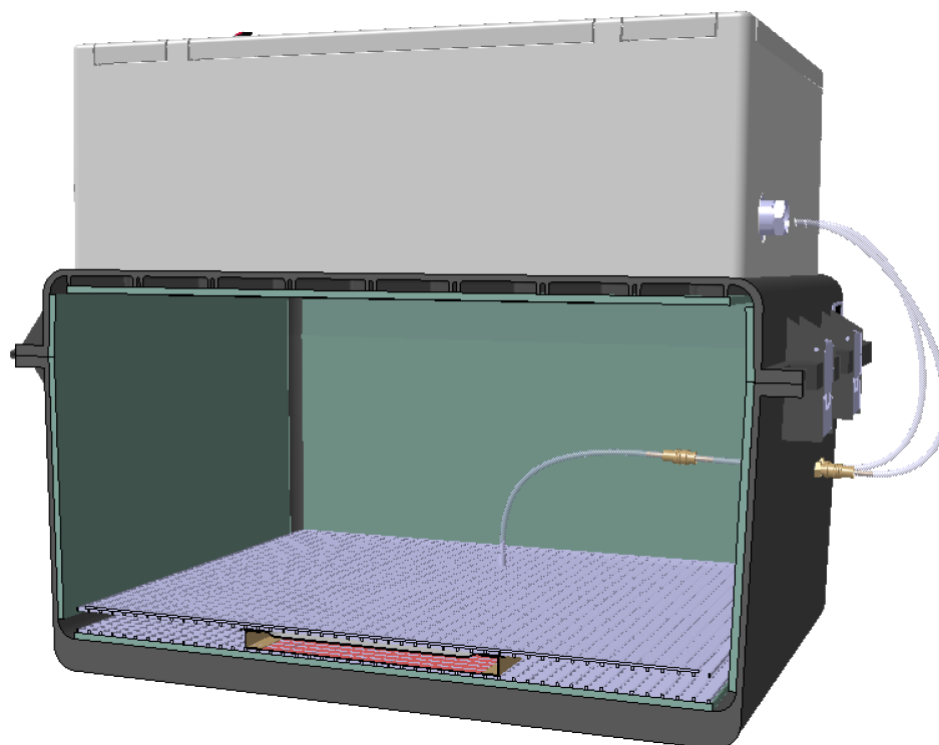
Na základe ideového návrhu, bol vytvorený model CAD pomocou softwaru Catia V5. V priebehu návrhu rozloženia komponentov bolo uvažovaných niekoľko možností ako prenášať jednotlivé prvky odberného systému. S ohľadom na hmotnosť samotného boxu Peli Case 1730 vznikli predbežné návrhy uloženia meniča napätia, vákuovej pumpy Hella UP28 a regulátor podtlaku do samostatnej rámovej konštrukcie. Návrhy tohto rámu sú zobrazené na obrázku Obr. 7.11.



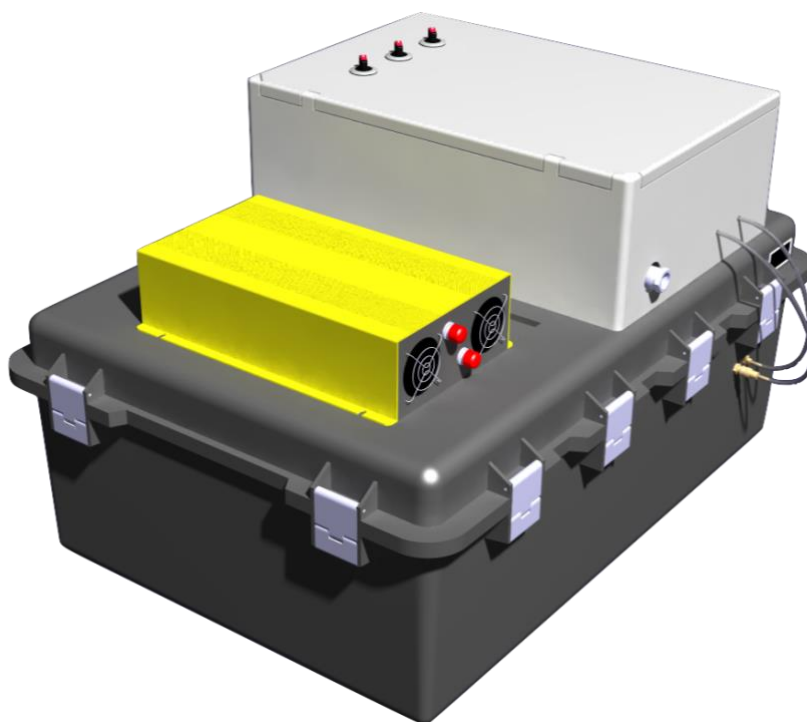
Obr. 7.11: Návrh rámu pre uloženie príslušenstva v01 na ľavej strane a v02 na pravej strane

Pre variantu v01 boli uvažované hliníkové profily tvaru L a rohové spojky vyrobené pomocou 3D tlačne. Pre variantu v02 bol použitý hliníkový konštrukčný systém, ktorého výhodou by bola možnosť jednoduchej demontáže a modifikovateľnosti v prípade zmeny rozmerov komponentov.

Konečný návrh na Obr. 7.13 bol zvolený s ohľadom na kompaktnosť. Na vrchnú časť odberného boxu bol umiestnený menič napätia a plastový P-box 4060 s rozmermi 400x600x200 mm, do ktorého bola umiestnená elektronika, regulačný ventil, vákuová pumpa a Compact DAQ. Na Obr. 7.12 je zobrazený rez finálneho modelu odberného boxu. Na obrázku je možné vidieť umiestnenie prvkov odberného boxu. Aby nedošlo k poškodeniu odberného vaku od výhrevnej fólie bol do boxu pridaný vnútorný rám oddeľujúci výhrevnú fóliu od tepelnej izolácie na dne odberného boxu a odberný vak od výhrevnej fólie. Taktiež je na tomto obrázku možné vidieť pripojenie odberného vaku pomocou rýchlo spojky Mini dn5.



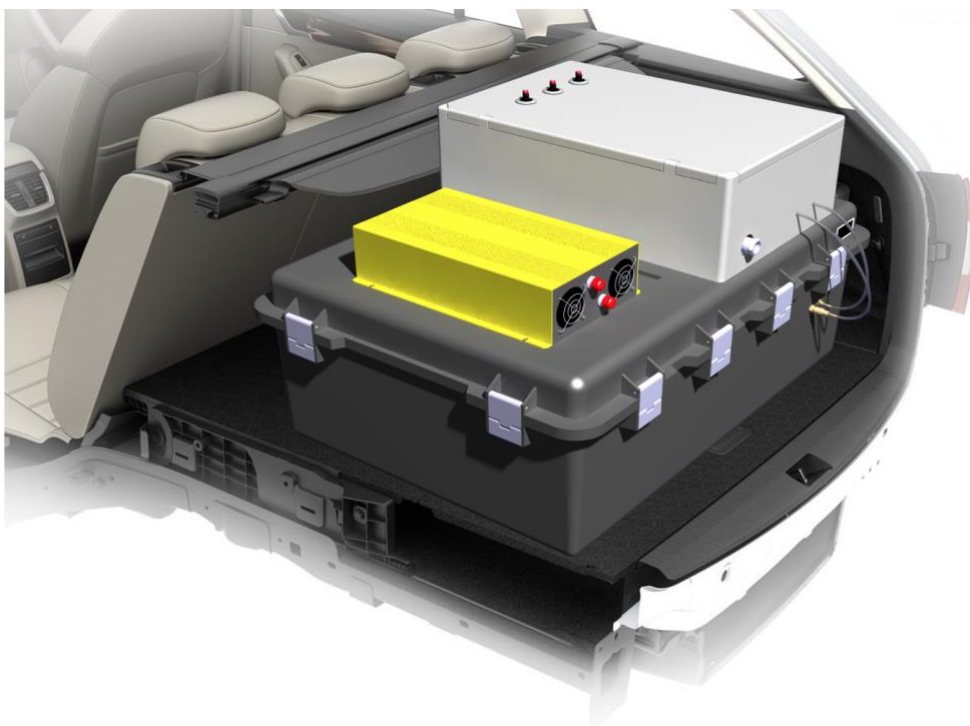
Obr. 7.12: Rez modelom odberného boxu



Obr. 7.13: Finálny návrh odberného boxu s príslušenstvom

Na Obr. 7.14 a Obr. 7.15 je vizualizácia modelu odberného boxu v batožinovom priestore vozidla. Predpokladom bolo uchytenie boxu pomocou popruhov a kotiev

v úložnom priestore. Vyvedenie výhrevnej hadice bolo možné cez pootvorené piate dvere vozidla alebo cez okno niektorých zadných dverí.



Obr. 7.14: Príklad uloženia odberného boxu vo vozidle 1 [29]



Obr. 7.15: Príklad uloženia odberného boxu vo vozidle 2 [29]

Napriek značne veľkým finálnym rozmerom odberného boxu by malo byť možné použiť toto zariadenie aj do rozmerovo menších vozidiel pri zložení zadných sedadiel do roviny s batožinovým priestorom.

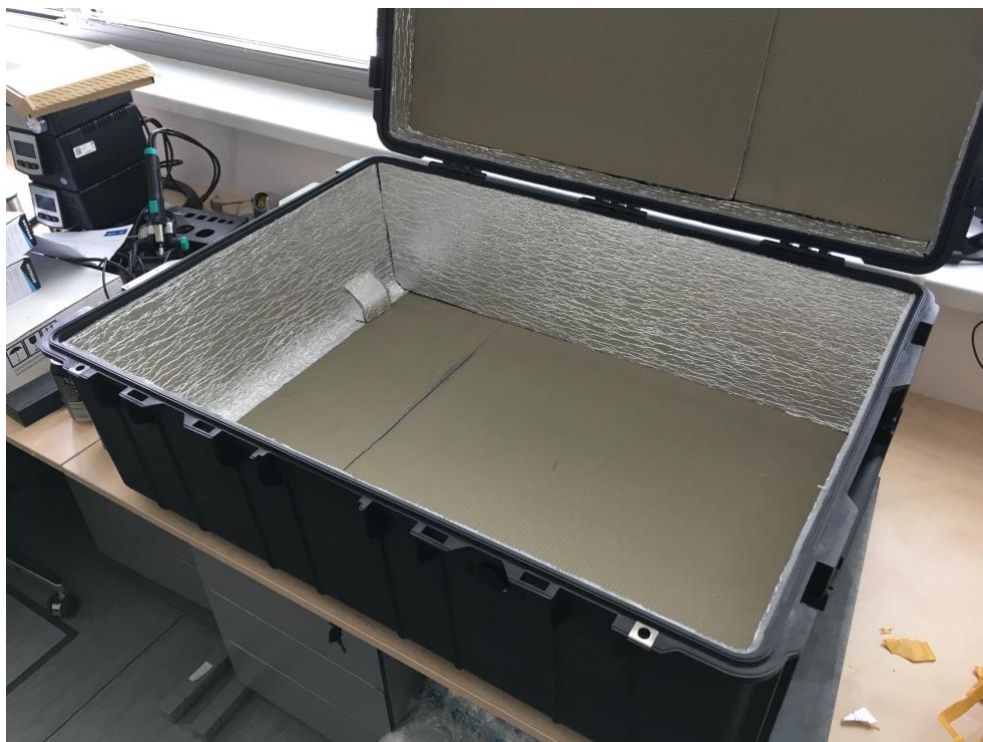
7.7 Výroba

Ako prvá bola do boxu vyrezaná diera pre termostat STC 1000, ktorý bol následne nainštalovaný. Na obrázku Obr. 7.16 je vidieť jeho uloženie v pravom hornom rohu boxu. Jeho umiestnenie bolo zvolené s ohľadom na dobrú čitateľnosť a prístupnosť.



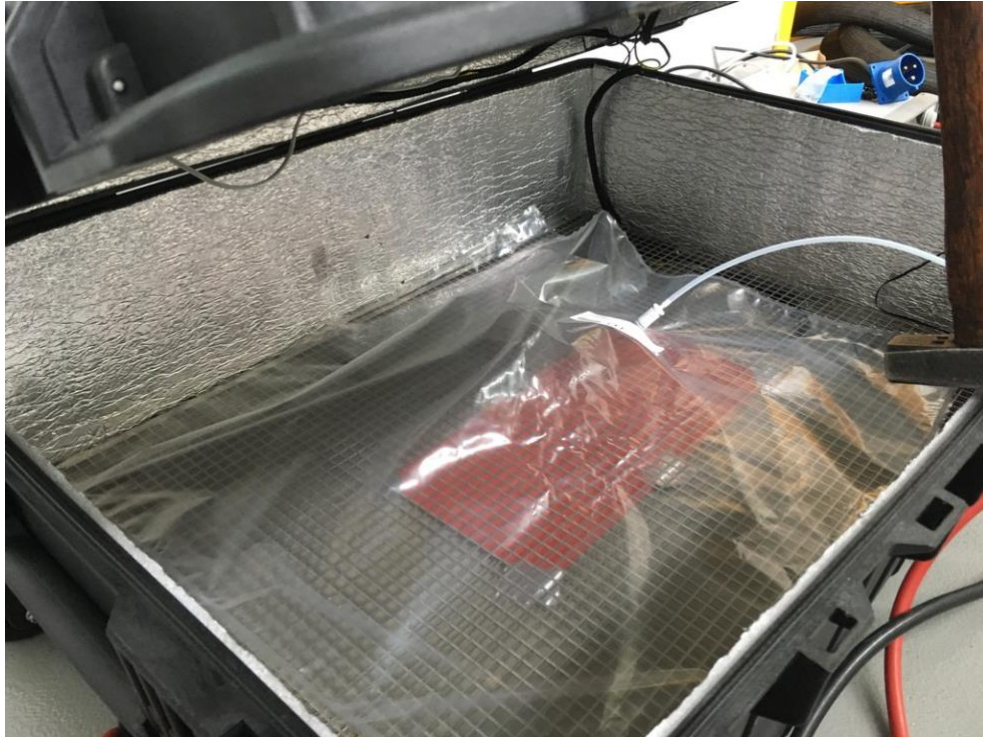
Obr. 7.16: Odberný box Peli Case 1730

Následne bol vnútorný priestor boxu vyplnený tepelnou izoláciou ako je možné vidieť na obrázku Obr. 7.17. Na dno a veko boxu bola použitá podlahová izolácia s hrúbkou 6 mm uchytená pomocou montážnej peny Ceys Espumax. Na bočné steny vnútornej strany boxu bola použitá samolepiaca izolácia z dôvodu jej jednoduchšej inštalácie na zložitejšie tvarovaných plochách a možnosti použitia celistvejších kusov tejto fólie.



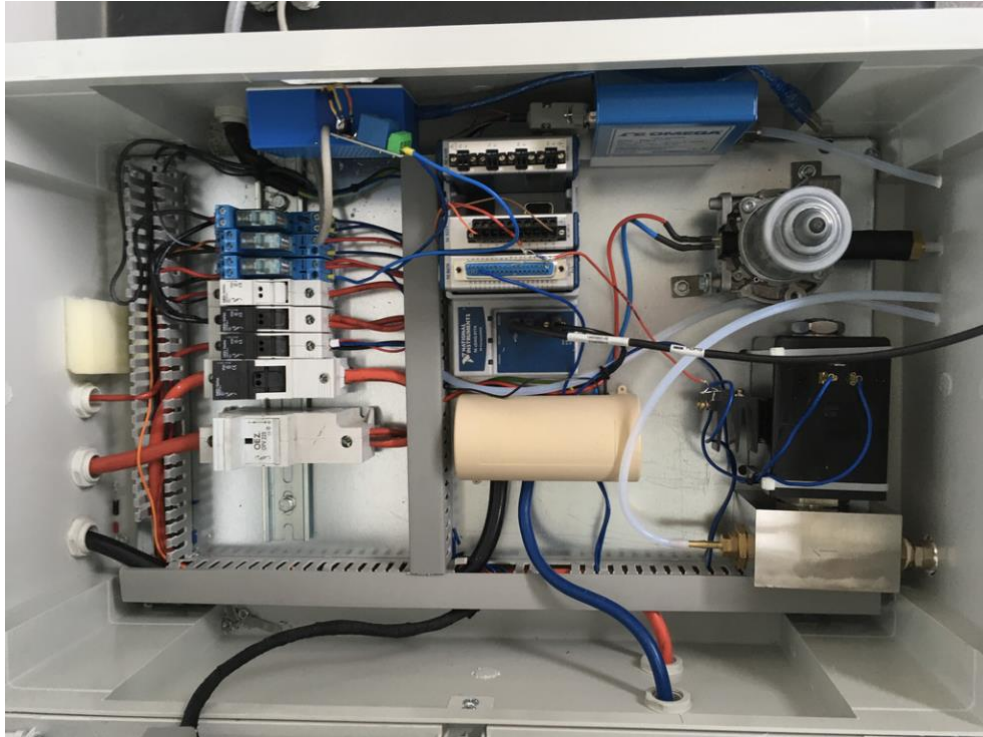
Obr. 7.17: Výroba odberného boxu, doplnenie tepelnej izolácie

V ďalšom kroku boli umiestnené výhrevné fólie. Na pevnú časť izolácie veka boxu boli prilepené dve samolepiace výhrevné fólie TF138 PES. Ďalšia samolepiaca výhrevná fólia TF546 dosahuje pri priemernej okolitej teplote 20 °C povrchovú teplotu približne 90 až 95 °C. Keďže tepelná odolnosť pevnej podlahovej tepelnej izolácie použitej na dne a veku boxu bola približne -50 až 75 °C, musela byť výhrevná fólia vložená medzi dva vyvýšené dierované plechy, aby sa zabránilo poškodeniu izolácie a odberného vaku SKC Tedlar, ktorý bol neskôr umiestnený do tohto boxu. Medzi tieto dva plechy boli tiež namontované dva oceľové profily aby bolo zabránené prepadu vyššie umiestneného plechu. Taktiež bol medzi profily a vrchný plech vložený menší hliníkový plech aby bolo zabránené prepáleniu odberného vaku.



Obr. 7.18: Vnútrotná časť odberného boxu bez dodatočnej izolácie tepelnej fólie

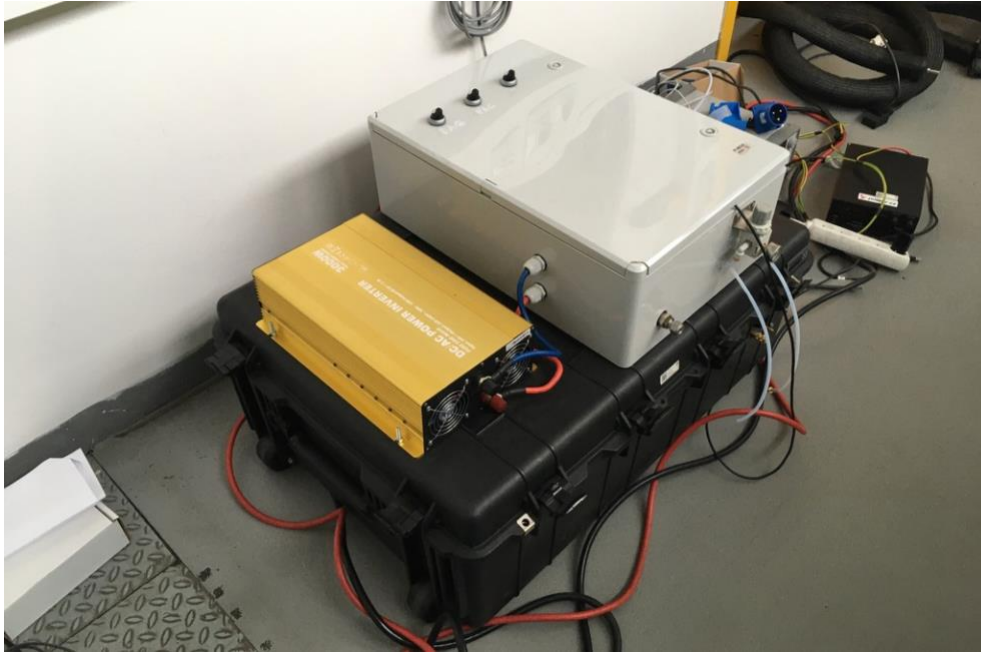
Následne bol na vonkajšiu časť veka nainštalovaný plastový P-box 4060, do ktorého bola umiestnená elektronika, regulačný ventil, vákuová pumpa, Compact DAQ a ďalšie komponenty pre správne fungovanie zariadenia. Rozloženie jednotlivých komponentov v tomto P-boxe je zobrazené na Obr. 7.19. kde v pravom hornom rohu bola umiestnená vákuová pumpa s výstupom cez dieru v stene P-boxu. V pravom dolnom rohu bol pod vákuovou pumpou umiestnený regulačný ventil a v strednej časti P-boxu bol umiestnený Compact DAQ s modulmi popísanými v časti 7.5. V ľavej hornej časti bola umiestnená platforma Arduino so snímačom podtlaku vedeným do odberného boxu. Pod ním boli umiestnené tri elektromagnetické relé cievky, tri poistkové odpínače s menovitým pracovným prúdom 32A, jeden poistkový odpínač s menovitým pracovným prúdom 63A a jeden poistkový odpínač s menovitým pracovným prúdom 125A.



Obr. 7.19: Rozloženie komponentov v plastovom P-boxe

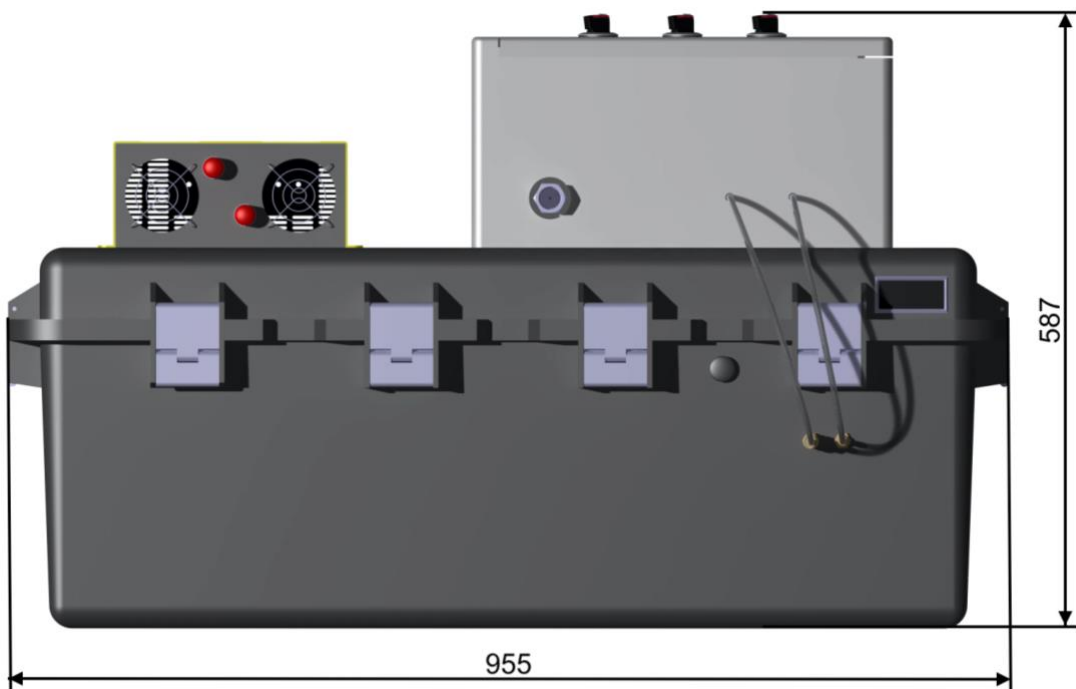
Na veku tohto plastového P-boxu boli umiestnené ľahko prístupné hlavné spínače pre vyhrievanie odberného boxu, spustenie vákuovej pumpy a zapnutie napájania ďalších prvkov zostavy. Tieto vypínače je možné vidieť na Obr. 7.20. Ďalším inštalovaným prvkom zostavy bol menič napätia. Tak ako bolo popísané v časti 7.6 bol umiestnený na veko odberného boxu Peli Case rovnako ako plastový P-box.

Súhrn všetkých základných komponentov je spísaný v prílohe A v kapitole 15.1.



Obr. 7.20: Odberný box doplnený o menič napätia a P-box

Na Obr. 7.21 a Obr. 7.22 sú vyznačené približné rozmery výsledného zariadenia.



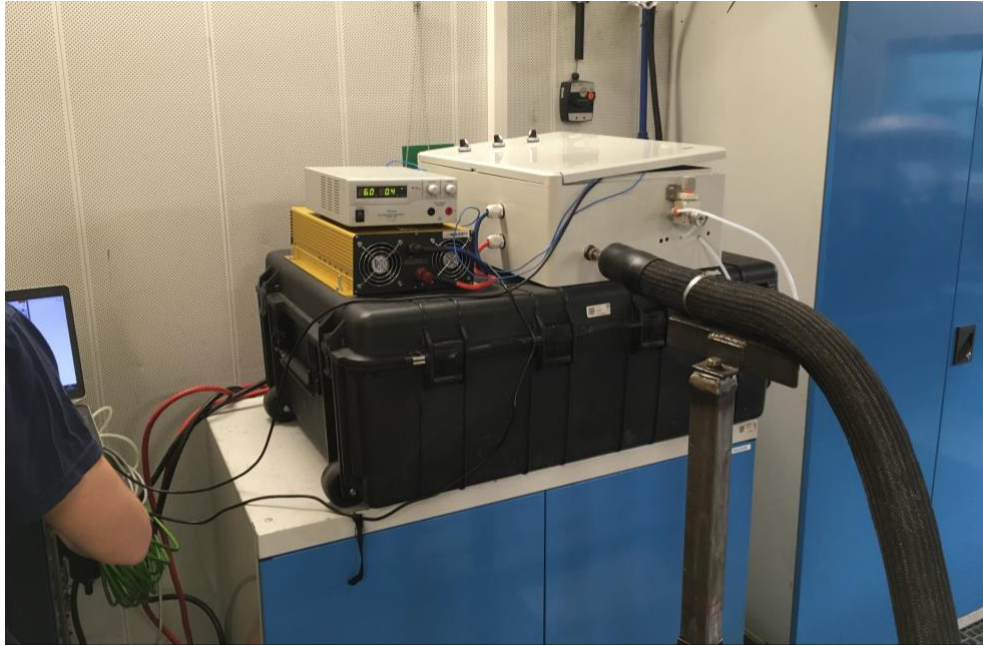
Obr. 7.21: Približné rozmery vyrobeného boxu



Obr. 7.22: Približná šírka vyrobeného boxu

7.8 Test odberu vzorky

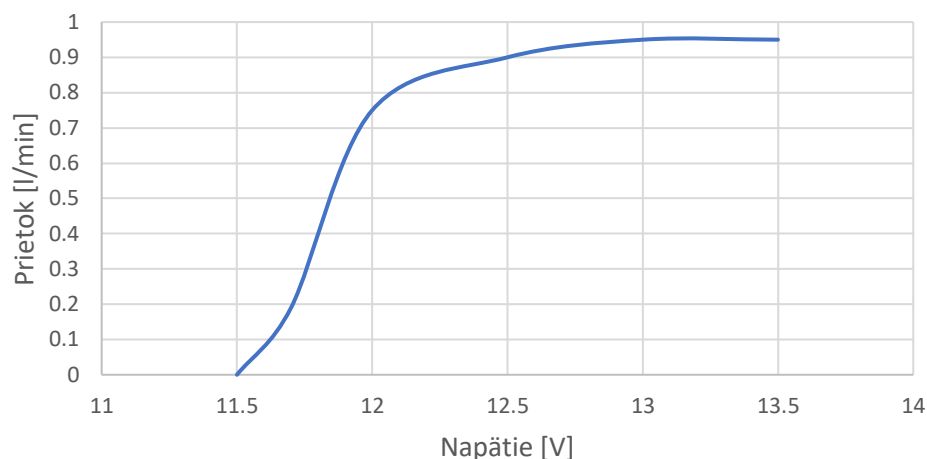
Po zostavení odberného boxu bolo potrebné overiť jeho funkčnosť. V prvom kroku bolo overené ovládanie regulačného ventilu. Za regulačný ventil bol pre potrebu testovania zapojený prietokomer Omega FMA-A2108. V rámci testovania bol do odberného vaku nasávaný len okolitý vzduch. Pred meraním boli komponenty pripojené k laboratórnym zdrojom. Následne bolo na vrchu boxu zopnuté napájanie komponentov a vákuovej pumpy. Po dosiahnutí požadovaného podtlaku v boxe bol spustený záznam výstupného napätia z prietokomeru. Na Obr. 7.23 je zobrazený odberný box počas overovania regulačného ventilu.



Obr. 7.23: Skúška odberu vzoriek

Rozsah výstupného napätia 0-1 V predstavuje objemový tok vzduchu 0-1 l/min. V priebehu skúšky regulačného ventilu bolo regulované jeho vstupné napätie medzi hodnotami 0-24 V, pričom maximálna hodnota 24V predstavuje plné otvorenie ventilu. Rozsah otvorenia regulačného ventilu sa v tomto prípade pohyboval v rozmedzí vstupného napätia približne 11,5 až 13,5 V. Maximálny prietok bol dosiahnutý pri hodnote vstupného napätia 13,5V a to 0,95 l/min. Ten bol už v tomto prípade obmedzený priemerom teflonových hadičiek zavedených do odberného vaku. Graf 7.1 vyobrazuje nameranú charakteristiku regulačného ventilu.

Charakteristika ventilu



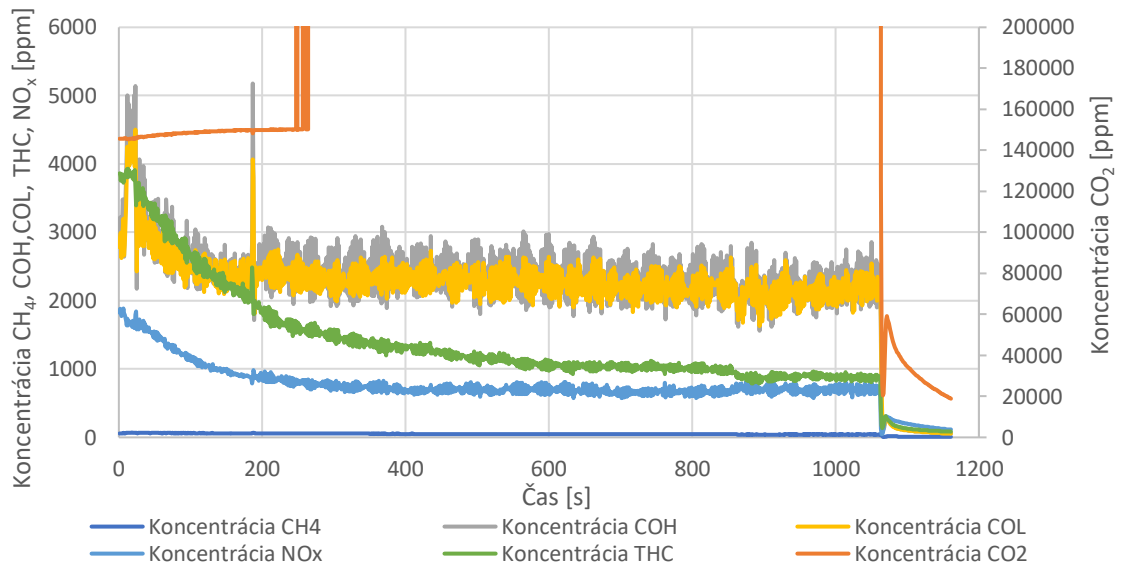
Graf 7.1: Charakteristika regulačného ventilu

V ďalšom kroku bola overená funkčnosť odberného boxu v laboratóriu. Odberný box bol pripojený k výfukovému potrubiu spaľovacieho motora na skúšobnom stave. V priebehu skúšky bola súčasne spustená analýza emisií výfukových plynov a odber vzorky výfukových plynov do vaku. Následne boli po dokončení skúšky výfukové plyny z vaku vypustené cez analyzátory a výsledky boli navzájom porovnané. Graf 7.2 vyobrazuje analýzu výfukových plynov spaľovacieho motora umiestneného na skúšobnom stave. Pri zázname dát došlo k chybe a výsledné priebehy boli zaznamenané bez úseku štartu spaľovacieho motora. Graf 7.3 vyobrazuje analýzu výfukových plynov uložených vo vaku odberného boxu. V oboch prípadoch bola analýza vykonaná pomocou meracieho systému AVL AMA i60.



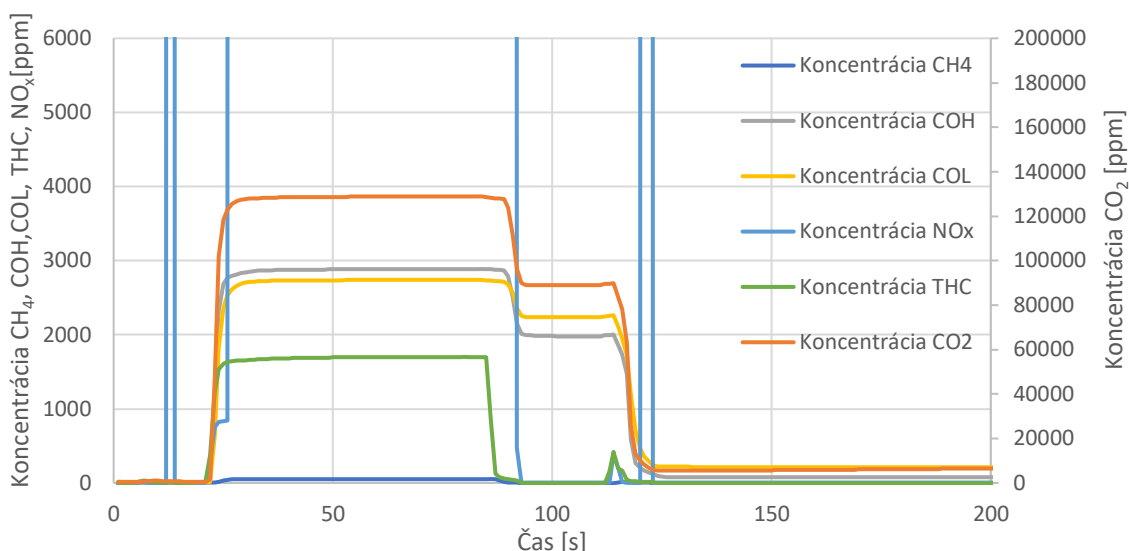
Obr. 7.24: Zavedenie odbernej sondy do výfukového potrubia

Motorová brzda - bez štartu



Graf 7.2: Analýza emisií spaľovacieho motoru na motorovej brzde

Motorová brzda - box



Graf 7.3: Analýza emisií spaľovacieho motoru na motorovej brzde z vaku

Priemerné hodnoty emisií spaľovacieho motoru z ustáleného režimu motoru na motorovej brzde				
Emisie	CH ₄	COH	COL	THC
Jednotky	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
Hodnoty	47,2	2239,8	2138,7	1332,4
Maximálne hodnoty emisií spaľovacieho motoru na motorovej brzde odobraté z odberného vaku				
Emisie	CH ₄	COH	COL	THC
Jednotky	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
Hodnoty	53	2886,6	2739,5	1701,2
Percentuálny rozdiel	10,9%	22,4%	21,9%	21,7%

Tab. 7.1: Porovnanie výsledných hodnôt emisií jednotlivých metód analýzy

Analýza emisií z odberného boxu vyjadruje priemerné hodnoty koncentrácií emisií z celej skúšky. Z toho dôvodu boli pre potreby porovnania výsledkov použité priemerné hodnoty jednotlivých emisií v prípade priameho merania emisií a maximálne hodnoty jednotlivých emisií v prípade analýzy výfukových plynov z odberného boxu. Tieto hodnoty sú zobrazené v Tab. 7.1. Z výsledkov možno vidieť, že výsledné koncentrácie sú oboch prípadoch radovo podobné a percentuálny rozdiel medzi výslednými hodnotami koncentrácií jednotlivých zložiek výfukových plynov sa pohybuje

približne medzi 10,9 – 22,4%. Tieto rozdiely však predpokladáme ešte menšie keďže v prípade merania koncentrácií priamou analýzou došlo k chybe a nebol zaznamenaný začiatok merania pri studenom štarte. Nižšie priemerné hodnoty koncentrácií emisií boli teda pravdepodobne spôsobené absenciou zaznamenaných dát zo začiatku merania. Všetky výsledky skúšky v laboratóriu sú súčasťou prílohy B v kapitole 15.2.

8 Meranie

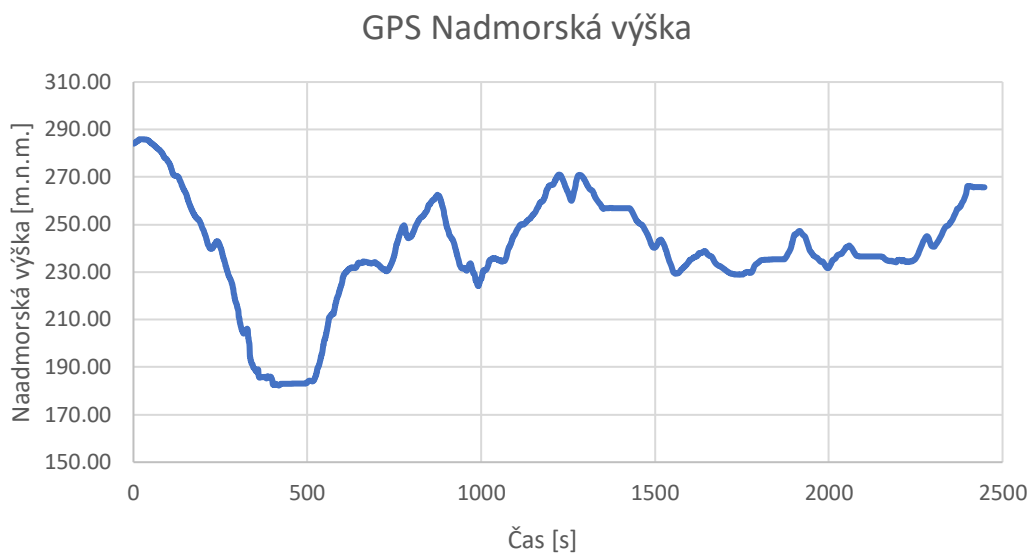
8.1 Voľba trasy pre experimentálne meranie

Pre potreby merania bola zvolená trasa, na ktorej bolo vykonané experimentálne meranie. Pri voľbe boli zohľadnené požiadavky nariadenia (EÚ) č. 2017/1151 z časti 6.1 pre úspešné splnenie skúšky v reálnej prevádzke. Trasa bola navrhnutá tak, aby začínala a končila v jednom mieste pre úsporu času a možnosť analýzy uloženej vzorky výfukových plynov neodkladne po ukončení meracieho cyklu. Pre potrebu overenia funkčnosti odberného boxu zvolená trasa pozostávajúca iba z časti v obci. Celková dĺžka tejto trasy bola 17,8 km. Priebeh tejto trasy je zobrazený na Obr. 8.1.

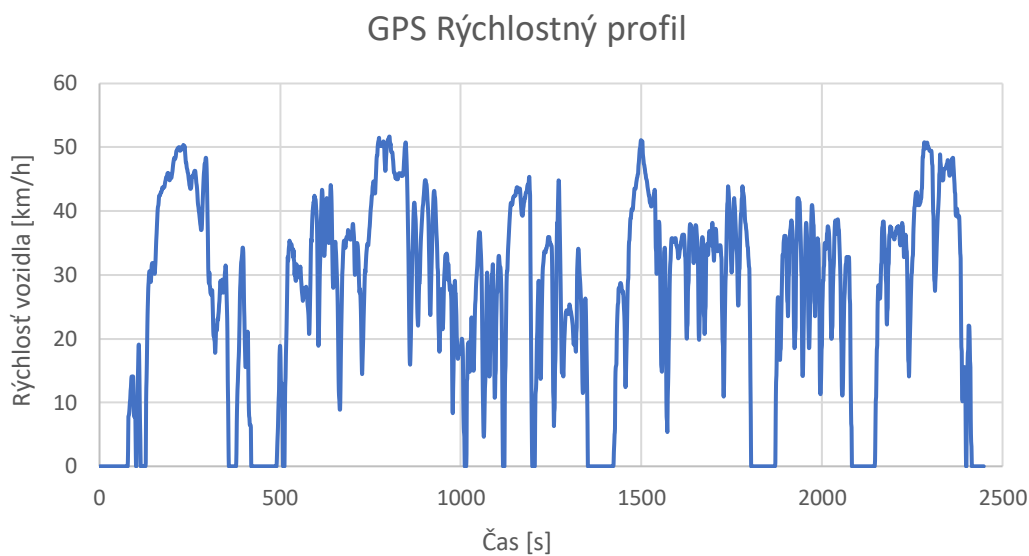


Obr. 8.1: Trasa merania skúšky RDE

Graf 8.1 zobrazuje priebeh nadmorskej výšky tejto trasy v závislosti na čase. Maximálna nadmorská výška na tejto trase bola 285,9 m. Rýchlostný profil je zobrazený na Graf 8.2. Priemerná rýchlosť dosiahnutá počas skúšky bola 26,17 km/h.



Graf 8.1: Priebeh nadmorskej výšky na trase RDE



Graf 8.2: Rýchlostný profil skúšky RDE

8.2 Experimentálne meranie

Na experimentálne meranie bolo zvolené vozidlo VW Caddy so vznetovým spaľovacím motorom. Zariadenie na odber výfukových plynov bolo umiestnené v zadnom priestore vozidla. Box bol uchytený pomocou popruhov ku kotvám v podlahe. Napájanie zariadenia bolo zaistené batériami taktiež umiestnenými v batožinovom priestore vozidla.



Obr. 8.2: Umiestnie odberného boxu vo vozidle VW Caddy

Aby bolo možné výsledky skúšky porovnať, boli v priebehu experimentálneho merania emisie výfukových plynov súčasne merané pomocou zariadenia PEMS uchyteného na ťažnom zariadení. Zariadenie PEMS bolo vybavené analyzátormi plynných a tuhých zložiek PN a ďalším príslušenstvom potrebným k vyhodnoteniu priebehu skúšky RDE.



Obr. 8.3: Zariadenie PEMS uchytené na skúšanom vozidle

Časť výfukových plynov sa pri odbere vzorky do systému PEMS stráca. V prípade použitého systému sa jednalo o stratu približne 2% spôsobenú analyzátorom plynných zložiek a ďalšiu stratu približne 2% spôsobenú analyzátorom tuhých zložiek. Z dôvodu minimalizácie strát bol výstup z analyzátoru plynných zložiek pripojený späť do výfukového potrubia za odberové sondy analyzátorov systému PEMS. V prípade analyzátoru tuhých častíc PN nebolo možné aplikovať tento postup z dôvodu použitia butanolu v tomto zariadení.

Na Obr. 8.4 je zobrazené uchytenie sondy na odber vzorky výfukových plynov do odberného boxu, ktorá bola zavedená až za systémom PEMS.



Obr. 8.4: Uchytenie sondy na odber výfukových plynov do odberného boxu

Pred začiatkom merania bolo spustené vyhrievanie vyhrievanej hadice z externého napájania a vyhrievanie odberného boxu. Pre správne vykonanie kalibrácie zariadenia PEMS pred začiatkom merania, bolo vozidlo presunuté do vonkajších priestorov. Následne bola vykonaná kalibrácia zariadenia PEMS ako je možné vidieť na Obr. 8.5.



Obr. 8.5: Kalibrácia systému PEMS pred meraním skúšky RDE

Po úspešnom dokončení kalibrácie systému PEMS bolo napájanie vyhrievanej hadice prepojené k meniču napätia na odbernom boxe a zariadenie bolo pripojené k riadiacej jednotke pomocou konektoru CARB. Následne bol spustený odber vzorky do vaku súčasne so záznamom dát systému PEMS a vozidlo absolvovalo zvolenú trasu.

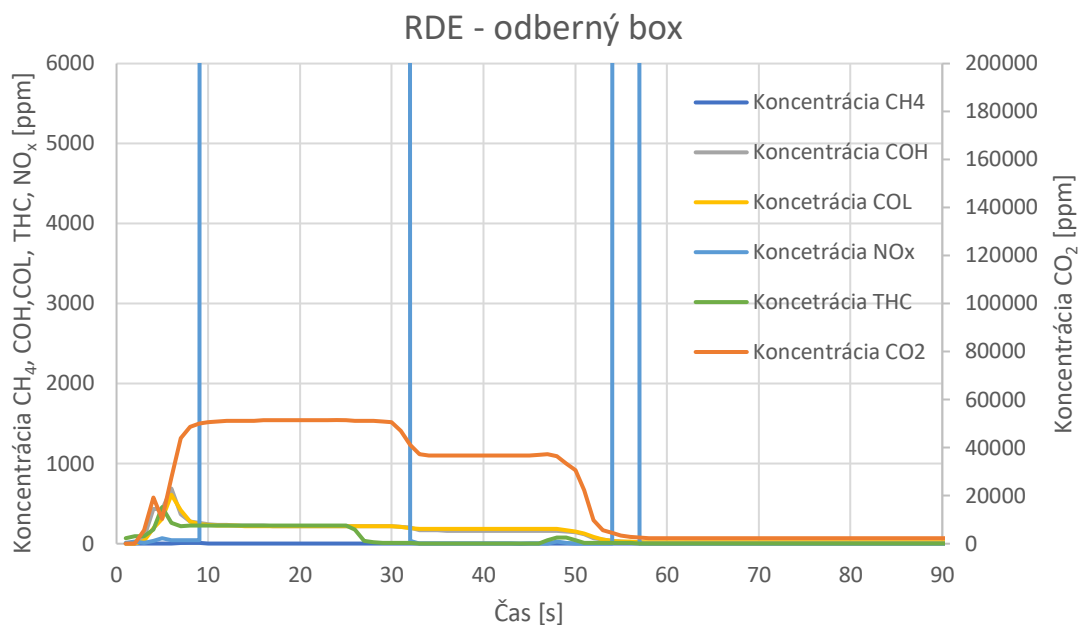
9 Vyhodnotenie

Po ukončení merania RDE bol odberný box presunutý do laboratória, kde bol pripojený k meraciemu zariadeniu AVL AMA i60, pomocou ktorého boli výfukové plyny z odberného vaku vysaté a analyzované.



Obr. 9.1: Analýza výfukových plynov z odberného boxu uložených počas skúšky RDE

Graf 9.1 zobrazuje molárne koncentrácie jednotlivých emisií v odbernom vaku pri ich analýze. Výsledné hodnoty emisií v Tab. 9.1 boli vyjadrené ako maximálne hodnoty zaznamenané v priebehu analýzy vaku.



Graf 9.1: Analýza emisií výfukových plynov skúšky RDE z odberného vaku

Maximálne hodnoty emisií skúšky RDE z odberného vaku					
Emisie	CO₂	COH	COL	THC	CH₄
Jednotky	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
Hodnoty	51506,9	689,2	612,1	457,3	9,3

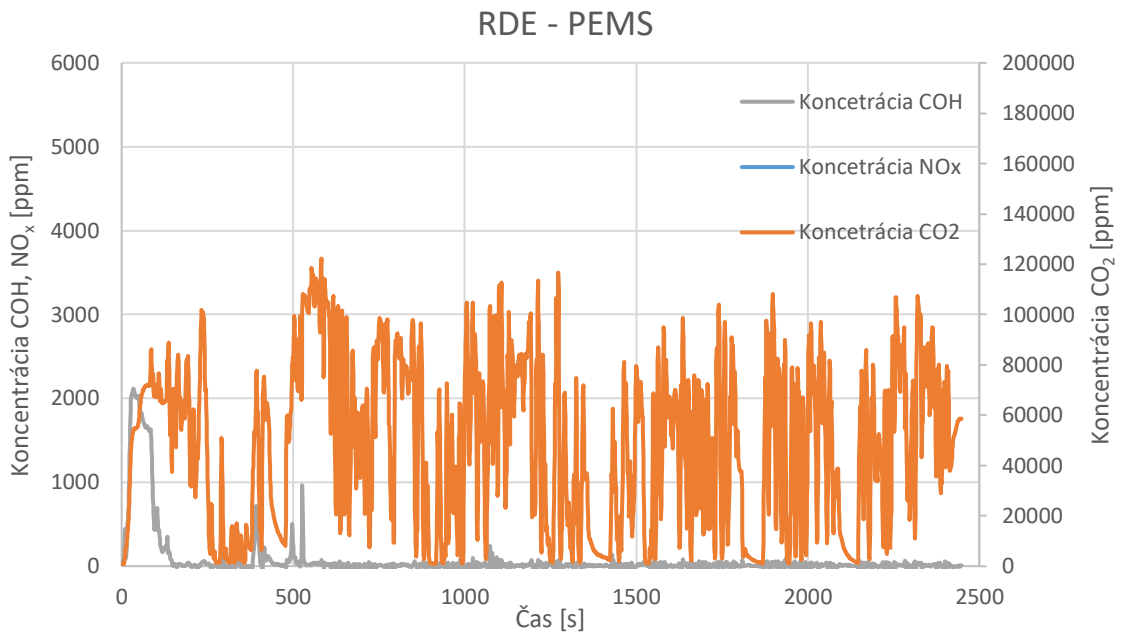
Tab. 9.1: Výsledné hodnoty emisií skúšky RDE z odberného vaku

Taktiež bolo po ukončení skúšky RDE potrebné znova vykonať kalibráciu analyzátorov systému PEMS pre určenie korekcií výsledných emisií výfukových plynov. Na hodnoty namerané systémom PEMS boli následne v rámci vyhodnocovania aplikované korekcie. Výsledné hodnoty emisií výfukových plynov sú zobrazené v Tab. 9.2.

Celkové emisie			
Emisie	CO₂	CO	NO_x
Jednotky	[g]		
Hodnoty	2964,277	1,927	1,681
Celkové emisie na kilometer			
Emisie	CO₂	CO	NO_x
Jednotky	[g/km]		
Hodnoty	166,583	0,108	0,095

Tab. 9.2: Výsledné hodnoty emisií po korekcii namerané systémom PEMS

Keďže výsledné hodnoty emisií výfukových plynov boli vyjadrené ako molárne koncentrácie, bolo pre potreby porovnania nameraných výsledkov výhodnejšie vyjadriť ako molárne koncentrácie aj výsledky so systému PEMS. Graf 9.2 zobrazuje modálnu analýzu emisií výfukových plynov počas skúšky RDE zaznamenaný systémom PEMS. V Tab. 9.3 sú vyjadrené priemerné hodnoty emisií výfukových plynov zaznamenaných systémom PEMS.



Graf 9.2: Analýza emisií výfukových plynov počas skúšky RDE systémom PEMS

Priemerné hodnoty emisií skúšky RDE merané systémom PEMS			
Emisie	CO ₂	COH	NO _x
Jednotky	[ppm]	[ppm]	[ppm]
Hodnoty	48040,7	74,5	5,9

Tab. 9.3: Priemerné hodnoty emisií zo skúšky RDE namerané systémom PEMS

Výsledné emisie oxidu uhličitého (CO₂) sú v prípade systému PEMS približne o 6,7% nižšie v porovnaní s výsledkami z odberného vaku. Maximálne hodnoty oxidu uhoľnatého s vysokým rozsahom (COH) sú v prípade výsledkov z odberného vaku o rád vyššie v porovnaní s výsledkami so systému PEMS. To mohol spôsobiť vyšší výkyv hodnôt na začiatku analýzy. Po ustálení sa hodnota oxidu uhličitého s vysokým rozsahom (COH) drží na približnej hodnote 200 ppm a celková priemerná hodnota je rovná približne 41 ppm. Pri porovnaní výsledných hodnôt možno vidieť značnú podobnosť medzi

výsledkami nameranými systémom PEMS a výsledkami vyhodnotenými z odberného vaku. Všetky namerané výsledky skúšky RDE sú súčasťou prílohy C v kapitole 15.3.

10 Záver

Úvod tejto práce bol venovaný prehľadu jednotlivých emisných zložiek výfukových plynov, ich vzniku a súčasne platným legislatívnym požiadavkám a z nich vyplývajúcim podmienkam na vykonávanie meraní emisií. Ďalej boli priblížené spôsoby hodnotenia emisného chovania vozidiel pomocou skúšobných cyklov a skúšok v reálnej prevádzke. V ďalšej časti bol navrhnutý spôsob merania emisií vozidiel v reálnej prevádzke bez priameho využitia analyzátorov. Na základe tejto metodiky bol vytvorený návrh a dokumentácia na výrobu prototypu zariadenia na odber a ukladanie výfukových plynov, ktoré by boli po ukončení skúšky analyzované v laboratóriu. Zariadenie bolo navrhnuté na princípe odberu mokrých spalín. Výfukové plyny boli ukladané do odberného vaku umiestneného vo vyhrievanom boxe s malým podtlakom. Pri návrhu konštrukčného riešenia bola braná do úvahy kompaktnosť a možnosť umiestniť výsledné zariadenie aj do rozmerovo menšieho osobného vozidla. Pre správny odber vzorky bol členmi spolupracujúcimi na tomto projekte vytvorený matematický model v programe GT Suite, pomocou ktorého bola stanovená stratégia ovládania regulačného ventilu. Tento regulačný ventil bol ovládaný na základe hmotnostného prietoku nasávaného vzduchu. Pre získanie signálu snímača množstva vzduchu MAF bolo zariadenie pripojené k diagnostickému rozhraniu EOBD. Na základe týchto podkladov bolo následne zostavené výsledné zariadenie. Po zostavení bola experimentálne overená funkčnosť jednotlivých komponentov zariadenia. Na začiatku bola overená funkčnosť vyhrievania odberného boxu nad teplotu približne 55°C. Následne bola vytvorená charakteristika regulačného ventilu, ktorá vyjadrovala súvislosť medzi prietokom a vstupným napätím do ventilu. Pred experimentálnym meraním v reálnej prevádzke bola overená funkčnosť odberu výfukových plynov do vaku a možnosť ich následnej analýzy. Toto meranie bolo uskutočnené na skúšobnom stave a analýza bola vykonaná pomocou meracieho systému AVL AMA i60. Výsledky analýzy výfukových plynov z odberného vaku boli porovnané s priamym meraním emisií meracím systémom AVL AMA i60, ktoré prebiehalo súčasne s odberom vzoriek do vaku. Výsledky týchto meraní boli porovnané a rozdiely výsledných koncentrácií nameraných priamym meraním a analýzou vzorky vo vaku sa líšili v rozmedzí 10,9-22,4% v závislosti od analyzovanej zložky. Nižšie hodnoty priemerných koncentrácií namerané priamou

analýzou boli spôsobené hlavne chybou záznamu merania, keďže začiatok skúšky v prípade tohto merania nebol zaznamenaný. Na základe toho sa predpokladajú menšie rozdiely výsledných koncentrácií emisií pri správnom zázname dát. Ďalším krokom bolo experimentálne overenie funkčnosti odberného boxu v reálnej prevádzke. Pre potrebu overenia funkčnosti odberného boxu bola ako dostačujúca zvolená iba mestská časť cyklu. Box bol umiestnený do vozidla VW Caddy so vznetovým spaľovacím motorom. Pre porovnanie výsledkov bolo na ťažné zariadenie tohto vozidla umiestnené zariadenie PEMS, ktoré analyzovalo emisie výfukových plynov v priebehu celej skúšky RDE. Po ukončení skúšky bol odberný box presunutý k meraciemu zariadeniu AVL AMA i60 a zložky uložené v odbernom vaku boli analyzované. Výsledné hodnoty boli porovnané s hodnotami nameranými pomocou systému PEMS. Výsledné koncentrácie oxidu uhličitého (CO₂) namerané systémom PEMS boli približne o 6,7% nižšie v porovnaní s odberným boxom. V prípade oxidu uhoľnatého s vysokým rozsahom (COH) bola maximálna hodnota nameraná z odberného vaku o rád vyššia v porovnaní s hodnotami zo systému PEMS. Rozdiel bol spôsobený výkyvom hodnoty na začiatku analýzy koncentrácií z odberného vaku. Po ustálení sa výsledná hodnota držala na hodnote približne 200 ppm a celková priemerná hodnota bola približne 41 ppm zatiaľ čo systém PEMS vykazoval priemernú hodnotu koncentrácie oxidu uhoľnatého s vysokým rozsahom (COH) približne 74,5 ppm. Kontrolou vnútra boxu po ukončení analýzy výfukových plynov bolo overené, že v priebehu skúšky nedošlo k jeho poškodeniu a nedošlo ani ku kondenzácii výfukových plynov v odbernom vaku. Na základe týchto vyhodnotení sa ukázalo, že konštrukčným riešením tohto boxu je možné odobrať a uschovať výfukové plyny. Taktiež sa ukázalo, že výfukové plyny uložené v tomto odbernom boxe je možné s určitou presnosťou analyzovať a vyhodnocovať. Tepelnou izoláciou vnútornej časti boxu bola udržaná potrebná teplota výfukových plynov vo vaku po odpojení napájania ohrevu, a tým bol zaručený dostatok času na presun zariadenia k meraciemu systému v laboratóriu. Pre presnejšie stanovenie vzťahu medzi výsledkami získanými zariadením PEMS a výsledkami vyhodnotenia obsahu odberného vaku by bolo potrebné vykonať viac meraní. Existujúce výsledky dávajú dostatočne dobrý predpoklad pre plánované použitie tohto zariadenia. Nasledujúce kroky by mali smerovať k odladeniu stratégie riadenia regulačného ventilu, ktorá má zásadný vplyv na vypovedajúcu schopnosť výsledkov.

11 Zdroje

- [1] DELPHI TECHNOLOGIES. Worldwide emissions standards: Passenger cars and light duty vehicles 2019-2020 [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.delphi.com/sites/default/files/2019-05/2019-2020%20Passenger%20Car%20&%20Light-Duty%20Vehicles.pdf>
- [2] Real driving emissions [online]. www.aecc.eu. [cit. 2021-03-03]. Dostupnosť z: <https://www.aecc.eu/legislation/light-duty-vehicles/real-driving-emissions/>
- [3] EURÓPSKY PARLAMENT A RADA EU. In: 2017/1151 EU [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX%3A02017R1151-20200125&qid=1619644739495#tocId349>
- [4] Aeris Europe. EURO 7 IMPACT ASSESSMENT: THE OUTLOOK FOR AIR QUALITY COMPLIANCE IN THE EU AND THE ROLE OF THE ROAD TRANSPORT SECTOR [online]. [cit. 2021-06-29]. Dostupné z: <https://aeriseurope.com/wp-content/uploads/2021/03/AERIS-Air-Quality-Report-Euro-7-Impact-Assessment.pdf>
- [5] ING. HORÁK, František CSc.. Technická zpráva: Vliv složení vozového parku osobních automobilů v České republice na životní prostředí [online]. TECH – Z 05/2012. TÜV SÜD Czech s.r.o., Marec 2012. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: http://portal.sda-cia.cz/clanky/download/2012-03-Tech_zprava_TUV_SUD-2012.pdf
- [6] EURÓPSKY PARLAMENT A RADA EU. In: 2018/1832 EU [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1832&qid=1552828151047&from=EN>
- [7] CONTINENTAL. Worldwide Emission Standards and Related Regulations Passenger Cars / Light and Medium Duty Vehicles May 2019 [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.continental-automotive.com/getattachment/8f2dedad-b510-4672-a005-3156f77d1f85/EMISSIONBOOKLET%202019.pdf>

- [8] Měření emisí vozidel v provozu [online]. www.fs.cvut.cz. [cit. 2021-07-27].
Dostupnost z: <https://www.fs.cvut.cz/veda-a-vyzkum/vysledky/vysledky-projektu/mereni-emisi-vozidel-v-provozu/>
- [9] EURÓPSKY PARLAMENT A RADA EU. In: 2017/1154 EU [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1154&from=SK>
- [10] Cars and Light Trucks. Dieselnets: Emission Standards [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://dieselnets.com/standards/eu/ld.php>
- [11] VERNER, Jan a Marie SEJKOROVA. Comparison of CVS and PEMS measuring devices used for stating CO₂ exhaust emissions of light-duty vehicles during WLTP testing procedure [online]. 2018-05-23. [cit. 2021-6-13]. Dostupné z: doi: 10.22616/ERDev2018.17.N284 Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/72413/Comparison_CVS_and_PEMS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [12] VŠCHT Praha. Emise z výfukových plynů motorových vozidel [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://cv.vscht.cz/files/uzel/0014041/0013~c83NLE5VKDu8N6000x9IJWcoFORU5h1dDwA.pdf?redirected>
- [13] Lemon, Scott & Miller, Allan. (2013). Electric Vehicles in New Zealand: from Passenger to Driver?. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/319153718_Electric_Vehicles_in_New_Zealand_from_Passenger_to_Driver
- [14] Euro 1 to Euro 6 guide – find out your vehicle's emissions standard [online]. RAC Motoring Services, Február 2020. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/euro-emissions-standards/>
- [15] EURÓPSKY PARLAMENT A RADA EU. In: 2007/0715 EU [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX%3A02007R0715-20200901>
- [16] Emissions: Facts and figures [online]. www.smmmt.co.uk. [cit. 2021-03-20]. Dostupnosť z: <https://www.smmmt.co.uk/industry-topics/emissions/facts-and-figures/>

- [17] ICCT. EU CO2 EMISSION STANDARDS FOR PASSENGER CARS AND LIGHT-COMMERCIAL VEHICLES [online], Január 2014. [cit. 2021-04-09]. Dostupnosť z: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_EU-95gram_jan2014.pdf
- [18] Cars: Greenhouse Gas Emissions. Dieselnet: Emission Standards [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/eu/ghg.php#car>
- [19] EURÓPSKY PARLAMENT A RADA EU. In: 2019/0631 EU [online]. [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:02019R0631-20210111&qid=1620218015473&from=SK>
- [20] Európska hospodárska komisia Organizácie spojených národov (EHK OSN). In: č. 83 [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L.2015.172.01.0001.01.CES#d1e35-117-1>
- [21] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [22] Fuel types of new passenger cars in the EU [online]. www.acea.auto. [cit. 2021-06-07]. Dostupnosť z: <https://www.acea.auto/figure/fuel-types-of-new-passenger-cars-in-eu/>
- [23] HOREJŠ, Karel a Vladimír MOTEJL. Příručka pro řidiče a opraváře automobilů, II. díl: Motory, paliva, emise, diagnostika. Brno: Littera, 2009, s. 44. ISBN 978-80-85763-52-2. Dostupné tiež z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:f6f9569b-9a92-482a-ab4b-d582d255eebc>
- [24] PÁV, Karel. Emise ve výfukových plynech PSM [online prezentace]. 2014 [cit. 2021-06-10]. Dostupné z: http://old.kvm.tul.cz/studenti/texty/VM_Sem/11_Emise%20ve%20výfukových%20plynech%20PSM.pdf
- [25] Differences between WLTP and NEDC [online]. www.fuchs.com. [cit. 2021-06-21]. Dostupné z: <https://www.fuchs.com/es/en/products/product-program/automotive-lubricants/automotive-news/wltp-vs-nedc/>
- [26] AVL. AVL M.O.V.E iS: A new solution for the upcoming EU6c - Real Driving Emissions (RDE) legislation [online]. [cit. 2021-06-29]. Dostupné z:

<https://www.avl.com/documents/10138/885965/AVL+M.O.V.E+iS+Information>

- [27] AVL M.O.V.E PN PEMS iS. Direct industry [online]. Direct industry, 2021. [cit. 2021-07-27]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/avl-instrumentation-test-systems/product-6165-2288395.html>
- [28] KOČÍ, Petr. Diagnostika a testování automobilů: učební text : studijní materiály pro studijní program Mechatronika. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2609-7.
- [29] Prvá jazda: Škoda Octavia Combi – s pevnejším zadkom [online]. www.auto.pravda.sk. [cit. 2021-07-05]. Dostupné z: <https://auto.pravda.sk/novinky/clanok/279575-prva-jazda-skoda-octavia-combi-s-pevnejsim-zadkom/>
- [30] Normované měření spotřeby dnes a zítra: Ztratí start/stop smysl? [online]. www.autorevue.cz. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/normovane-mereni-spotreby-dnes-azitra-ztrati-start/stop-smysl/ch-54835>
- [31] The different driving cycles [online]. www.car-engineer.com. [cit. 2021-07-26]. Dostupné z: <https://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>
- [32] TÜV SÜD Czech. Měření emisí osobních vozidel v reálném provozu [online]. [cit. 2021-07-27]. Dostupné z: <https://www.tuvsud.com/cs-cz/-/media/regions/cz/pdf-files/publikace/produktove-listy/as/tuvsud-fotostory-mereni-emise-rde-a3.pdf?la=cs-cz&hash=2C7BC4699A1AF38031EB48D22F163A4B>
- [33] Heating hose H 900 series. Hillesheim [online]. Hillesheim GmbH 2021. [cit. 2021-07-27]. Dostupnosť z: https://www.hillesheim-gmbh.com/en/products/high_temperature-heating_hose.php
- [34] cDAQ-9174. National instruments [online]. National instruments corp., 2021. [cit. 2021-07-27]. Dostupné z: <https://www.ni.com/en-us/shop/hardware/products/compactdaq-chassis.html?modelId=125698>

12 Zoznam obrázkov

Obr. 3.1: Vývoj vozového parku osobných automobilov v Európe [4]	14
Obr. 5.1: Homologačný skúšobný cyklus NEDC [31]	24
Obr. 5.2: Merací cyklus WLTC rozdelený na jednotlivé rýchlostné časti [30]	27
Obr. 5.3: Schéma odberu výfukových plynov počas WLTC cyklu [3]	28
Obr. 5.4: Grafické porovnanie NEDC a WLTC cyklu [25]	31
Obr. 6.1: Schéma postupu overenia platnosti jazdy [3]	37
Obr. 6.2: Systém PEMS [32]	39
Obr. 6.3: Popis AVL M.O.V.E Gas PEMS iS [26]	42
Obr. 6.4: AVL M.O.V.E PN PEMS iS [27]	43
Obr. 7.1: Návrh systému na odber výfukových plynov s atmosférickým tlakom	46
Obr. 7.2: Návrh systému na odber výfukových plynov s podtlakom	46
Obr. 7.3: Ideový návrh odberu spalín	47
Obr. 7.4: Simulačný model vozidla v programe GT Suite	49
Obr. 7.5: WLTC cyklus	49
Obr. 7.6: Fiktívny RDE cyklus	50
Obr. 7.7: Stratégia riadenia ventilu	51
Obr. 7.8: Schéma simulácie jednotlivých komponentov	51
Obr. 7.9: Vyhrievacia hadica Hillesheim H9256-050-08-T5-C1I1Z2 [33]	52
Obr. 7.10: National instruments cDAQ – 9174 [34]	53
Obr. 7.11: Návrh rámu pre uloženie príslušenstva v01 na ľavej strane a v02 na pravej strane	54
Obr. 7.12: Rez modelom odberného boxu	55
Obr. 7.13: Finálny návrh odberného boxu s príslušenstvom	55
Obr. 7.14: Príklad uloženia odberného boxu vo vozidle 1 [29]	56
Obr. 7.15: Príklad uloženia odberného boxu vo vozidle 2 [29]	56
Obr. 7.16: Odberný box Peli Case 1730	57
Obr. 7.17: Výroba odberného boxu, doplnenie tepelnej izolácie	58
Obr. 7.18: Vnútorňa časť odberného boxu doplnená o všetky funkčné prvky	59
Obr. 7.19: Rozloženie komponentov v plastovom P-boxe	60
Obr. 7.20: Odberný box doplnený o menič napätia a P-box	61

Obr. 7.21: Približné rozmery vyrobeného boxu.....	61
Obr. 7.22: Približná šírka vyrobeného boxu.....	62
Obr. 7.23: Skúška odberu vzoriek	63
Obr. 7.24: Zavedenie odbernej sondy do výfukového potrubia.....	65
Obr. 8.1: Trasa merania skúšky RDE	68
Obr. 8.2: Umiestnie odberného boxu vo vozidle VW Caddy	70
Obr. 8.3: Zariadenie PEMS uchytené na skúšanom vozidle.....	70
Obr. 8.4: Uchytenie sondy na odber výfukových plynov do odberného boxu	71
Obr. 8.5: Kalibrácia systému PEMS pred meraním skúšky RDE.....	72
Obr. 9.1: Analýza výfukových plynov z odberného boxu uložených počas skúšky RDE .	73

13 Zoznam tabuliek

Tab. 4.1: Emisné limity noriem Euro 1 až Euro 5b pre osobné vozidlá so zážihovým spaľovacím motorom [14][1]	19
Tab. 4.2: Emisné limity noriem Euro 1 až Euro 5b pre osobné vozidlá so vznetovým spaľovacím motorom [14][1]	19
Tab. 4.3: Limitné hodnoty škodlivín pre normu Euro 6d ISC FCM [15]	21
Tab. 5.1: Triedy vozidiel procedúry WLTP	26
Tab. 5.2: Trvanie jednotlivých fáz cyklu WLTC.....	26
Tab. 5.3: Porovnanie NEDC a WLTC [1][11]	30
Tab. 6.1: Podmienky okolia pre RDE [3][9]	34
Tab. 6.2: Hodnoty faktorov zhody [6][9].	38
Tab. 7.1: Porovnanie výsledných hodnôt emisií jednotlivých metód analýzy.....	66
Tab. 9.1:Výsledné hodnoty emisií skúšky RDE z odberného vaku.....	74
Tab. 9.2:Výsledne hodnoty emisií po korekcii namerané systémom PEMS.....	74
Tab. 9.3: Priemerné hodnoty emisií zo skúšky RDE namerané systémom PEMS.....	75

14 Zoznam grafov

Graf 3.1: Podiel registrovaných osobných vozidiel podľa paliva v roku 2020 [22].....	13
Graf 3.2: Zloženie výfukových plynov zážihových motorov [13]	15
Graf 3.3: Zloženie výfukových plynov vznetových motorov [13]	15
Graf 7.1: Charakteristika regulačného ventilu.....	64
Graf 7.2: Analýza emisií spaľovacieho motoru na motorovej brzde	65
Graf 7.3: Analýza emisií spaľovacieho motoru na motorovej brzde z vaku	66
Graf 8.1: Priebeh nadmorskej výšky na trase RDE.....	69
Graf 8.2: Rýchlostný profil skúšky RDE	69
Graf 9.2: Analýza emisií výfukových plynov skúšky RDE z odberného vaku.....	74
Graf 9.1: Analýza emisií výfukových plynov počas skúšky RDE systémom PEMS	75

15 Zoznam príloh

15.1 Príloha A - Zoznam základných komponentov zariadenia

Číslo	Názov	Množstvo
	Komponent	
1.	Výhrevná hadica	1
	Hillesheim H9256-050-08-T5-C111Z2	
2.	Compact DAQ	1
	National instruments cDAQ – 9174	
3.	CAN komunikácia	1
	National instruments USB NI-8473	
4.	Digitálny modul	1
	National instruments NI-9478	
5.	Napäťový vstupný modul	1
	National instruments NI-9269	
6.	Napäťový vstupný modul	1
	National instruments NI-9221	
7.	Odberný vak	1
	SKC Tedlar 100L	
8.	Box	1
	Peli Case 1730	
9.	Výhrevná fólia	2
	TF138 PES	
10.	Výhrevná fólia	1
	TF546	
11.	Termostat	1
	STC-1000	
12.	Výveva	1
	Hella UP28	
13.	Menič napätia	1
	Soluowill NP3000-12	
14.	Proporcionálny ventil	1
	Bürkert 2836 A	
15.	Regulácia podtlaku	1
	Platforma Arduino	
16.	Elektronická relé cievka	3
	Finder 40.61.9.024.0000	
17.	Spínač	3
	Eaton M22-K10	

Číslo	Název	Množstvo
	Komponent	
18.	Poistkový odpínač	1
	OEZ Varius OPVA10-1 32A	
19.	Poistkový odpínač	2
	OEZ Varius OPVP10-1 32A	
20.	Poistkový odpínač	1
	OEZ Varius OPVP14-1 63A	
21.	Poistkový odpínač	1
	OEZ OPV 22S 125A	
22.	Plastový box	1
	P-Box 4060	

15.2 Príloha B - Namerané hodnoty skúšky v laboratóriu

- Test_vysledky_AMA_box.xlsx

15.3 Príloha C - Namerané hodnoty skúšky RDE

- RDE_vysledky_PEMS_box.xlsx