

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Diplomová práce

Vliv aditiv na provozní parametry vozidla

Bc. Radek Chyla

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

© 2022 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Radek Chyla

Technika a technologie v dopravě a spojích
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vliv aditiv na provozní parametry vozidla

Název anglicky

Infuelnce of additives on vehicle operating parameters

Cíle práce

Cílem diplomové práce bude analýza vlivu aditiva na provozní parametry vozidla (emise, výkon, spotřeba, hluk).

Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce bude založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů zaměřených na problematiku aditiv pro motorová vozidla. V experimentální části práce bude provedena analýza vlivu jednoho vybraného aditiva na provozní parametry vozidla.

Práce bude strukturovaná dle následující osnovy:

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Přehled řešené problematiky
4. Praktická část práce
5. Závěr
6. Seznam použitých zdrojů
7. Přílohy

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

aditiva, spalovací motor, spotřeba paliva, emise, hluk

Doporučené zdroje informací

MARTYR, Anthony a M A PLINT. Engine testing: the design, building, modification and use of powertrain test facilities. 4th vyd. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2012. ISBN 0080969496

MATĚJOVSKÝ, Vladimír. Automobilová paliva. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5

SRIVASTAVA, S. P. a Jenő HANCÓSÓK. Fuels and fuel-additives. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2013. ISBN 9780470901861

VLK, František. Paliva a maziva motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6461-5



Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2021

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 01. 02. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv aditiv na provozní parametry vozidla" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30. 3. 2022

Poděkování

Rád bych touto cestou chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D. za odborný dohled při psaní této práce, rady a v neposlední řadě za trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat Bc. Jakubovi Adamovi za velkou pomoc a dohled při měření dat v laboratoři katedry vozidel a pozemní dopravy, za konzultace při zpracování práce a za trpělivost a ochotu. Rovněž bych chtěl poděkovat Ing. Petrovi Jindrovi, Ph.D. za drobnou asistenci při měření. Také bych rád poděkoval doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za možnost měření s pomocí analyzátoru částic na katedře jakosti a spolehlivosti strojů. Poděkování patří i Bc. Zuzaně Wiesnerové za pomoc při měření vzorků oleje. Dále bych chtěl touto cestou poděkovat spolubydlícím za trpělivost nejen při psaní této práce, ale i za celou dobu společného bydlení. Na závěr patří velký dík mé rodině za veškerou podporu nejen při psaní práce, ale obzvlášť za celou dobu studia na technické fakultě ČZU v Praze.

Vliv aditiv na provozní parametry vozu

Abstrakt

Cílem této práce bylo zjistit vliv aditiv na provozní parametry motoru jako jsou výkonové parametry, emise, spotřeba a hluk. V teoretické části jsou popsány výkonové parametry, paliva a jejich výroba, na kterou navazuje kapitola stručně popisující druhy aditiv a jejich účel. Následuje část práce popisující emise a jejich negativní vliv na lidský organismus, s čímž souvisí snižování emisí a metody jejich snižování. Na tuto část navazuje kapitola věnující se metodám měření výkonových parametrů a měření emisí, na kterou naváže poslední kapitola teoretické části o jízdních cyklech pro měření emisí a spotřeby paliva. V praktické části práce je popsána metodika měření provozních parametrů testovacího vozu autora práce zahrnující výkon, emise, spotřebu paliva a úroveň hluku. Nakonec byla provedena analýza vzorků oleje, kde se zkoumal vliv aditiva na počet částic v oleji. V závěru práce jsou shrnuty dílčí závěry jednotlivých měření.

Klíčová slova: výkon motoru, točivý moment, emise, pevné částice, spotřeba paliva, hluk, aditiva, dynamometr, nafta, vznětový motor, jízdní cyklus

Influence of additives on vehicle operating parameters

Abstract

The aim of this thesis is to determine the effect of using additives on vehicle engine operating parameters such as power, emissions, fuel consumption and noise. The theoretical part describes performance parameters, fuels and fuel production, which is followed by a chapter briefly describing types of additives and their purpose. Next part of this thesis describes emissions and their negative effects on human body which is related to emission reduction and methods of reduction. This part is followed by a chapter on methods of measuring performance parameters and measuring emissions, which will be followed by the last chapter of the theoretical part on driving cycles for measuring emissions and fuel consumption. The practical part of this thesis describes the methodology of measuring vehicle operating parameters of author's test car, including power, emissions, fuel consumption and noise levels. Finally, an analysis of the oil samples was performed to determine the effect of the additive on the number of particles in the oil. At the end of the theses are summarized partial conclusions of individual measurements.

Keywords: engine power, torque, emissions, particulate matter, fuel consumption, noise, additives, dynamometer, diesel fuel, diesel engine, driving cycle

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Cíle práce	6
3	Přehled řešené problematiky.....	7
3.1	Provozní parametry spalovacího motoru	7
3.1.1	Točivý moment	8
3.1.2	Výkon	8
3.1.3	Spotřeba paliva	9
3.1.4	Hluk	9
3.2	Paliva.....	10
3.2.1	Výroba paliv	10
3.2.2	Benzín.....	11
3.2.3	Motorová nafta	12
3.2.4	Ethanol E85	13
3.2.5	LPG	14
3.2.6	CNG/LNG	14
3.2.7	Vodík.....	15
3.2.8	Rostlinné oleje a estery	15
3.3	Aditiva.....	16
3.3.1	Aditiva do paliv	16
3.3.2	Oleje a jejich aditiva.....	18
3.4	Emise ze spalovacího procesu	18
3.4.1	Oxid uhelnatý (CO).....	20
3.4.2	Oxid uhličitý (CO ₂)	20
3.4.3	Oxidy dusíku (NO _x)	20
3.4.4	Nespálené uhlovodíky (HC).....	20
3.4.5	Oxidy síry (SO _x).....	21
3.4.6	Pevné částice (PM).....	21
3.5	Metody snižování emisí	21
3.5.1	Opatření před motorem	22
3.5.2	Opatření u motoru	22
3.5.3	Katalyzátor	23
3.5.4	EGR.....	24
3.5.5	DPF.....	24
3.5.6	SCR	24
3.6	Měření výkonu	25

3.6.1	Dynamometry	25
3.6.2	Statické měření	26
3.6.3	Dynamické měření	27
3.7	Měření emisí	27
3.7.1	Zastoupení plynů	27
3.7.2	Měření množství pevných částic	28
3.7.3	Měření kouřivosti	29
3.8	Jízdní cykly	29
3.8.1	Evropské jízdní cykly	29
3.8.2	WLTC	30
3.8.3	RDE	31
4	Praktická část práce.....	32
4.1	Popis testovacího vozu	32
4.2	Popis válcové zkušebny katedry vozidel a pozemní dopravy	34
4.2.1	Ovládání válcové zkušebny	35
4.3	Měření emisí a spotřeby podle jízdního cyklu WLTC	36
4.4	Měření výkonu	44
4.5	Měření hluku	48
4.6	Zkoumání vlivů přidání aditiva do oleje	51
5	Závěr.....	56
6	Seznam zdrojů	58
7	Seznam obrázků	62
8	Seznam tabulek.....	64
9	Seznam grafů	65

1 Úvod

Automobily se spalovacím motorem potřebují pro svůj chod spalovat nějaké palivo. Hořením směsi paliva se vzduchem vzniká tlak na píst ve válci, který uvádí do pohybu klikovou hřídel, která skrze převodové ústrojí přenáší výkon, resp. točivý moment na kola, což zajišťuje pohyb vozidla. Při spalování ale také vznikají škodlivé emise, které zatěžují životní prostředí. Množství emisí vypouštěných do ovzduší závisí na motoru jako takovém, jeho technickém stavu, ale také je toto množství emisí do jisté míry dáno kvalitou paliva.

Současná běžná paliva jsou již v rafineriích obohacována o aditiva, která zlepšují vlastnosti těchto paliv. Dále také existují ještě více aditivovaná prémiová paliva, která jsou dražší a slibují vyšší výkon, nižší spotřebu, o něco nižší emise, tišší chod a zároveň mají chránit součásti motoru z dlouhodobého hlediska proti opotřebení. Ne vždy tomu tak ale musí být a toto je jednou z otázek dílčí části této práce, ve které se porovnají vzorky běžného paliva a prémiového paliva ze sítě čerpacích stanic *Benzina*.

Kromě aditiv již obsažených v palivech se můžeme také setkat s aditivou, které se dodatečně v určitém poměru daným výrobcem přidávají do nádrže nebo aditiva jiného typu, které se místo do paliv přidávají do oleje a mají za cíl snížit tření, prodloužit tak život motoru či prodloužit interval výměny nebo generální prohlídky např. převodovky. Teoreticky by snížení tření mělo vést k nižšímu hluku motoru, což bude jedním z dílčích zkoumaných parametrů praktické části práce.

2 Cíle práce

Cílem teoretické části této práce je objasnit provozní parametry motorů, popsat paliva pro spalovací motory a jejich výrobu. Následně bude věnována kapitola druhům aditiv a jejich konkrétním účelům. Na tuto kapitolu naváže část týkající se emisí ze spalovacího procesu a jejich negativnímu vlivu na lidské zdraví. S tím souvisí i navazující kapitola o metodách snižování emisí a opatřeních pro snižování. Na konci teoretické části budou stručně popsány metody měření výkonových parametrů a dále pak emisí, které se měří s pomocí jízdních cyklů, kterým rovněž bude věnována kapitola.

V praktické části bude autorův testovací vůz podroben měření a porovnání vzorku běžné nafty a následně prémiové nafty, kdy bude rovněž použito aditivum do oleje značky METALTEC-1[®]. Bude testován výkon, vzniklé emise a spotřeba s pomocí jízdního cyklu WLTC a zároveň i hluk, zda nastane nějaká změna v důsledku přidání tohoto aditiva či výměny běžné nafty za prémiovou.

S aditivem METALTEC-1[®], bude rovněž proveden experiment, na jehož základě bude zjišťováno množství pevných částic v oleji, zda se zvýší počet částic a vyčistí se tak motor či nikoliv po nalití aditiva a ujetí stanoveného počtu kilometrů.

V závěru této diplomové práce budou vyhodnoceny závěry dílčích měření, kde se potvrdí či vyvrátí úvodní teze autora, zda má prémiové palivo vliv na výkon, spotřebu paliva, emise a hluk, resp. chod motoru.

3 Přehled řešené problematiky

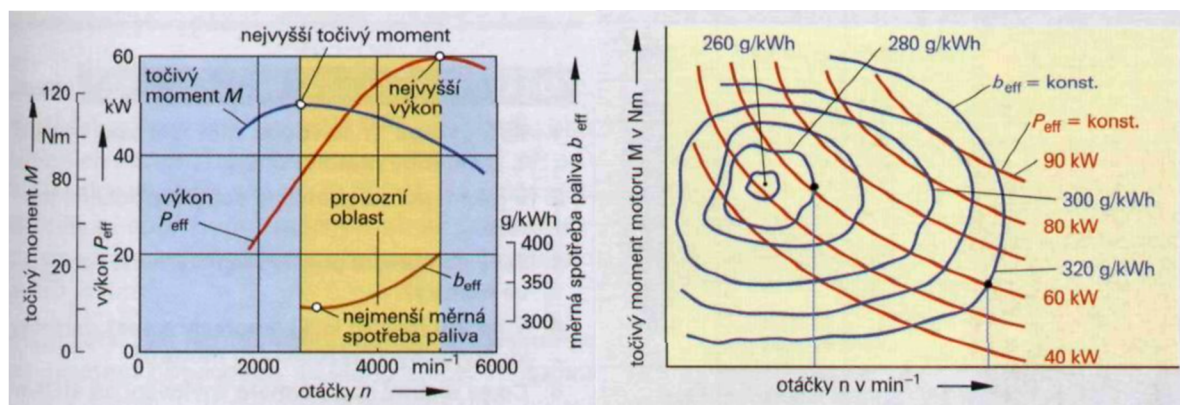
Každé motorové vozidlo produkuje svým provozem emise, které unikají do ovzduší. To má za následek zhoršení kvality ovzduší, což s sebou nese další důsledky. V současné době lze pozorovat stoupající trend elektromobilů a je kladen důraz na ekologičnost jejich provozu. Elektromobily sice neprodukují plynné emise z vlastního provozu, ale emise vznikají jinde. Ačkoliv se počet elektromobilů zvyšuje, stále převládá počet vozů s klasickým spalovacím motorem, do kterých spadají i hybridní vozy, které mají kromě elektromotorů také vždy spalovací motor.

Aditiva mohou teoreticky zvýšit výkon, snížit spotřebu, hlučnost a prodloužit životnost motoru. Tato kapitola čtenáře stručně provede problematikou. Vzhledem k doporučenému rozsahu této práce nelze očekávat vyčerpávající podání dané problematiky, protože jsou jednotlivá témata natolik komplexní, že je nelze pokrýt touto prací do hloubky.

3.1 Provozní parametry spalovacího motoru

Chceme-li porozumět technickému stavu motoru či chceme vědět, jak se bude motor chovat v celém spektru otáček, budeme muset znát základní parametry, kterými se motor charakterizuje. Těmito parametry je točivý moment, výkon, měrná spotřeba a vynesené v grafu se uceleně nazývají vnější otáčková charakteristika a úplná otáčková charakteristika viz obrázek č. 1. Vnější otáčková charakteristika znázorňuje výkonové parametry při maximálním zatížení (maximální dávce paliva). Úplná otáčková charakteristika ukazuje spotřebu paliva v závislosti na zatížení. Nejnížší spotřeba paliva je zpravidla v oblasti okolo maximálního točivého momentu. Mezi další parametry, které nám pomohou zjistit technický stav je např. i hluk či produkované emise. [1–3]

V následujících podkapitolách budou stručně popsány tyto základní parametry.



Obrázek č. 1: Vnější otáčková charakteristika (vlevo) a úplná charakteristika (vpravo) [3]

3.1.1 Točivý moment

Hodnota točivého momentu nebo také točivého momentu, bývá definována jako moment vyvozený motorem na hnacím hřídeli. Jedná se o jednu ze základních měrných veličin, ze které se následně dopočítává výkon motoru. Tento moment se v průběhu pracovního cyklu mění. Setrvačnick motoru napomáhá tento jev vykompenzovat. Točivý moment je z fyzikálního hlediska definován jako součin působící síly na rameni určité délky a jednotkou je Newton metr (Nm). Měří se tenzometrem připevněným na dynamometru. Takto se přímo zjistí hodnota točivého momentu. V technické specifikaci motoru je pak tento údaj zaznamenán v maximální hodnotě při daných otáčkách za minutu. [4]

3.1.2 Výkon

Výkon je hodnota, kterou se předurčuje motor pro použití v jednotlivých strojích a dopravních prostředcích. Mechanický výkon se nedá přímo měřit, a proto se musí dopočítávat buď ze středního tlaku při známých otáčkách nebo z točivého momentu a úhlové rychlosti. Výkon je obecně uváděn jako práce za čas a jednotkou je watt, resp. kilowatt, neboť je pro vozidla základní jednotka příliš malá. V technické specifikaci motoru je tento údaj uveden v maximální hodnotě při daných otáčkách za minutu, obdobně jako točivý moment. [4]

Výkon můžeme dále rozdělovat na indikovaný, který představuje plochu v oběhovém diagramu, dále pak efektivní výkon, který je v místě odběru, tedy např. na klikovém hřídeli, přičemž jsou v provozu zařízení, které se nezbytně starají o chod motoru a představují drobné ztráty. Ztrátový výkon je další z druhů výkonu, který je snížený o ztráty např. chladicí soustavou, elektronikou, systémem řízení různých aktuátorů atd. a zjišťuje se obtížně.

Jmenovitý výkon je takový výkon, který je uváděn v technické specifikaci od výrobce. Motor tento výkon dokáže vytvářet trvale při jmenovitých otáčkách. [4]

3.1.3 Spotřeba paliva

Spotřeba paliva je stěžejním údajem, který se promítne nejen do ekonomiky provozu motoru, potažmo vozidla. Jedná se rovněž o ukazatel technického stavu, neboť řada problémů s motorem se projeví právě zvýšenou spotřebou pohonných hmot. Spotřebu paliva. Spotřebu paliva dnes běžně ukazují palubní počítače, avšak tato hodnota nebývá obzvláště přesná. Řídící jednotka množství paliva vypočítává na základě doby otevření vstřikovače. V laboratorních podmínkách se jako vhodné jeví použití průtokoměrů či nádoby s palivem postavené na hmotnostní váze. Na základě hustoty se z hmotnostního úbytku vypočítá objem spotřebovaného paliva. Spotřeba se běžně udává v litrech na 100 km. V úplné otáčkové charakteristice jsou hodnoty spotřeby vyjádřeny s pomocí isočar v závislosti na zatížení a otáčkách motoru. [1, 2]

3.1.4 Hluk

Hluk je rovněž poměrně dobrý ukazatel stavu motoru. Podle poslechu lze rozpoznat, že s motorem není něco v pořádku a dle konkrétního zvukového projevu lze i lokalizovat problém či jeho příčinu. Hluk vzniká vibracemi součástí, které mají každá svojí přirozenou tzv. vlastní frekvenci. [1]

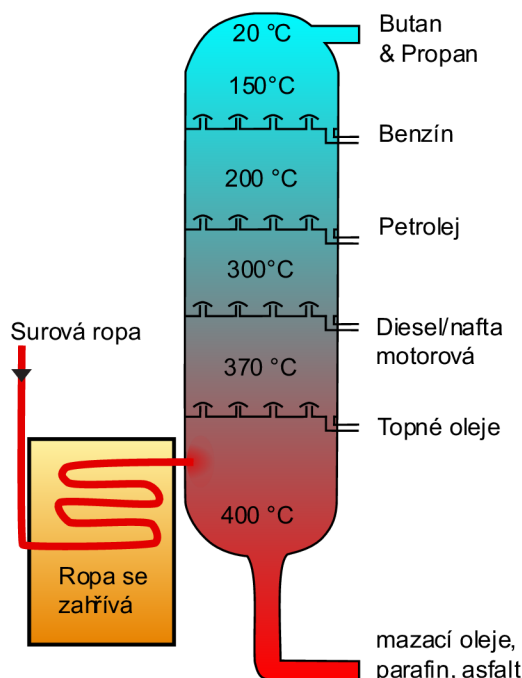
Hluk se měří ideálně v anechoické místnosti nebo alespoň v prostředí s co nejmenší odrazivostí zvuku a většinou je hodnota tohoto hluku vyjádřena v hodnotě decibelů (dB) podle křivky vážení A čili dBA, která je nejbližší vnímání zvuku lidským uchem, neboť různé frekvence vnímá lidské ucho s rozdílnou citlivostí. Lidské ucho je schopno vnímat zvuk přibližně od 16 Hz do 20 kHz, ale s věkem tato schopnost slyšet ve vysokých frekvencích postupně mizí. Rozsah je u každého člověka individuální. Při měření zvuku některé frekvence vyniknou a jiné nejsou tak výrazné či jsou potlačeny. To v reálu znamená charakterističnost zvuku. [5, 6]

3.2 Paliva

Spalovací motory vozidel pro svou činnost vyžadují určitý druh paliva. Paliv pro tyto motory je v současnosti celá řada. V zásadě se tato paliva dělí z hlediska skupenství na kapalná a plynná. Dále se paliva mohou dělit na neobnovitelná fosilní a obnovitelná paliva, která vznikají zpracováním biomasy. V podkapitolách níže bude popsána výroba paliv a nejdůležitější paliva, která tvoří naprostou většinu spotřebovaných paliv pro motorová vozidla. [2, 7]

3.2.1 Výroba paliv

Většina paliv vzniká destilací ropy a následnými úpravami, aby měla paliva požadované vlastnosti. Vytěžená ropa z vrtu obsahuje nečistoty jako např. vodu, soli a pevné částice (prach a jiné nečistoty). Nejprve je třeba ropu zbavit těchto nečistot před transportem do rafinerie, kde se surová ropa dále zpracovává. V destilační koloně se ropa frakčně destiluje. Jelikož mají jednotlivé uhlovodíky rozdílné body varu, jejich odpařením a následnou kondenzací jsou získána jednotlivá paliva, což je patrné z obrázku č. 2. [2, 8]



Obrázek č. 2: Schéma destilační kolony s teplotami jednotlivých frakcí [9]

V rafinériích jsou pro dodatečnou úpravu paliv pro dosažení jejich požadovaných vlastností používány tyto metody:

Reformace

Principem reformace je přeměňování uhlovodíků s nízkým oktanovým číslem na aromáty s vyšším oktanovým číslem. Tento proces patří mezi základní procesy při výrobě vysokooktanových benzínů. [2]

Katalytické krakování

Tato metoda spočívá v tepelném štěpení ropných frakcí o vyšším bodu varu, přičemž vznikají převážně nenasycené a aromatické uhlovodíky. Benzín díky tomuto procesu dosahuje vyváženějších hodnot oktanového čísla oproti primárnímu destilátu. [2]

Izomerace

Metoda izomerace je založena na katalytickém procesu, při kterém se z nízkooktanových n-alkanů obsahujících pět a šest uhlíků stávají rozvětvené izomery s vysokým oktanovým číslem. Tento proces je zavedený napříč všemi rafineriemi, neboť je stěžejní pro výrobu kvalitních benzínů. [2]

Alkylace

Principem této metody je syntéza vysokooktanových izo-alkanů, též zvaných alkylátů. Alkylát je vyráběn reakcí alkanů s alkeny. V praxi to znamená využití uhlovodíků se čtyřmi uhlíky, tzn. izobutanu a butenu. Je nutné podotknout, že tato metoda není tak využívána kvůli své nákladnosti a není tedy zatím ve všech rafineriích využívána. [2]

Nehledě na výrobu paliv v rafineriích s pomocí destilace, je možno uhlovodíková paliva také dále získat z olejnatých břidlic a syntetický benzín či naftu lze vyrobit Fischer-Tropschovou syntézou s pomocí uhlí a biomasy. [2, 8]

3.2.2 Benzín

Benzín je uhlovodíkové kapalné palivo vzniklé frakční destilací ropy. Složky, které benzín obsahuje destilují při teplotě 140-180 °C. Jedná se o acyklické uhlovodíky s přímým řetězcem (alkany). Dále benzín obsahuje cyklické uhlovodíky (cykloalkany). Benzín nesmí obsahovat těžší frakční podíly, které destilují při teplotách nad 210 °C, neboť by se smýval olejový film ze stěn válce a ředil by se olej ve skříni motoru. [2, 7]

U benzínu je stěžejní parametr jeho oktanové číslo. Toto číslo značí odolnost benzínu proti detonačnímu hoření, které je nežádoucí a vede ke zvýšenému klepání motoru. Jelikož má detonační hoření více než dvojnásobnou rychlost šíření tlaku oproti normálnímu hoření, tlaková

vlna se šíří rychlostí zvuku a při dopadu na stěny válce a jiné komponenty vytváří rázy, které postupně poškozují součásti motoru. Čím vyšší je tedy oktanové číslo, tím nižší je tendence benzínu k detonačnímu hoření. Nulovou hodnotu cetanového čísla má n-heptan a naopak hodnotu 100 oktanů má iso-oktan. Hodnota tohoto čísla se zjišťuje na speciálním testovacím motoru s jedním válcem a proměnným kompresním poměrem. Existují dvě hodnoty měření: výzkumná metoda (VM) a motorová metoda (MM), které se liší otáčkami, nastavením úhlu předstihu atd. V testovacím motoru se nejprve musí určit počátek klepání, kdy se do tohoto okamžiku zvyšuje kompresní poměr motoru. Dále se pak porovná směs iso-oktanu a n-heptanu, na základě čehož se zjistí hodnota oktanového čísla měřeného vzorku paliva. [2]

Pro zlepšení vlastností benzínů se rovněž používají tzv. antidetonátory. V současnosti se jedná především o tercamylmethylether (TAME), methyltercbuthylether (MTBE) či ethyltercbuthylether (ETBE), které nahradily v minulosti používané sloučeniny na bázi olova jako např. tetraethylolovo či tetramethylolovo, které jsou pro svoji karcinogenitu již řadu let zakázány a v palivech se již nevyskytují. [2]

Současný běžný benzín nabízený na čerpacích stanicích obsahuje dle normy ČSN EN 228 5% podíl biosložky (bioethanolu). [10, 11]

3.2.3 Motorová nafta

Motorová nafta se skládá z uhlovodíků, které se destilují při teplotách od 150 do 360 °C a je vyráběna smícháním petroleje s plynovým oleje, který je oproti petroleji těžší destilační produkt. U obsahu lehkých podílů je důležitý bod vzplanutí, u těžkých podílů je jejich obsah omezen vznikem úsad ve spalovacím prostoru. [2, 7]

Nafta má obdobně jako benzín svůj ekvivalent pro oktanové číslo, které se v tomto případě nazývá cetanovým číslem. Toto číslo se zjišťuje obdobně na testovacím motoru jako benzín viz předchozí kapitola. Rozdíl je ten, že se cetan, který má hodnotu 100 porovnává s 1-methylnaftalenem, jež má nulovou hodnotu cetanového čísla. Vzorek nafty se porovná se směsí a hodnotí se doba prodlevy vznícení zkoušeného paliva. Cetan má nejkratší prodlevu vznícení a 1-methylnaftalen má naopak dlouhou prodlevu. Na základě poměru látek se pak vypočítá cetanové číslo paliva. *„Na rozdíl od oktanového čísla benzínů pro zážehové motory není cetanové číslo mezní hodnotou, neboť vznětovému motoru nevyhovuje palivo s příliš vysokým*

ani příliš nízkým cetanovým číslem.“ Nízká hodnota cetanového čísla znamená „tvrdý“, a tím pádem hlučný chod motoru. V současné době garantují čerpací stanice minimální hodnotu cetanového čísla vyšší, než 51. [7, 12, 13]

Podle normy ČSN EN 590 se nafta rozděluje na třídy podle filtrovatelnosti. Nafta má totiž při nízkých teplotách tendenci vytvářet pevné shluky parafinů. Proto jsou přes rok distribuovány různé nafty, které se dělí do tříd. Nafta třídy B je tzv. letní a je distribuována v období od 15. dubna do 30. září, přičemž je její filtrovatelnost okolo 0 °C. Můžeme se také setkat s anglickým pojmem *Cold Filter Plugging Point* (CFPP), což znamená v překladu bod ucpání palivového filtru. V přechodovém období podzimu od 1. října do 15. listopadu a na jaře od 1. března do 14. dubna je nabízena nafta třídy D, která má filtrovatelnost okolo -10 °C. V období zimy od 1. prosince do 28. února je k dispozici nafta kategorie F, která má filtrovatelnost okolo -20 °C. Dodávky této nafty zahajují rafinerie již od 16. listopadu. V ojedinělých případech lze v ČR nalézt tzv. arktickou naftu *třídy 2*, která má filtrovatelnost až do -32 °C. [12, 14]

3.2.4 Ethanol E85

Ethanol E85 je palivo používané převážně pro zážehové motory s vyšším oktanovým číslem, než má benzín. Toto číslo má přibližně hodnotu 107. Ethanol se vyrábí z brambor, cukrové řepy či obilnin. V Brazílii se vyrábí z cukrové třtiny a je zde majoritním palivem. Číslo 85 znamená procentuální podíl bioethanolu, přičemž zbylou část tvoří benzín. Co se týče výhřevnosti, tak má ethanol nižší výhřevnost oproti benzínu, a to s sebou nese vyšší spotřebu tohoto paliva o přibližně 40 %. Je však velmi dobře mísitelný s benzínem, tak jej lze přimíchávat, protože je levnější, což znamená určitou úsporu financí při tankování oproti tankování pouze benzínu. Existují tzv. *Flexi-fuel* vozidla jsou vozidla umožňující provoz na směs E85 s benzínem v libovolném poměru. [2, 7]

Ethanol lze použít i u vznětových motorů. Je však třeba zvýšit podíl ethanolu na 95 % a zbývajících 5 % budou tvořit aditiva, neboť nafta běžně používaná ve vznětových motorech má zároveň mazací funkci, kterou samotný ethanol postrádá. Jelikož má ethanol nízké cetanové číslo, je nutné zvýšit kompresní poměr motoru na hodnotu 23:1 či více a zvýšit dávku paliva.

Tento upravený motor pak již nemůže spalovat běžnou naftu. U zážehových motorů není třeba provádět žádné změny. [2, 7]

3.2.5 LPG

Zkratka LPG znamená *Liquified Petroleum Gas* neboli směs zkapalněných uhlovodíkových plynů (nejčastěji propanu a butanu). Toto palivo je určené pro zážehové motory, které musí většinou projít přestavbou na toto palivo, tj. musí dostat příslušné vstřikovače a musí se do vozidla nainstalovat tlaková nádoba na uskladnění plynu. Uplatnění tohoto paliva lze nalézt např. u vysokozdvížných vozíků či podobných prostředků pro provoz v uzavřených halách pro jeho méně škodlivé emise oproti např. benzínu.

Propan-butan je snadno stlačitelný při nízkém tlaku a běžné teplotě. Z 250 litrů plynu vznikne jeden litr stlačeného plynu v kapalném skupenství. Propan-butan má lepší antidetonační vlastnosti, ale kvůli nižší výhřevnosti je vyšší spotřeba a pokles výkonu přibližně o 10 %. Spalováním vznikají méně škodlivé emise, než je tomu u benzínu. [2, 7]

LPG má rovněž jako nafta varianty pro léto a zimu. Zimní směs je tvořena v poměru 3:2 ve prospěch propanu vůči butanu. V létě je tento poměr opačný. Co se týče nevýhod, tak vozidla na LPG nesmí do podzemních garáží, neboť je propan-butan těžší, než vzduch a hrozí jeho nahromadění v případě potíží s únikem. Rovněž je třeba pravidelně absolvovat inspekce tlakových nádob, které zabírají poměrně dost prostoru v zavazadelníku vozu. [2, 7, 15]

3.2.6 CNG/LNG

Compressed Natural Gas (CNG) neboli stlačený zemní plyn či varianta *Liquefied Natural Gas* (LNG), v překladu zkapalněný zemní plyn jsou uhlovodíkové plyny, které spalováním vytváří nízké emise a jsou vhodné pro využití jako pohon městských nákladních vozidel. Nevýhodou je vysoký zástavbový objem a vyšší hmotnost zásobníků paliva, je-li palivo stlačené. Zemní plyn se převážně používá stlačený, přičemž má poměr stlačený 200:1. Rovněž má spolu s LPG obdobně menší energii oproti kapalným uhlovodíkovým palivům. V případě použití kryogenních nádrží se objem sníží přibližně 600–krát, ale znamená to také značné ztráty odparem, protože je v kryogenní nádrži nutno odpouštět plyn. Co se složení týče, tak je zemní plyn tvořen z 90 % methanem a dále ethanem z 1-6 % a nehořlavými složkami jako je dusík a oxid uhličitý. Nehořlavé složky snižují kvalitu zemního plynu. Pokles výkonu u CNG je oproti

LPG stejný nebo až přibližně o 5 % větší. Zvýšením kompresního poměru lze tento nedostatek eliminovat. Oktanové číslo zemního plynu je v rozmezí 100 až 140. [2, 7, 11]

3.2.7 Vodík

Vodík jako palivo se do budoucna jeví jako možná náhrada konvenčních paliv. Potíž je s jeho poměrně nákladnou výrobou a distribucí. Výroba vodíku spočívá ve štěpení uhlovodíků získaných ze zemního plynu či ropy v otevřeném termochemickém cyklu. Vodík lze ale rovněž vyrábět z vody elektrolýzou nebo přímým tepelným rozkladem, což je nákladnější než výroba štěpením uhlovodíků. [2, 7]

Vodík lze buď spalovat přímo, což při částečném zatížení sníží spotřebu paliva za předpokladu, že bude použita chudá směs. Z hlediska emisí se objeví pouze oxidy dusíku, které lze ještě poté snížit zpětnou recirkulací spalin. Dále se vodík může použít do palivových článků, které vytváří elektrickou energii při chemické reakci (inverzní elektrolýza vody). Tato varianta je efektivnější, protože je účinnost palivových článků takřka dvojnásobná oproti spalovacím motorům a pohybuje se tedy okolo 60 % dle použitého palivového článku. Pohon vozidel je pak zajišťován elektromotory. Nevýhodou palivových článků je jejich cena a nutnost akumulace elektrické energie. [2]

3.2.8 Rostlinné oleje a estery

Rostlinné oleje jsou získávány lisováním semen olejnin. V Evropě jde ve většině případů o řepkový olej, zatímco v subtropích a tropech jde o olej palmový. Teplo vzniklé spálením je poněkud nižší, avšak srovnatelné s naftou. Jelikož mají oleje vyšší viskozitu a vysoký bod vzplanutí, nelze je přímo použít v běžných naftových motorech. Viskozita lze snížit vhodnou úpravou vstříkovacích trysek. Problémem zůstává nízká odpařivost v důsledku velkých kapek paliva, což vede ke vzniku karbonu. To může vést v relativně krátké době k znehybnění pístních kroužků a tím pádem zadření motoru. Velikost kapek je ovlivněna také povrchovým napětím, které lze snížit použitím aditiv. [2, 7]

Paliva z rostlinných olejů se dělí do několika generací. První generace paliv je vyráběna esterifikací různých olejů. Obecně je lze nazvat methylestery mastných kyselin známé též pod anglickou zkratkou FAME (Fatty Acid Methyl Esters). Jedná se zpravidla o methylestery jako např. methylester řepkového oleje (MEŘO). Tento olej se v Německu a Rakousku používá v čisté podobě. V České republice se toto palivo první generace nepoužívá. Namísto toho se

využívá bionafta 2. generace, která je tvořena z 69 % klasickou naftou a zbylých 31 % tvoří právě MEŘO. Existují i biopaliva třetí generace, které se dají vyrábět s použitím vodních řas a sinic. Taková výroba se jeví jako velmi perspektivní do budoucna. [7, 16, 17]

Dle normy ČSN EN 590 je povinné přimíchávat 7 % biosložky do běžné nafty, která je dle toho označována B7. [17]

3.3 Aditiva

Aditiva se obecně přidávají pro dosažení požadovaných vlastností. Přidané látky v malém množství zlepšují vlastnosti, kterých není možné dosáhnout při procesu rafinace v ropných rafinériích. Aditiva se nepoužívají pouze do běžných paliv jako je benzín a nafta, ale i do leteckých paliv, olejů a topných olejů. [8]

Aditiva se používají pro [8]:

- Zlepšení stability
- Zlepšení vlastností
- Snížení emisí ze spalování
- Ochranu motoru a čisticí účinek
- Zvýšení ekonomického využití tzn. prodloužení životnosti
- Zlepšení image daného produktu či značky produktů

3.3.1 Aditiva do paliv

Látek, které se přidávají do paliv či jiných ropných produktů je nepřehledné množství. Dělí se však do různých kategorií podle jejich funkce a využití. Pro přehled jsou tato aditiva přehledně zobrazena v tabulce č. 1 a 2. [8]

Aditiva	Funkce	Množství [mg/kg]
Aditiva proti klepání	Zvýšení oktanového čísla	10-1000
Zlepšovače spalování	Zlepšují charakteristiku spalování	5-50
Detergenty a disperzanty	Čistí vstřikovací a výfukovou soustavu	20-1000
Aditiva pro snížení potřeby vyššího oktanového čísla	Odstraňují depozity ve spalovacím prostoru	20-100
Inhibitory koroze	Chrání palivovou soustavu proti korozi	5-50
Antioxidanty	Zlepšují skladovatelnost paliva, zabráňují tvorbě produktů oxidace	10-50
Deaktivátory kovů	Deaktivují kovové povrchy, které fungují jako oxidační katalyzátory	5-20
Aditiva snižující tření a opotřebení	Snižují opotřebení (např. palivového čerpadla), snížení spotřeby díky snížení tření mezi pohyblivými částmi	10-50
Aditiva proti zákalu	Snižují vznik zákalu (podporují koalescenci vody)	3-50
Protimrzoucí látky	Zabráňují vzniku ledu v karburátorech	3-50
Antistatické přísady	Zlepšují vodivost	2-10
Barviva	Rozlišují paliva	2-20

Tabulka č. 1: Přehled aditiv do benzínů s rozmezím množství těchto aditiv na kg paliva. (přeloženo autorem na základě zdroje č.: [8])

Aditiva	Funkce	Množství [mg/kg]
Zvyšovače cetanového čísla	Zvyšují cetanové číslo (zlepšení studených startů, nižší emise, hluk a sputování, zvýšení životnosti motoru)	100-300
Zlepšovače spalování	Snižují emise (lepší spálení pevných částic)	10-30
Aditiva pro kontrolu tvorby úsad	Čistí a udržují čisté plochy součástí motoru, snižují tvorbu úsad, snižují spotřebu a emise CO ₂	30-330
Antioxidanty	Zabráňují tvorbě produktů oxidace, zlepšují skladovatelnost	5-30
Inhibitory koroze	Chrání před korozi palivového systému	10-20
Deaktivátory kovů	Deaktivují povrchy kovů, které se chovají jako katalyzátory oxidace, zlepšují stabilitu, snižují katalytický efekt iontů mědi	5-20
Deemulgátory	Zabráňují tvorbě emulzí, zabráňují vzniku zákalu vzniklém přítomností vody či nerozpustných sloučenin	10-20
Lubrikanty	Zlepšují kluzné vlastnosti v případě nízkých podílů síry, snižují výsledný bod varu nafty	25-100
Látky snižující teplotu bodu zákalu	Snižují teplotu při které krystalizují parafíny	150-500
Látky snižující teplotu bodu tuhnutí	Snižují teplotu, kdy kapalina ztrácí schopnost stékat	75-350
Látky zlepšující tokové vlastnosti / látky upravující krystalky parafínu / látky rozpouštějící parafín	Zajišťují příznivé podmínky toku při nízkých teplotách	150-500
Aditiva proti usazování parafínů	Zamezují usazování parafínů	100-200
Modifikátory tření	Snižují tření (nižší spotřeba paliva)	50-100
Odmrazující aditiva	Zamezují tvorbě ledových krystalků	2-10
Biocidní látky	Tlumí vznik mikroorganismů a bakterií, aby se zamezilo snižování kvality paliva	1-10
Látky proti tvorbě pěny	Zamezují tvorbě pěny při tankování	1-5
Antistatické látky	Snižují vodivost	2-10
Deodoranty	Tlumí nebo neutralizují zápach	5-10
Barviva	Rozlišují paliva	5-10

Tabulka č. 2: Přehled aditiv do nafty s rozmezím množství těchto aditiv na kg paliva. (přeloženo autorem na základě zdroje: [8])

3.3.2 Oleje a jejich aditiva

Mazací oleje jsou směsi uhlovodíků, které se vyrábějí z ropy destilací za sníženého tlaku. Rozdělují se na dvě hlavní skupiny, a to na minerální a syntetické, které na rozdíl od minerálních využívají jiné výrobní postupy, než je destilace. [7]

Chemické změny, které probíhají v oleji za provozu a v důsledku nečistot se podílí na jeho postupné degradaci. Oxidací při zvýšených teplotách vznikají v oleji kyselé látky, které poškozují např. ložiska v klikové skříni motoru. Tomu se říká tzv. měkké znečištění. Dále pak vzniká olejový kal, který se usazuje na stěnách mazacích kanálků a klikové skříně. To má za následek snížení průtoku oleje a zhoršení mazacích schopností. [7, 18]

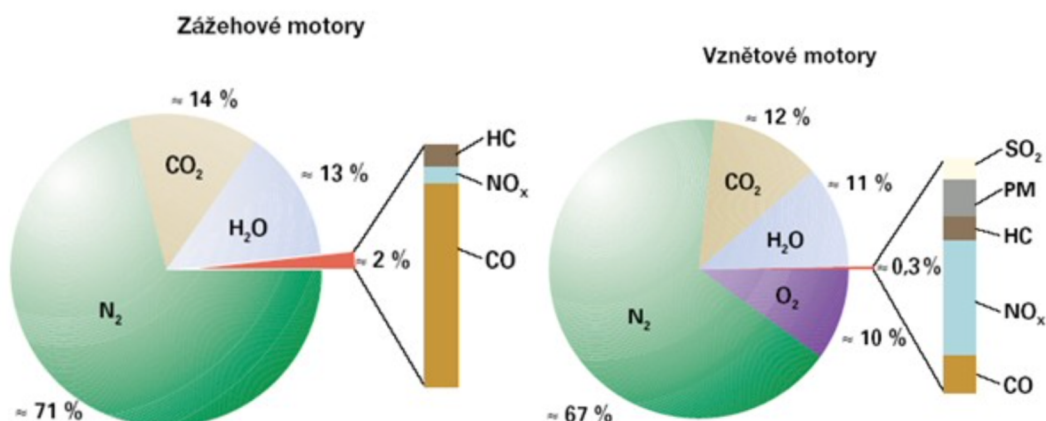
Pro zpomalení chemických procesů v oleji a zlepšení jeho dalších vlastností se používají obdobná aditiva, jako u již výše zmíněných paliv a to [7]:

- Přísady zvyšující viskozitu vzhledem k teplotě (tzv. viskozitní index)
- Antioxidanty – látky zabraňující oxidaci a prodlužují tím skladovatelnost a životnost
- Detergenty – látky zabraňující usazování kalů v oleji
- Inhibitory – látky, které na sebe vážou nečistoty a odlučují je od sebe v čističích
- Disperzanty – látky, které zamezují tvorbě kalů za nízkých teplot
- Látky zabraňující korozivnímu působení oleje
- Přísady omezující pění

3.4 Emise ze spalovacího procesu

Během spalování paliv logicky vznikají emise z procesu hoření. Ve většině případů jsou tyto emise nežádoucí a je snaha je minimalizovat. Existují dosti patrné rozdíly při porovnání složek emisí zážehových a vznětových motorů viz obrázek č. 3. Současná doba vyžaduje co nejnižší emise z provozu spalovacích motorů. Od 90. let se vyvíjely v Evropě tzv. Euro normy, které určovaly maximální zastoupení škodlivin vypouštěných do ovzduší. Přehled jejich vývoje je znázorněn v tabulce č. 3. [2]

V této kapitole budou níže stručně popsány škodlivé látky, které vznikají při provozu spalovacích motorů.



Obrázek č. 3: Přibližné zastoupení nežádoucích emisí dle typu motoru [2]

Evropské emisní limity pro osobní vozy se zážehovým motorem

Norma	Datum	CO (g/km)	HC (g/km)	HC + NO _x (g/km)	NO _x (g/km)	PM (g/km)	PN (#/km)
Euro 1	07-1992	2.72	—	0.97	—	—	—
Euro 2	01-1996	2.20	—	0.5	—	—	—
Euro 3	01-2000	2.30	0.20	—	0.15	—	—
Euro 4	01-2005	1.0	0.10	—	0.08	—	—
Euro 5	09-2009	1.0	0.10 (0.068)	—	0.06	0.005* (0.0045)	—
Euro 6	09-2014	1.0	0.10 (0.068)	—	0.06	0.005* (0.0045)	6 × 10 ¹² (Platí pouze pro DI motory)

* Hodnota v závorkách byla získána na základě měření metodou PMP

Evropské emisní standardy pro osobní vozy se vznětovým motorem

Norma	Datum	CO (g/km)	HC (g/km)	HC + NO _x (g/km)	NO _x (g/km)	PM (g/km)	PN (#/km)
Euro 1	07-1992	2.72	—	0.97	—	0.14	—
Euro 2, IDI	01-1996	1.0	—	0.70	—	0.08	—
Euro 2, DI	01-1996	1.0	—	0.90	—	0.10	—
Euro 3	01-2000	0.64	—	0.56	0.50	0.05	—
Euro 4	01-2005	0.50	—	0.30	0.25	0.025	—
Euro 5a	09-2009	0.50	—	0.23	0.18	0.005* (0.0045)	—
Euro 5b	09-2011	0.50	—	0.23	0.18	0.005* (0.0045)	6 × 10 ¹¹
Euro 6	09-2014	0.05	—	0.17	0.08	0.005* (0.0045)	6 × 10 ¹¹

* Hodnota v závorkách byla získána na základě měření metodou PMP

Tabulka č. 3: Přehled emisních limitů Euro norem (přeloženo autorem) [19]

3.4.1 Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý jedovatý plyn, bez zápachu, který se váže na krevní barvivo a vzniká tak karboxyhemoglobin, který znemožňuje krvinkám transportovat kyslík. Při nadýchání hrozí brzy smrt udušením. Pro eliminaci tohoto plynu se využívá oxidační katalyzátor, který přemění oxid uhelnatý (CO) na oxid uhličitý (CO₂). [2]

3.4.2 Oxid uhličitý (CO₂)

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez zápachu a je těžší než vzduch. Sám o sobě je relativně neškodný, ale řadí se mezi skleníkové plyny, tedy podporuje skleníkový efekt. Při vyšší vdechované koncentraci začne vytěšňovat kyslík. Snahou je při spalování přeměnit podstatně jedovatější oxid uhelnatý (CO) na oxid uhličitý (CO₂) toho se dosáhne využitím katalyzátoru, ve kterém probíhá oxidace. [2]

3.4.3 Oxidy dusíku (NO_x)

Oxid dusnatý (NO) je poměrně neškodný pro lidský organismus. Při pobytu v atmosféře ale dochází k jeho oxidaci a stává se z něj oxid dusičitý (NO₂). Ten je škodlivější, a navíc při vdechnutí vzniká na sliznicích kyselina dusičná (HNO₃), která nutí ke kašli a člověk má pocit, že se dusí. Tento jev nastává i v malých koncentracích, resp. krátkých dobách expozice. Oxidy dusíku v létě tvoří tzv. letní smog a přispívají ke kyselým dešťům. [2]

3.4.4 Nespálené uhlovodíky (HC)

Pojem nespálené uhlovodíky (z angl. *Hydrocarbons*) zahrnuje směsi různých skupin uhlovodíků. Vstupují jako palivo do oxidačního procesu nebo vznikají v průběhu spalování paliva ve válci motoru. Nejméně škodlivé jsou původní uhlovodíky z paliva, větší škodlivost pak mají meziprodukty oxidace původních uhlovodíků. Oxidace probíhá neúplně např. v místě styku se stěnou válce, která je chladnější. Takto vzniklé látky jsou karcinogenní a mohou se přichytávat na pevné částice, což jsou další emisní složka, jež produkují spalovací motory. Nejnebezpečnější jsou polycyklické aromatické uhlovodíky, jejichž škodlivé vlivy jsou umocněny již zmíněnou schopností se přichytit na pevné částice. Částečně zoxidované uhlovodíky jsou ze skupiny aldehydů (R-CHO), které vznikají zejména při provozu s velkým přebytkem vzduchu, po studeném startu motor či v nízkých zatíženích. Tyto nespálené nebo

částečně zoxidované aldehydy jsou charakteristické svým typickým zápachem výfukových plynů. [2]

3.4.5 Oxidy síry (SO_x)

Oxidy síry jsou produkovány zejména vznětovými motory. Podíl těchto emisí vzniklých spalováním paliva je však velmi malý. To je dáno tím, že je obsah síry v naftě se snižuje a rovněž i emise díky dokonalejším motorům. [2]

3.4.6 Pevné částice (PM)

Pevné částice (z angl. *Particulate Matter*) tvoří důležitou složku emisí u vznětových motorů. Tyto částice jsou tvořeny primárním uhlíkem, organickým uhlíkem, malým množstvím sulfátu, dusíkem, vodou a dalšími složkami. Obsah základního uhlíku je okolo 75 %, avšak složení je závislé na daném motoru a jestli je vozidlo vybaveno filtrem pevných částic. Jádro částic je tvořeno pevným uhlíkem a popelem. Organické a sulfátové směsi spolu s dalšími prvky jsou sorbovány na povrch jádra během koagulace, adsorpce a kondenzace těchto částic. [2]

Krátkodobá expozice působí dráždivě pro dýchací soustavu, oči a mohou se vyskytnout neurofyziologické obtíže jako např. pocity na zvracení, dušnost, závratě. Částice mají různou velikost od desetin až po desítky mikronů. Velké částice se zachytí v nose a horních cestách dýchacích, malé částice (řádově menší, než 1 mikron) ale mají šanci, že se dostanou až do plic a odtud se dostanou do krevního oběhu, což může být velmi nebezpečné z hlediska zvýšené toxicity kvůli přichyceným uhlovodíkům, které se na tyto částice přirozeně přichytávají. Tyto karcinogenní látky pak kolují celým oběhem a představují potenciální riziko vzniku rakoviny. [2]

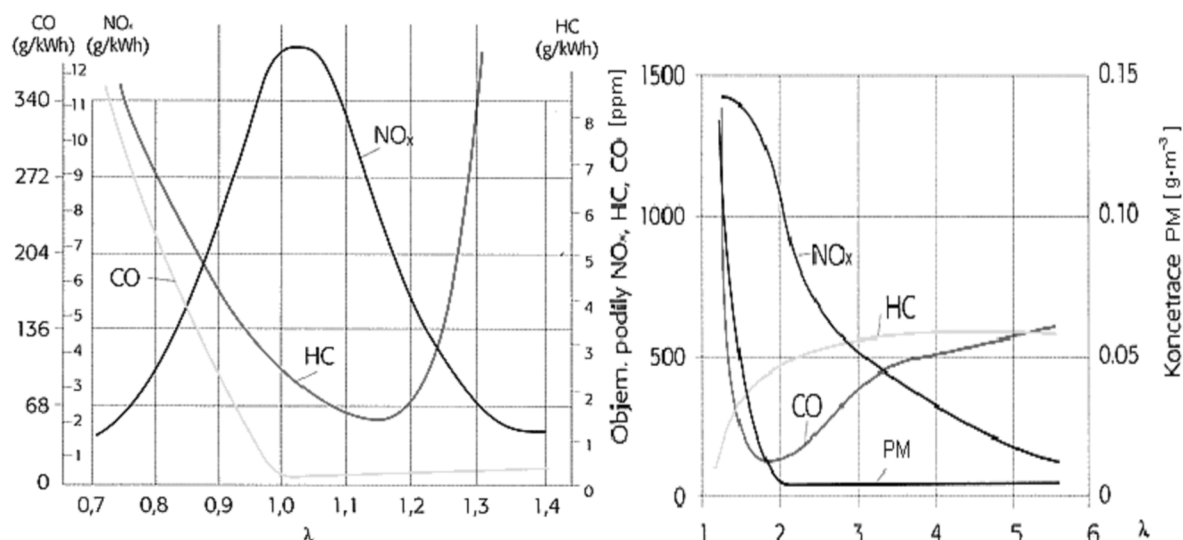
3.5 Metody snižování emisí

Každý moderní vůz je dnes opatřen nějakou formou zařízení snižující emise. Jelikož jsou emise nežádoucí a nelze se jim vyvarovat, je snaha je co nejvíce minimalizovat. To se provádí za pomoci opatření před motorem, opatření u motoru a za motorem. Jakákoli změna parametrů je jakýmsi kompromisem, protože nelze snížit všechny emise zároveň. Vždy se změna podepíše

na ostatních provozních parametrech. Následující podkapitoly budou pojednávat o těchto zařízeních a jejich vlivu na emise.

3.5.1 Opatření před motorem

U těchto opatření se pracuje s přípravou směsi ke spálení. Vychází se z hodnot, které poskytuje lambda sonda, zaznamenávající přebytek kyslíku ve výfukovém potrubí. Ta se nachází před katalyzátorem. Řízení motoru na základě přebytku vzduchu se u jednotlivých typů motorů liší viz obrázek č. 4. Poměr se u zážehových motorů udržuje těsně pod hodnotou 1. U vznětových motorů je přebytek vzduchu větší, neboť se při nižších hodnotách lambda tvoří velké množství pevných částic, což je charakteristické černým kouřem. [2]



Obrázek č. 4: Vliv hodnoty přebytku vzduchu lambda na emise zážehového motoru (vlevo) a vznětového (vpravo) [2]

3.5.2 Opatření u motoru

U zážehových motorů se snižování emisí provádí vhodnou volbou kompresního poměru a předstihu zážehu. Při snížení kompresního poměru se sníží i maximální teploty. To přináší snížení množství oxidů dusíku a zároveň i v o něco menší míře snížení nespálených uhlovodíků. Kompresní poměr však nemůže být příliš nízký, protože se tím snižuje výkon motoru, tepelná účinnost a také měrná spotřeba paliva a měrné emise. [2]

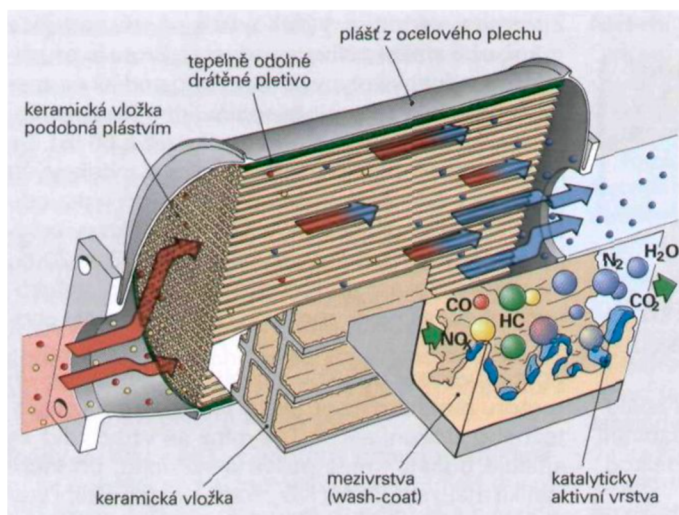
Snížením úhlu předstihu zapalování pod optimální hodnotu se opět sníží vznik oxidů dusíku a nespálených uhlovodíků. Vzrůstá však měrná spotřeba paliva v důsledku snížení termické účinnosti touto změnou předstihu. Při navrhování motoru je třeba všechny tyto informace vzít v potaz a nalézt kompromisní řešení. [2]

U vznětových motorů s přímým vstřikem se snižuje množství emisí rozdělením dávky, kdy je vstříknutá dávka předsunutá o několik stupňů natočení klikové hřídele. To snižuje oxidy dusíku a nespálené uhlovodíky. Pozdější vstřik paliva snižuje oxidy dusíku, avšak na úkor spotřeby, která se zvyšuje. Zároveň roste i kouřivost motoru. Má-li vozidlo turbodmychadlo a mezichladič vzduchu, rovněž má i nižší emise oxidů dusíku, díky mezichlazení. Co se kouřivosti týče, tak má nejzásadnější vliv kvalita rozprašení paliva. Čím vyšší vstřikovací tlaky, tím nižší kouřivost. V současnosti mají moderní motory se systémem common-rail řádově vyšší tlaky a to až 220 MPa, což je téměř desetinásobně větší hodnota oproti motorům s rotačním čerpadlem, které má i testovaný vůz v této práci. [2]

3.5.3 Katalyzátor

Katalyzátor nebo přesněji katalytický konvertor slouží k přeměně škodlivých látek na méně škodlivé tím, že urychlí reakci. Obsahuje vzácné kovy, které jsou obsaženy v keramické či kovové vložce (tzn. nosič katalyzátoru). Uvnitř této vložky jsou tenké kanálky, kudy proudí plyny, které se zde mění na méně škodlivé. [2, 3]

U zážehových motorů se používá s tzv. třícestný katalyzátor viz obrázek č. 5., což je dosti nevhodné označení. Tento katalyzátor nemá fyzické tři cesty, nýbrž v něm probíhají tři druhy reakcí současně. Probíhá zde oxidace CO na CO_2 , dále redukce NO_x na N_2 a sloučeniny HC oxidují na CO_2 a H_2O . [2, 3]



Obrázek č. 5: Řez třícestným katalyzátorem [3]

Vznětové motory jsou opatřeny pouze oxidačním katalyzátorem. Přeměňuje se CO na CO_2 a nespálené uhlovodíky na H_2O . [2, 3]

3.5.4 EGR

Zkratka EGR (z angl. *Exhaust Gas Recirculation*) znamená přivádění spalin zpět do spalovacího procesu s pomocí ventilu řízeného řídicí jednotkou. Spaliny jsou přiváděny do sání motoru, kde se následně nasají do válce a proces tak pokračuje dále. V závislosti na množství recirkulovaných plynů lze snížit emise oxidů dusíku přibližně o 50-60 %. Do 10-15 % recirkulace se spotřeba paliva nijak zásadně nezvyšuje. Zážehové motory mají díky redukčnímu katalyzátoru výhodu, že se do ovzduší dostane pouze malá část oxidů dusíku. U vznětových motorů tomu tak není, neboť nemají redukční katalyzátor. Proto je zpětné vedení spalin jediným efektivním způsobem, jak efektivně snížit oxidy dusíku. U těchto motorů je množství recirkulovaných plynů omezeno zvýšením kouřivosti. To znamená, že nelze recirkulaci využít při maximálním zatížení vznětového motoru, kde je vznik emisí oxidů dusíku nejvyšší. [2]

3.5.5 DPF

DPF (z angl. *Diesel Particulate Filter*) je filtr, který se nachází za oxidačním katalyzátorem u vozidel se vznětovými motory. Je-li v dobrém stavu, je schopen snížit emise pevných částic až o 95 %. Uvnitř má tenké porézní kanálky obdobně, jako katalyzátor a pevné částice se zde při průchodu zachytávají. Filtr se postupně zanáší a je třeba provést tzv. regeneraci filtru, kdy se zvýší teplota ve filtru (nad cca 550 °C) a započne tak spalování pevných částic. Teplota se zvýší zvýšením dávky paliva řídicí jednotkou. Více paliva ve válci zvyšuje teplotu a zároveň vzniká více nespálených uhlovodíků, které pak postupují dále až do katalyzátoru a následně filtru DPF, kde započne hoření. Těchto vysokých teplot se jinak při běžném provozu mimo regeneraci nedosahuje. Regenerace filtru probíhá většinou automaticky (není-li vozidlo nadstandardně vybaveno manuální regenerací) přibližně po 500 km, obnova trvá řádově několik minut a motor by se v této fázi neměl vypínat. Činnost motoru není nijak dotčena. Nové vozy mají i vlastní vstříkovač nafty pro DPF, což zkvalitňuje výpal sazí a prodlužuje se tak životnost tohoto drahého dílu, který má životnost řádově 100 až 200 tisíc km. [2, 20, 21]

3.5.6 SCR

SCR (z angl. *Selective Catalytic Reduction*) znamená v překladu selektivní katalytickou redukci oxidů dusíku, která využívá pro reakci sloučeninu čpavku (amoniak) jako redukční

čínidlo. K tomu je potřeba 32,5% vodný roztok močoviny s vodou zvaný AdBlue[®], který je vstříkovan do SCR katalyzátoru. Je třeba dbát na extrémní čistotu tohoto roztoku. Případná kontaminace by mohla mít významný efekt na životnost celého systému. Spotřeba AdBlue[®] se pohybuje od 4 do 7 % objemu spáleného paliva v závislosti na Euro normě a druhu provozu vozidla. [2, 22, 23]

3.6 Měření výkonu

Výkon, resp. točivý moment je jeden z nejdůležitějších parametrů motorů. Jeho měření lze provést celou řadou způsobů od měření na válcové zkušebně až po měření s pomocí GPS snímačů na základě zrychlování. Měření se dělí na statické a dynamické viz tabulka č. 4. [2, 24]

způsob zatížení	umístění motoru	výstup výkonu	princip měřícího zařízení
STACIONÁRNÍ (STATICKÉ) <ul style="list-style-type: none"> • zatěžovacím momentem brzdy se udržují předvolené otáčky motoru (automobilové motory) • zvolí se zatěžovací moment brzdy nezávisle na otáčkách (motory s vlastní regulací) 	zkušební stanoviště ve vozidle (podle normy) v místě instalace	klikový hřídel nebo jiné srovnatelné místo	absorpční dynamometry: <ul style="list-style-type: none"> • elektromagnetické vířivé brzdy • hydraulické brzdy
		obvod hnacích kol (válcové zkušebny)	<ul style="list-style-type: none"> • mechanické frikční brzdy • vzduchové brzdy
		klikový hřídel nebo jiné srovnatelné místo vývodový hřídel (traktory)	<ul style="list-style-type: none"> • tandemové brzdy univerzální dynamometry: <ul style="list-style-type: none"> • elektrodynamické motor-generátory na stejnosměrný nebo střídavý proud torzní dynamometry
DYNAMICKÉ urychlování setrvačných hmot zvoleným točivým momentem	ve vozidle	obvod hnacích kol (válcové zkušebny)	měření úhlového zrychlení setrvačných hmot <ul style="list-style-type: none"> • přídavné setrvačníky na válcích
		klikový hřídel nebo jiné srovnatelné místo	měření úhlového zrychlení klikového hřídele samotného motoru tzv. volná akcelerace nebo s přídavnými setrvačnými hmotami při jízdě na určitý převodový stupeň apod.
		přepočít výkonu na klikový hřídel	měření přímočarého zrychlení celého vozidla

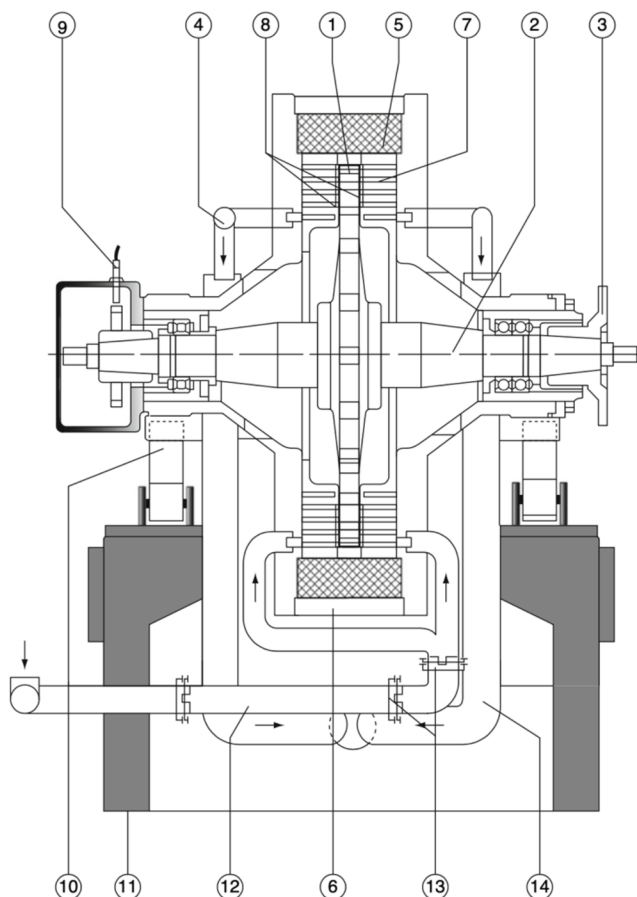
Tabulka č. 4: Přehled metod měření výkonových parametrů [2]

Tato kapitola se bude stručně věnovat popisu dynamometrů, které se využívají pro měření výkonu a popisu metod měření.

3.6.1 Dynamometry

Dynamometry jsou zařízení, která vytvářejí odpor měřenému motoru na zkušebním stanovišti či válcům válcových zkušeben. Působí proti neznámému (zjišťovanému) točivému momentu momentem opačně orientovaným. Ten je měřen s pomocí tenzometru připevněném na rameni dynamometru. Nejpoužívanější jsou dynamometry na principu vířivých proudů viz

obrázek č. 6, dále pak existují hydraulické dynamometry, elektrické na střídavý či stejnosměrný proud. Existují však i třecí, vzduchové a různé typy hybridních dynamometrů, jejichž využití je specifické. [19, 25, 26]



Obrázek č. 6: Vířivý dynamometr Schenck v řezu. 1) rotor, 2) hřídel rotoru, 3) spojovací příruba, 4) vývod vody, s termostatem 5) budící cívka, 6) kryt, 7) chladicí komora, 8) vzduchová mezera, 9) snímač otáček, 10) podpora, 11) základna, 12) vtok vody, 13) příruba, 14) potrubí vývodu vody (přeloženo autorem na základě zdroje: [27])

3.6.2 Statické měření

Statické nebo také někdy nazývané stacionární měření spočívá v udržování konstantních otáček motoru, kdy je nastaven zatěžovací moment na dynamometru. Točivý moment je pak následně vypočítán z naměřených otáček a hodnot na tenzometru. Výkon je pak dopočítán na základě hodnot točivého momentu. Má-li motor vlastní regulaci, zvolí se zatěžovací moment dynamometru nezávisle na otáčkách motoru. [2]

3.6.3 Dynamické měření

Rozdíl dynamického měření oproti statickému je, že nejsou výkonové parametry měřeny za konstantních otáček či zatížení, nýbrž při dynamických režimech tzn. při akceleraci či deceleraci. Měřený motor je zpravidla urychluje setrvačné hmoty při plné dávce paliva. Není rozdíl, jestli při jízdě na vozovce jsou setrvačné hmoty vztaženy k celému vozidlu či jsou při urychlení samotného motoru (metoda volné akcelerace). Rozdíl je pouze v poměru velikosti zrychlení a setrvačných hmot, které jsou navzájem nepřímo úměrné. [11, 28]

3.7 Měření emisí

Měření emisí je nedílnou součástí homologačních měření před uvedením vozidel na trh, a také součástí technických kontrol vozidel. Zároveň toto měření může zjistit stav vozidla, když problém není zatím zřejmý, jako v případě viditelného bílého či černého kouře, kde jsou problémy okamžitě evidentní.

V této kapitole budou stručně popsány principy funkce zařízení pro měření emisí.

3.7.1 Zastoupení plynů

V současnosti se pro měření zastoupení plynů využívá zařízení, které jsou schopny zaznamenávat více plynů zároveň a využívají pro analýzu složek infračervené záření. Jedná se o zařízení NDIR (z angl. *Nondispersive Infrared Analyzer*). Princip těchto zařízení spočívá v prosvícení vzorku plynů, který je ředěn a následně je prosvícen infračerveným zářičem. Jelikož molekuly daných plynů mají různou pohlcovací schopnost, detekční zařízení zaznamená dominantní peak např. 4,26 μm pro molekulu CO_2 . Zařízení pak vyhodnotí množství těchto molekul ve vzorku. Zvolením senzorů citlivých na jiné vlnové délky umožní zaznamenávat i jiné molekuly plynů. Důležité je pak dodat, že měření CO_2 je citlivé na přítomnost vodní páry ve vzorku plynů. [1, 19, 25]

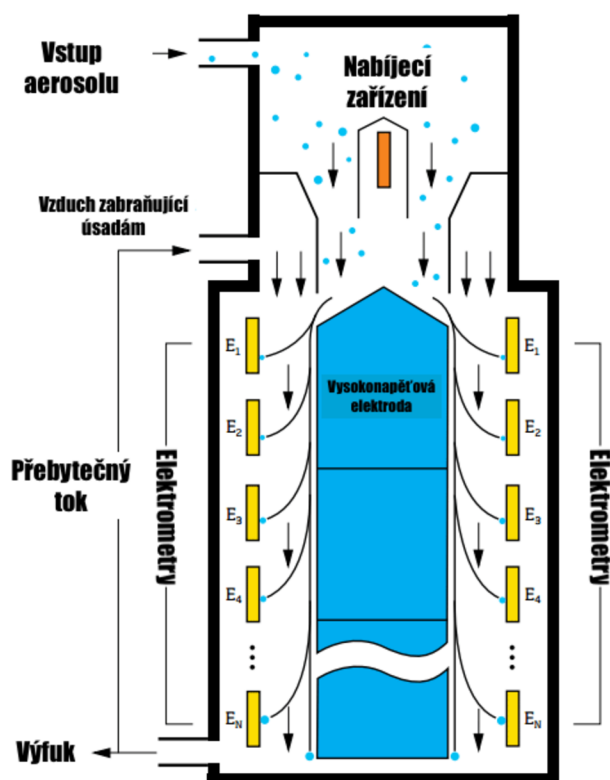
Dále existují zařízení FTIR (z angl. *Fourier Transform Infrared Analyzer*), které fungují na obdobném principu, jako výše zmíněné NDIR, avšak využívá Fourierovu analýzu pro celé infračervené absorpční spektrum vzorku plynů. To je možné díky velkému počtu součástí.

Tento typ zařízení se vhodný pro zjišťování emisí z motorů spalujících paliva na bázi alkoholů, neboť dokáží identifikovat methanol a formaldehyd. [19]

Existují další metody měření jako CLD (z angl. *Chemiluminescence Detector*), FID (z angl. *Flame Ionization Detector*), PMD (z angl. *Paramagnetic Detection*), ale ty nejsou tak běžné, jako výše zmíněné NDIR a FTIR. [19]

3.7.2 Měření množství pevných částic

Pevné částice lze měřit více způsoby. Z dat je důležitý počet částic a také jejich velikost. Velikost částic je určována na základě nabití částic, které se při průchodu přístrojem zachytávají na příslušných místech, což ve výsledku vygeneruje rozložení vzorku pevných částic dle velikosti. K tomu se využívají zařízení SMPS (z angl. *Scanning Mobility Particle Sizer*) a EEPS (z angl. *Engine Exhaust Particle Sizer*), který konkrétně vlastní i katedra vozidel a pozemní dopravy od firmy TSI. Schéma principu rozdělování částic je patrné z obrázku č. 7. Před vstupem vzorku z výfuku je nutno tento vzorek ředit v určitém poměru a zamezit kondenzaci vzorku vyhřívanou trubicí. [19, 29, 30]



Obrázek č. 7: Princip rozdělování částic dle velikosti v zařízení EEPS (přeloženo autorem na základě zdroje: [29])

3.7.3 Měření kouřivosti

Kouřivost se měří tzv. opacimetry. Jedná se o zařízení, které funguje obdobně, jako výše zmíněné metody měření emisí. Prosvěcuje se vzorek kouře a na základě průchodu světla se vyhodnotí, jak velký podíl světla prošel skrz, což určí hodnotu kouřivosti. Kouřivost se měří u vznětových motorů při technických kontrolách. [25]

3.8 Jízdní cykly

Aby mohla vozidla do provozu, musí absolvovat homologační měření a být následně schválená pro provoz splněním stanovených podmínek určených normami. Jízdní cykly slouží hlavně pro měření emisí a spotřeby paliva. Stěžejní je přesnost měření a opakovatelnost. Existuje velké množství jízdních cyklů v závislosti na kontinentu a druhu měření.

3.8.1 Evropské jízdní cykly

Jízdní cykly v Evropě se řídí směrnicemi a nařízeními Evropské hospodářské komise (EHK). Emise nových vozidel se musí vejít svými emisemi do limitů příslušných emisních kategorií Euro. V současnosti platí norma Euro 6, která se liší pro vznětové a zážehové motory viz tabulka č. 3 v kapitole 3.4.

UDC

Urban Driving Cycle neboli městský jízdní cyklus je složen ze tří částí ohraničených maximální rychlostí. Modeluje tak situaci městského provozu, kdy se vůz rozjíždí do rychlostního limitu v obci a následně zpomaluje, čeká před světelným signalizačním zařízením atd. Jedna část tohoto cyklu trvá 195 sekund a celý cyklus má tedy 780 sekund, během kterých se najede 4,052 km dlouhá trasa. [2, 31]

ECE 15

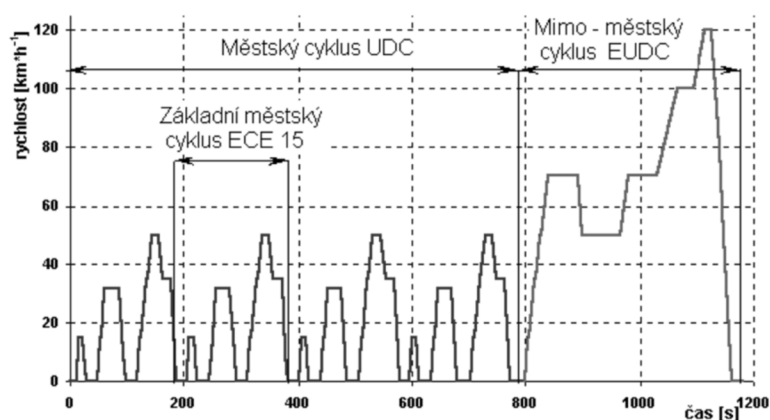
ECE 15 je cyklus, který tvoří, jak již bylo zmíněno, jednu čtvrtinu městského cyklu UDC. Jeden tento cyklus má 195 sekund a ujede se během něj 1,013 km. Celkový čas čekání při volnoběhu trvá 57 sekund. Maximální rychlost je v tomto cyklu 50 km/h. [2, 31]

EUDC

Extra Urban Driving Cycle je cyklus, který simuluje provoz mimo město. Při tomto cyklu se dosahuje maximální rychlosti 120 km/h. Cyklus má délku 400 sekund a je dlouhý 6,9549 km. Celkový čas strávený čekáním při volnoběhu je 41 sekund. [2, 31]

NEDC

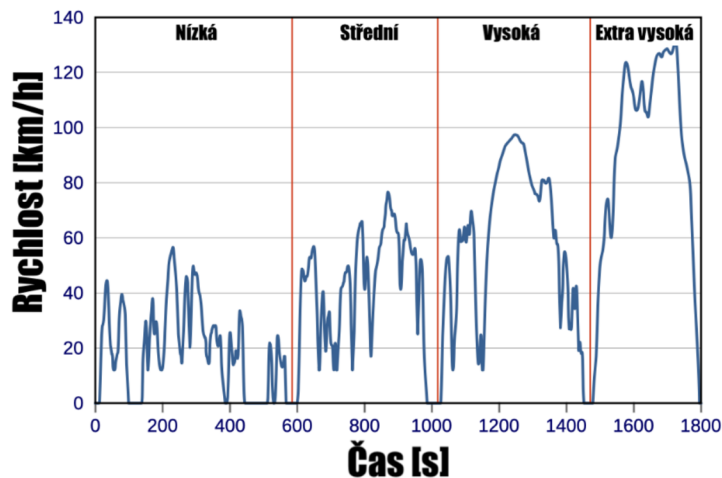
New European Driving Cycle je kombinací již zmíněných cyklů, což je patrné z obrázku č. 8. Celková délka tohoto cyklu je 1 180 sekund a 11 km. [2, 31]



Obrázek č. 8: Evropský homologační cyklus NEDC [2]

3.8.2 WLTC

WLTC cyklus (z angl. *Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle*) je nový základní testovací cyklus, který spadá do procedury WLTP (z angl. *Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures*), což je celosvětově uznávaný univerzální cyklus pro homologační měření lehkých vozidel. Tato procedura zahrnuje ještě měření emisí v reálném provozu viz následující podkapitola RDE. WLTC cyklus má několik tříd a to třídu 1, třídu 2 a třídu 3, která se dělí na 3a a 3b podle maximální rychlosti vozidel. Existuje rovněž verze tohoto cyklu pro hybridní vozy a čistě elektrické vozy. Nejpoužívanější je verze 3b a průběh cyklu se dá rozdělit na čtyři části dle maximální rychlosti viz obrázek č. 9. První část simuluje čistě městský provoz do rychlosti okolo 50 km/h. Střední část simuluje jízdu po městském okruhu. Třetí část simuluje provoz mimo město a poslední část je simulace dálniční jízdy. Celkový čas cyklu je přesně 1800 sekund, z čehož je 242 sekund vozidlo v klidu a motor na volnoběh. Celková vzdálenost činí 23,266 km. [32]



Obrázek č. 9: Průběh cyklu WLTC třídy 3b (přeloženo autorem) [32]

3.8.3 RDE

Real Driving Emissions je relativně nová metodika měření emisí, která vznikla požadavkem zjišťování emisí nejen v laboratorních podmínkách, nýbrž i v reálném provozu. RDE je dílčí částí homologační testovací procedury WLTP. Vozidlo je vybaveno přenosným zařízením pro měření emisí (PEMS z angl. *Portable Emission Measurement System*), které je většinou u osobních vozů uchyceno na taženém zařízení viz obrázek č. 10. Testovací procedura začíná jízdou v městských podmínkách, kde musí být rychlost nižší, než 60 km/h. Délka této části trasy musí být alespoň 16 km a tvořit 20-44 % celkové ujeté vzdálenosti testovací trasy. Následuje úsek mimo město, ve kterém se vozidlo pohybuje v rychlostech od 60 do 90 km/h. Opět musí být délka této části trasy alespoň 16 km a tvořit 23-43 % z celkové vzdálenosti testovací trasy. Dále je testován dálniční provoz v rychlostech vyšších, než 90 km/h a trasa opět musí být dlouhá alespoň 16 km a zároveň tvořit 23-43 % z celkové délky testovací trasy. Po dobu alespoň pěti minut se musí vozidlo pohybovat vyšší rychlostí, než 100 km/h. Poté je měření ukončeno a jsou dále vyhodnocována naměřená data. [33]



Obrázek č. 10: PEMS upevněné na tažném zařízení testovaného vozu při měření RDE [33]

4 Praktická část práce

Praktická část této práce je zaměřena na zjištění otázek zmíněných v kapitole o cílech této práce. Jedná se o zjištění rozdílů běžné nafty a prémiové aditivované nafty z hlediska výkonu, emisí a spotřeby. Zároveň se při těchto měřeních porovná i vliv změny paliv a přidání aditiva do oleje na hlučnost chodu motoru. Při měření byla použita momentálně dostupná zimní nafta s třídou filtrovatelnosti F viz kapitola 3.2.3.

Dále pak bude dílčí část praktické práce zaměřena na vliv aditiva do oleje, zdali se vyčistí motor od usazených částic po ujetí určitého počtu kilometrů.

4.1 Popis testovacího vozu

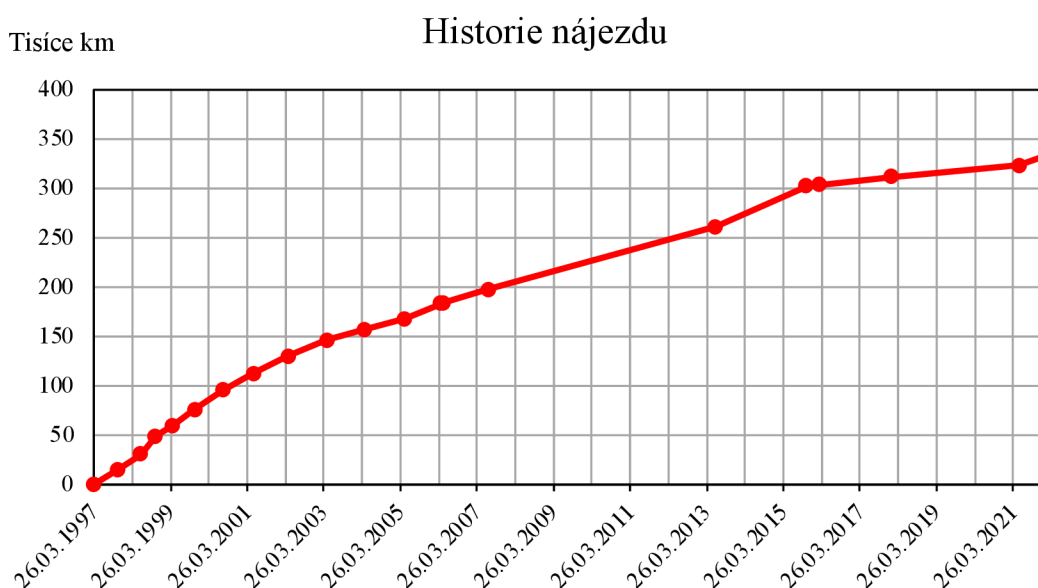
Testovacím vozem byl autorův Seat Ibiza (model 6K) z roku 1997 viz obrázek č. 11 s motorem 1.9 TDI o konkrétních parametrech viz tabulka č. 5. Co se týče historie vozu, tak bylo vozidlo poprvé přihlášeno ve Švýcarsku, kde bylo s vozem ročně najeto poměrně dost kilometrů, jak je patrné z grafu č. 1. Původní majitelé jezdili pravidelně ve stanovených intervalech do autorizovaného servisu. Po 10-ti letech chtěli vůz ekologicky zlikvidovat, ale kvůli drahé tamní ekologické likvidaci se rozhodli vůz prodat do ČR. Vůz poté údajně 2 roky stál venku na nekrytém místě a nebyl vůbec provozován. V roce 2011 byl zakoupen, přihlášen a provozován v rodině autora. Na voze byla prováděna běžná údržba, tj. pravidelné výměny oleje, filtrů a výměna běžně opotřebovávaných součástí podvozku mimo značkový servis.



Obrázek č. 11: Testovací vůz [autor]

Co se následného charakteru provozu vozidla týče, tak bylo vozidlo od roku 2016 provozováno výhradně na krátkých trasách, což není ideální, obzvláště pro vznětové motory. Stav motoru je ale vzhledem k stáří a nájezdu velmi dobrý. Vozidlo mělo v době prvního měření najeto 326 tisíc km.

Jak bylo zmíněno v kapitole 3.5., většina aktuálně provozovaných vozů má alespoň některé prvky snižující emise. Testovaný vůz plní emisní normu Euro II a pro snížení emisí je vybaven EGR ventilem a oxidačním katalyzátorem.



Graf č. 1: Křivka nájezdu vytvořená na základě dostupných dat ze servisních prohlídek a STK

Kód motoru	1Z
výkon	66 kW / 4 000 ot.min ⁻¹
Točivý moment	202 Nm / 1 900 ot.min ⁻¹
Počet válců	4
Počet ventilů	8
Zdvihový objem	1 896 cm ³
Zdvih	95,5 mm
Vrtání válce	79,5 mm
Kompresní poměr	19,5:1
Zdvihový poměr	1,20:1
Rozvod	SOHC řemenem
Vstřikovací čerpadlo	Bosch VP37

Tabulka č. 5: Parametry motoru 1.9 TDI testovacího vozu

4.2 Popis válcové zkušebny katedry vozidel a pozemní dopravy

Katedra vozidel a pozemní dopravy na technické fakultě ČZU v Praze disponuje válcovou zkušebnou Schenck 3604/GS56. Jedná se o dvouválcový typ, kde je přední válec opatřen drážkováním pro lepší adhezi. Pro simulaci hmotnosti vozu, aby bylo možné zajistit porovnatelnost s reálným provozem, je zkušebna opatřena sadou setrvačnicků o celkové hmotnosti 2 487,5 kg, přičemž z toho je trvale připojena setrvačná hmota 680 kg. K hlavnímu hřídeli prvního válce je připojen stejnosměrný elektromotor o výkonu 56 kW, který simuluje odpor vzduchu. Druhý válec je opatřen vířivým dynamometrem o výkonu 125 kW. Ten je využíván pro měření výkonu viz kapitola 3.6. Zkušebna je konstruována na maximální rychlost 200 km/h. Přehled parametrů je v tabulce č. 6. [34]

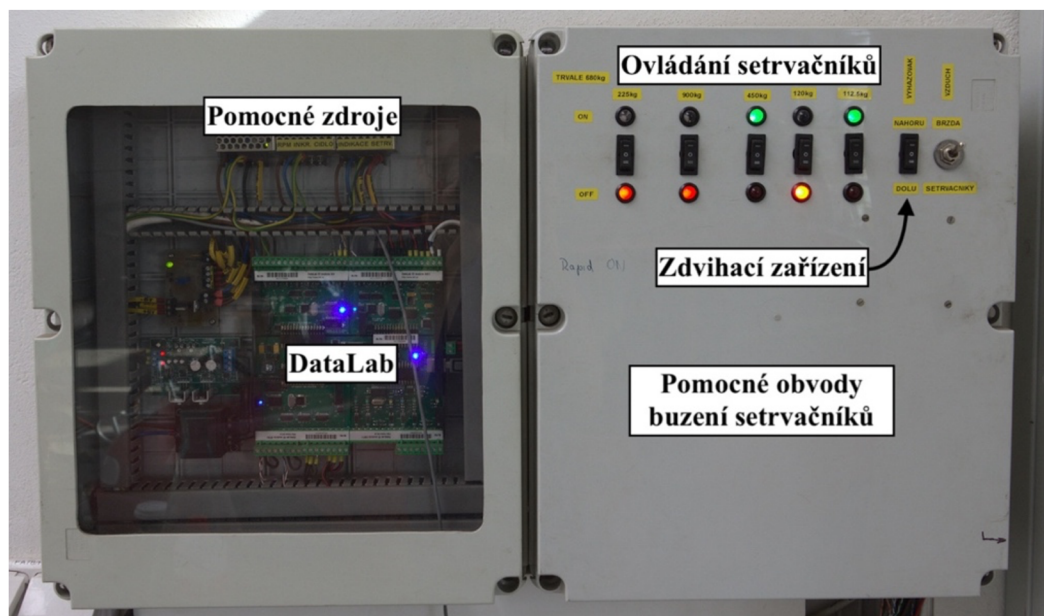
DC motorgenerátor	Maximální brzdňý výkon 56 kW Maximální brzdňý moment 305 Nm Maximální otáčky 3 000 min ⁻¹
Vířivý dynamometr	Maximální brzdňý výkon 125 kW Maximální brzdňý moment 478 Nm Maximální otáčky 8 000 min ⁻¹
Obvod válců	1 145 mm
Setrvačníky	Základní hmotnost 680 kg + 900 kg, 450 kg, 225 kg, 120 kg a 112,5 kg

Tabulka č. 6: Přehled parametrů zkušebny katedry vozidel a pozemní dopravy [34]

Ovládání zkušebny je zajištěno s pomocí jednotky *DataLab* viz obrázek č. 12 od firmy *Moravské přístroje a. s.*, ke které byl v grafickém prostředí *ControlWeb* vytvořen program, skrze který je vše ovládáno. Skrze vstupy a výstupy jednotky *DataLab* lze ovládat:

- buzení vířivého dynamometru při měření výkonu,
- frekvenční měnič (STARVERT S100) pro regulaci otáček ventilátoru zajišťujícího náporové chlazení vozidla
- pulzní měnič (ABB DCS 800) zajišťující ovládání elektromotoru, kterým lze brzdit či pohánět válce (simulace jízdy a roztáčení válců pro zjištění pasivních odporů)

Dále lze ovládat buzení dynamometru, připojení, resp. odpojení jednotlivých setrvačnický, zvedací zařízení pro snadnější najíždění, resp. vyjíždění vozidel na válce a z válců.



Obrázek č. 12: Hlavní řídicí systém zkušebny [autor]

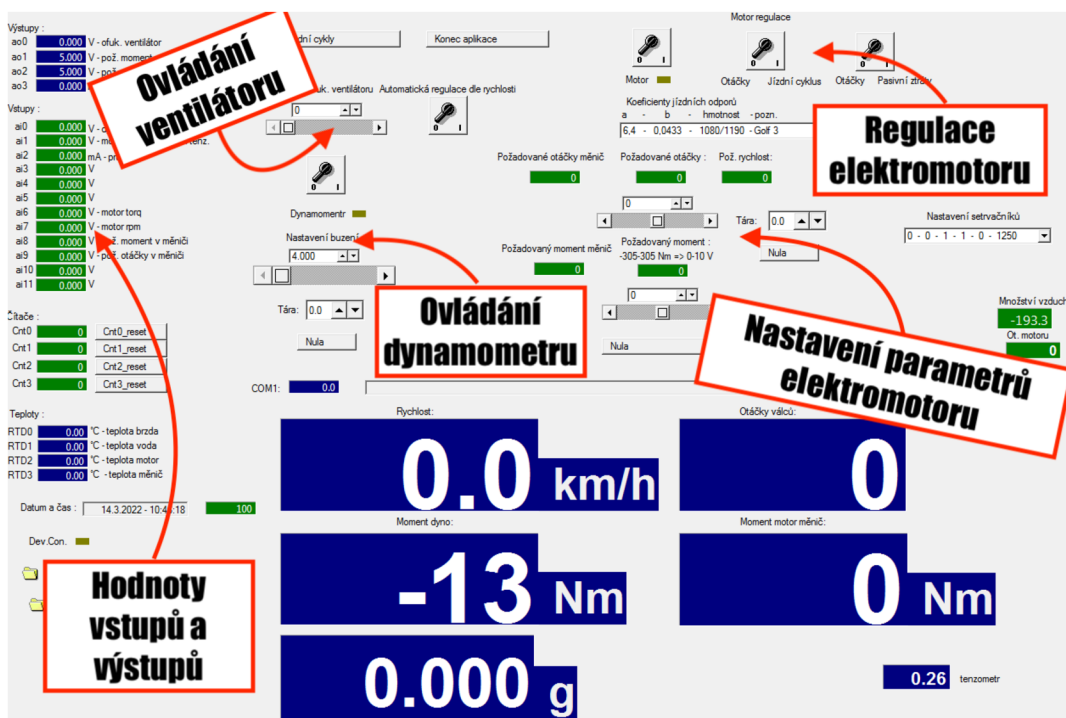
V reálném provozu je motor vozidla chlazen přirozeným nápoem vzduchu skrz chladič. Jelikož je vozidlo umístěno na válcích stacionárně, je zapotřebí před vozidlo umístit jeden, či více ventilátorů. Zkušebna je proto vybavena ventilátorem Filcar AL-A1500/C s elektromotorem o výkonu 11 kW, který dokáže vytvořit průtok vzduchu v rozmezí od 3 600 do 12 000 m³/hod. Ovládán je s pomocí již zmíněného měniče STARVERT S100. Pro měření jízdních cyklů tento ventilátor bohatě postačuje. Pro měření výkonu je ale třeba doplnit tento ventilátor o druhý ventilátor VENTRA ALM-800-3 o maximálním průtoku 32 000 m³/hod. Tento ventilátor nemá regulaci.

Jelikož měření probíhá v hale, je třeba odsávat spaliny z výfuku. O to se stará další ventilátorový systém.

4.2.1 Ovládání válcové zkušebny

Ovládání je zajištěno přes aplikaci vytvořené v grafickém prostředí *ControlWeb* viz obrázek č. 13. S pomocí aplikace se řídí veškerý chod zkoušek. Řídí se brzdny moment vířivého dynamometru, nastavují se otáčky ventilátoru, řídit otáčky elektromotoru pro zjištění pasivních

ztrát a převodového poměru. Dále lze přepnout režimy měření a kontrolovat výstupy a hodnoty měřených veličin.



Obrázek č. 13: Popis ovládacího prostředí programu ControlWeb [autor]

4.3 Měření emisí a spotřeby podle jízdního cyklu WLTC

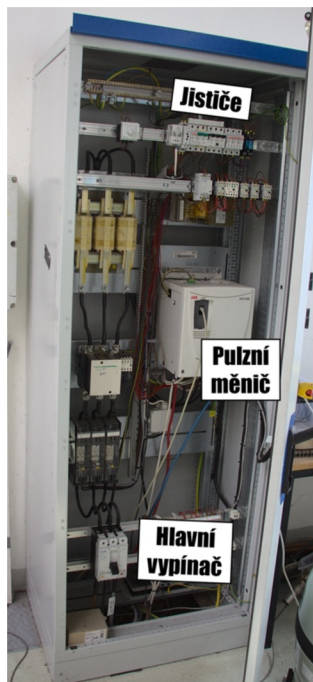
V praktické části se nejprve měřily emise a spotřeba paliva podle jízdního cyklu WLTC (konkrétně WLTC 3b). Následovalo měření výkonu a poté měření hluku viz následující kapitoly níže.

Byly provedeny celkem tři měření v tomto pořadí:

- 1) Běžná nafta (*Benzina Efecta Diesel*)
- 2) Stejně podmínky + přidané aditivum METALTEC-1[®] do oleje
- 3) Prémiová nafta (*Benzina Verva Diesel*) + již přidané aditivum METALTEC-1[®]

Pro vyšší přesnost měření a eliminaci případných odchylek vzniklých řidičem, byly provedeny vždy tři jízdy u každého měření paliv.

Nejprve je nutné zapnout hlavní spínač ve skříni rozvaděče zkušebny, zkontrolovat jističe, jsou-li v horní poloze viz obrázek č. 14.

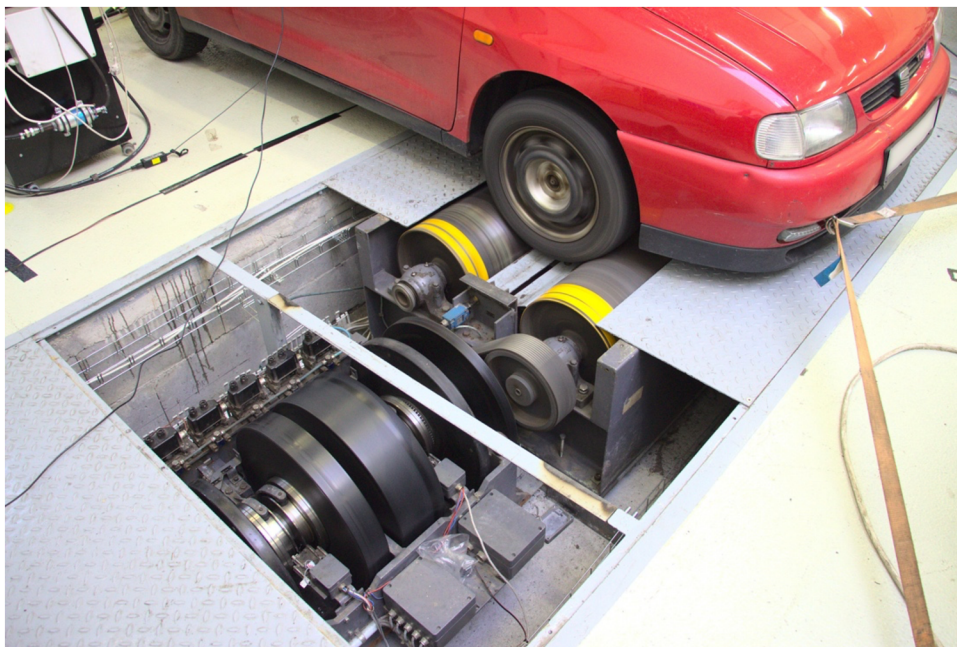


Obrázek č. 14: Skříň rozvaděče zkušebny [autor]

Dále je zapnut hlavní řídicí rozvaděč zkušebny. Poté je přiveden vzduch ke zkušebně otočením uzavíracího kohoutu. Následně se s testovacím vozidlem vjede na válce, přičemž je zdvihací zařízení v horní poloze a setrvačníky jsou zatím odpojeny. Cílem je vjet s vozidlem přesně tak, aby bylo uprostřed. Poté se spustí zdvihací zařízení a kola se tak zaklesnula mezi válce. Opatrně se vůz rozjede na určitou rychlost a kontroluje se volant, aby vozidlo neočekávaně nevyjelo do strany. V případě, že je volant ve stabilní poloze, zatáhne se mechanická ruční brzda a vůz je ustaven. Toto však nelze provést jsou-li vozy vybaveny elektronickou ruční brzdou, což však není případ zkušebního vozu v této práci. Po zastavení válců je třeba vůz upevnit kurtami. Ve většině případů stačí upevnit pouze přední část vozu. Při testovacím měření se však stalo, že testovací vůz poněkud vybočil a pod zablokovanými, vytočenými koly začaly smýkat válce. Proto se musela upevnit i zadní část vozu. Poté se už problém neopakoval. Dále se před upevněný vůz přistavil ventilátor, který se zajistil proti pohybu.

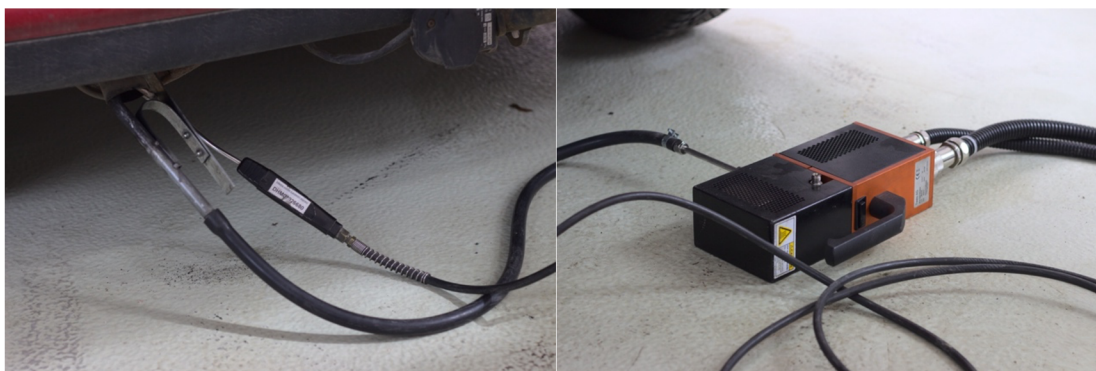
Před samotným měřením bylo dále třeba nastavit setrvačné hmoty, aby co nejvíce odpovídaly hmotnosti testovaného vozidla. Pohotovostní hmotnost testovaného vozu činí dle štítku 1 180 kg. Nejbližší hodnota, kterou bylo možné nastavit na zkušebně katedry vozidel a

pozemní dopravy byla 1 242,5 kg, což odpovídá tomu, kdyby ve voze seděl lehčí řidič. V praxi to tedy znamenalo zapojení dvou setrvačnicků – 450 kg a 112,5 kg, které se připojily k válcům viz obrázek č. 15, které mají napevno nastavenou hmotnost 680 kg.



Obrázek č. 15: Detail sestavy setrvačnicků válcové zkušebny [autor]

Po zapnutí daných setrvačnicků na panelu bylo třeba nastavit aparaturu pro měření emisí. Do výfuku se umístily sondy pro měření pevných částic a složení plynů viz obrázek č. 16, které vedly do analyzátoru emisí Mini-PEMS na bázi NDIR, který navrhl prof. Michal Vojtíšek, M.S., Ph.D. spolu s kolegy a analyzátor pevných částic EEPS od rakouské firmy TSI viz obrázek č. 17. Následně se k výfuku přiložilo odsávací zařízení spalín. [35]



Obrázek č. 16: Sondy analyzátorů připevněné k výfuku (vlevo) a ředící zařízení s vyhříváním Testo MD19-3E (vpravo) [autor]

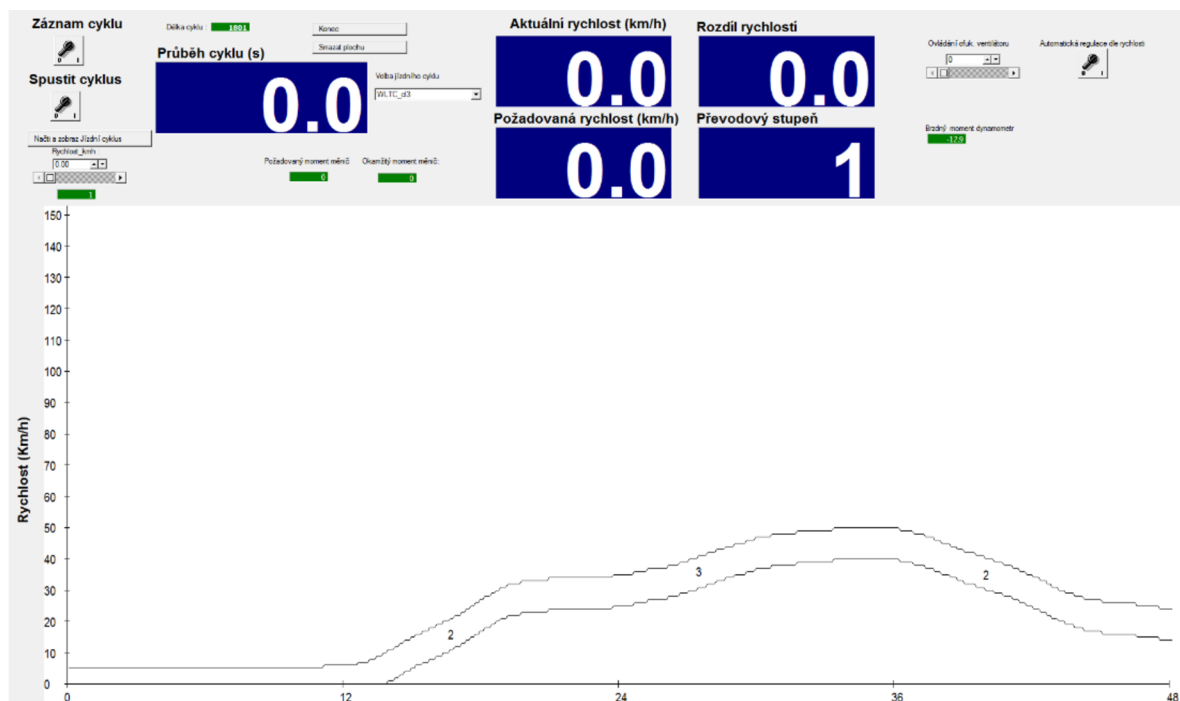


Obrázek č. 17: Zařízení Mini-PEMS vytvořené ve spolupráci ČVUT a TUL (vlevo) [autor] a analyzátor pevných částic TSI EEPS 3090 (vpravo) [36]

Skrze OBD-II konektor testovaného vozidla se připojil notebook s programem *VCDS*, ve kterém se vybraly parametry otáček motoru, množství nasátého vzduchu na jeden zdvih a množství paliva, které byly potřeba vyčíst z řídicí jednotky vozu pro další vyhodnocování dat.

V programu *ControlWeb* se nastavily setrvačníky a model vozu (či jiné ekvivalentní vozidlo) kvůli koeficientům jízdních odporů. Dále se zapnul a nastavil primární ventilátor ofuku, aby skrze chladič vozu protékal vzduch. Nakonec se zvolil daný jízdní cyklus a po kontrole bylo možno zahájit cyklus a měřit.

Při měření v cyklu se musí hlídat v zásadě dvě věci – rychlost a zařazený rychlostní stupeň. V zorném poli řidiče je na ocelovém rameni monitor, který zrcadlí vše, co je na řídicím počítači. Řidič tedy vidí rozmezí rychlosti, které je stanovené na ± 5 km/h a zároveň rychlostní stupeň, který je vyžadován. Na základě těchto hodnot se řidič snaží držet rychlost vozu na válcích, pokud možno, co nejpřesněji uprostřed dvou rychlostních křivek viz obrázek č. 18. Po 1 800 sekundách, které definují tento cyklus bylo měření zastaveno. Data se posléze uložila a následovala ještě další dvě měření pro zpřesnění výsledků a eliminace možných chyb vlivem lidského faktoru. Po třech odjetých cyklech následovalo měření výkonu a měření hluku viz kapitoly 4.4 a 4.5 níže.



Obrázek č. 18: Příklad mezi rychlosti, ve kterých se musí řidič udržet při zajištění jízdních cyklů v programu ControlWeb. Tuto zrcadlenou obrazovku procesního počítače vidí řidič před sebou na monitoru upevněném na rotačním rameni. Zde je úvodní část cyklu WLTC 3b. [autor]

Pro druhé měření bylo třeba nalít aditivum METALTEC-1[®] do olejové náplně vozu. Po nalití 300 ml aditiva dle příbalové informace výrobce byl motor testovacího vozu ponechán několik minut na volnoběh, poté se několik minut protácel v běžném rozmezí otáček v provozu s několika vytočeními do přeběhových otáček. Výrobce v příbalovém letáku aditiva ale uvádí, že by mělo aditivum účinkovat okamžitě. Výše zmíněným postupem bylo ale zajištěno řádné promíchání olejové náplně nehledě na to, co deklaruje výrobce.

Následovalo opět měření hluku a výkonu.

Pro třetí měření bylo nutné odpojit dvě hadičky z víka palivové nádrže pod zadními sedáky vozu. Namísto těchto hadiček se připojily externí hadičky viz obrázek č. 19 s externím podávacím čerpadlem, které nasávaly a vracely naftu do Erlenmeyerovy nádoby o objemu 5–ti litrů, která byla umístěna na váze propojené s řídicím počítačem válcové zkušebny.



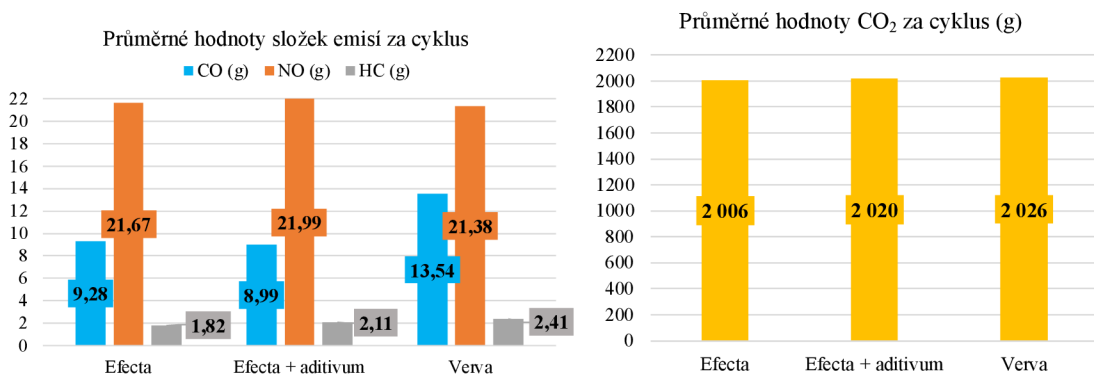
Obrázek č. 19: Detail přepojených hadiček z hrdla víka nádrže v interiéru pro propojení s externí pumpou (vlevo) [autor]. Aparatura se vzorkem paliva Verva v Erlenmeyerově nádobě postavené na váze (vpravo), kde lze vidět i počítač s programem emisního analyzátoru TSI EEPS 3090. [fotil Bc. Jakub Adam]

Po krátkém otestování se zjistilo, že externí podávací čerpadlo generuje příliš vysoký tlak, který poškodil hadičky vracející naftu zpět do rotačního vstřikovacího čerpadla. Po opravě hadiček a následném vypnutí tohoto externího podávacího čerpadla si vstřikovací čerpadlo nasávalo palivo samo.

Po výměně paliva a výměně hadiček zpětného vedení nafty zpět do vstřikovacího čerpadla následovalo poslední měření tří jízdních cyklů, hluku a spotřeby.

Co se týče měření emisí, tak byly zaznamenáván oxid uhelnatý (CO), oxid dusnatý (NO), nespálené uhlovodíky (HC) a oxid uhličitý (CO₂).

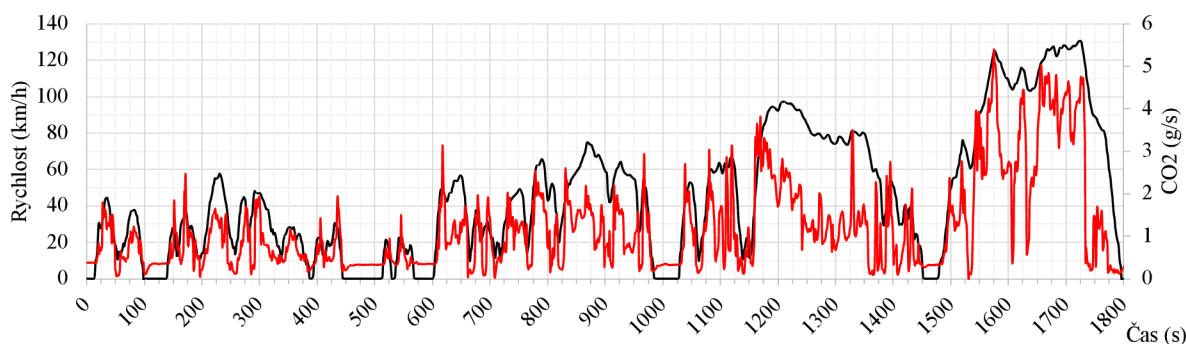
Bylo zjištěno, že přidání aditiva do oleje, a i změna nafty za prémiovou neznamena prakticky žádný rozdíl v produkci emisí viz graf č. 3. Naopak bylo zjištěno, že prémiová nafta Verva vykazovala z neznámých důvodů dokonce o 50 % vyšší produkci oxidu uhelnatého.



Graf č. 2: Hodnoty tří minoritních emisí (vlevo) a hodnoty emisí CO₂ (vpravo), které převažovaly.

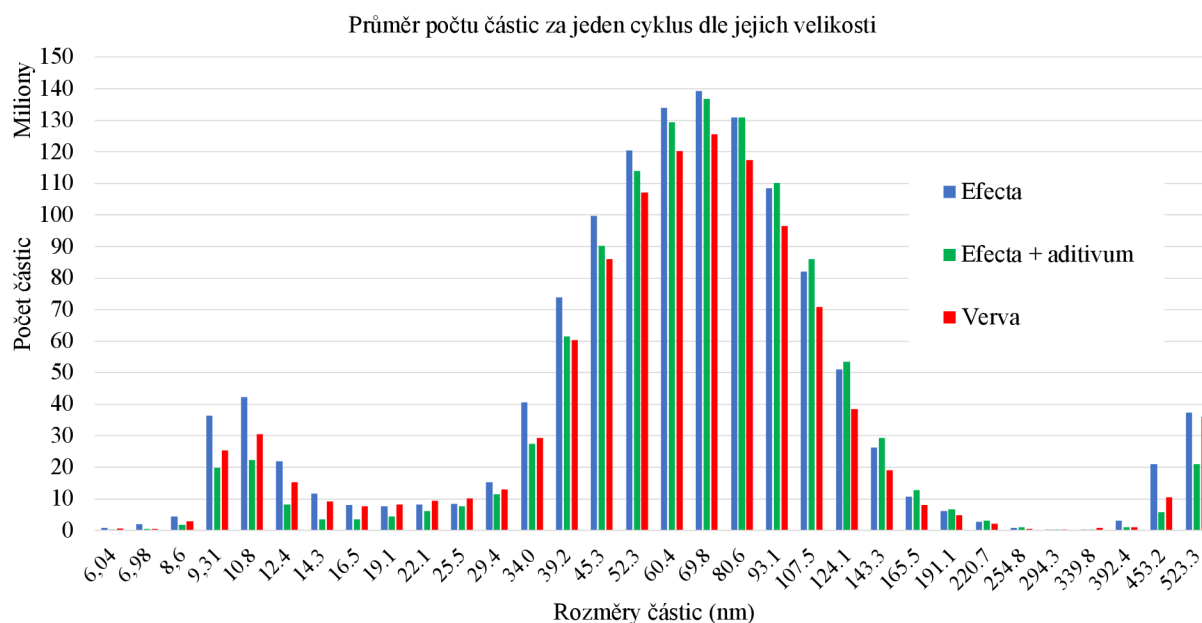
Dále pak množství nespálených uhlovodíků vzrostlo o necelých 15 % oproti předešlému měření s běžnou naftou *Efecta* s aplikovaným aditivem v olejové náplni motoru. Emise oxidu uhličitého (CO₂) se prakticky vůbec nezměnily. Rozdíl je nárůst o necelé procento při použití paliva *Verva* oproti běžné naftě *Efecta diesel*.

Příklad průběhu vzniku emisí v závislosti na průběhu cyklu WLTC kategorie 3b je znázorněn v grafu č. 4.

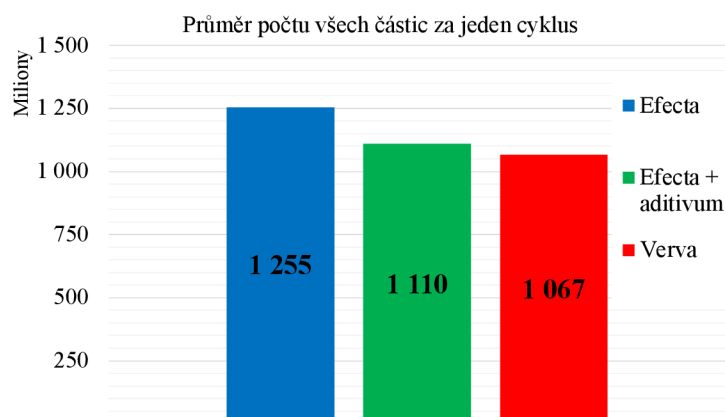


Graf č. 3: Příklad průběhu produkovaných emisí CO₂ (červeně) během cyklu WLTC 3b (černě). Hodnoty jsou uvedeny v gramech za sekundu čili se jedná o okamžitou produkci v závislosti na čase.

Na základě měření pevných částic analyzátořem *TSI EEPS 3090* bylo zjištěno, že s přidaným aditivem se snížil počet pevných částic a rovněž i po výměně běžné nafty *Efecta diesel* za prémiovou naftu *Verva*. Tyto změny jsou patrné z grafu č. 5 a rovněž z grafu č. 6. Nelze však s přesností říci, jestli toto bylo způsobeno vyfoukáním stávajících sazí z výfuku či zda byl opravdu efekt aditiva do oleje a změna nafty dostačující.



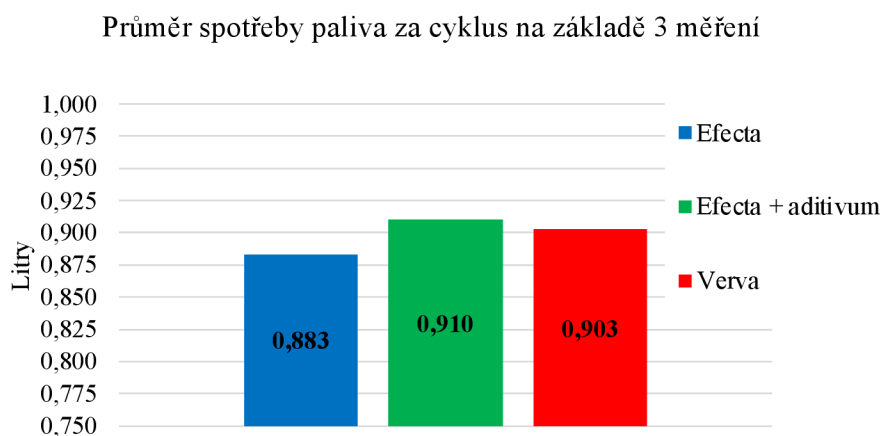
Graf č. 4: Průměr počtu pevných částic za jeden cyklus WLTC 3b rozdělených podle jejich velikosti



Graf č. 5: průměrný počet všech pevných částic (v milíonech) za jeden cyklus

Rozdíl mezi vzorkem běžné nafty a vzorkem s přidáním aditivum činil takřka 12 %, zatímco rozdíl mezi běžnou naftou s přidáním aditivum a prémiovou naftou byl 4 %.

Závěrem by se dalo říci, že prémiová nafta v kombinaci s aditivum do oleje může snížit počet pevných částic a případně změnit jejich velikost. Pro vyvrácení faktu, že jistá část již dříve usazených sazí ve výfukovém potrubí mohla negativně ovlivnit toto měření, bych doporučil při opakování experimentu zkusit měřit i v opačném pořadí, tj. od prémiové nafty k běžné naftě.



Graf č. 6: Průměrné hodnoty spotřeby v litrech za cyklus na základě 3 měření

Po zjetí cyklů WLTC byla vypočítána spotřeba nafty na základě získaných dat z řídicí jednotky vozu. Spotřeba ze všech měření byla okolo 0,9 litru na zjetý cyklus, což je patrné z grafu č. 7. Nejnižší spotřebu vykazuje první měření s běžnou naftou. To je dáno tím, že před tímto měřením následovalo testovací měření nanečisto, při kterém měl řidič (autor) možnost si

zvyknout na poněkud jiné chování vozu na válkách než za reálného provozu a na zpoždění rychlosti zobrazující se v programu na monitoru před čelním sklem. Zároveň je třeba zmínit, že první měření má nejvyšší směrodatnou odchylku, která činí 0,0227, oproti zbylým dvěma měřeními s hodnotami 0,017 a 0,018. Celkově jsou rozdíly tedy velmi malé a zanedbatelné. Toto zjištění navíc potvrzuje neměnnost emisí napříč měřeními viz výše, neboť vyšší spotřeba paliva znamená i vyšší emise.

Při posledním měření prémiové nafty byla díky externí Erlenmeyerově nádobě možnost umístit vzorek nafty na váhu a změřit reálný úbytek při zajetí cyklů. Při předchozích měřeních tato možnost nebyla, protože byla použita běžná nafta přímo z nádrže kvůli jednoduchosti provedení měření. Byla tedy porovnána hmotnost úbytku nafty s daty z řídicí jednotky a zjistil se rozdíl v rozmezí od 14 % do 17 % na základě hodnot dosazené hustoty nafty, neboť bylo třeba přepočítat jednotku l/hod z dat poskytnutých programem *VCDS* (litry za hodinu) na hmotnost. Průměr hodnot z váhy činil 0,892 kg na cyklus, zatímco data z řídicí jednotky vykazovala průměrnou hodnotu 0,758 či 0,776 na základě dosazené hustoty nafty. Reálná hustota však byla pro vzorky měření neznámá. Rozdíl reálné spotřeby oproti spotřebě vykazované řídicí jednotkou může být způsoben, vzhledem k nájezdu testovacího vozu, opotřebením pístní skupiny.

Na závěr lze prohlásit, že spotřeba nafty u motoru 1.9 TDI (1Z) zůstává prakticky stejná, nehledě na použité aditivum v oleji, které snižuje tření či nehledě na použitou prémiovou naftu *Verva* od sítě čerpacích stanic *Benzina*. U nejnovějších motorů s více senzory a lepším managementem motoru, by se však dalo předpokládat, že bude mít prémiové palivo pozitivní vliv na spotřebu, která by se mohla snížit o pár desetín litru na 100 km.

4.4 Měření výkonu

Měření výkonu následovalo po třech opakováních cyklu WLTC. Pro toto měření bylo nutné otevřít ventil přívodu vody, aby se chladil vířivý dynamometr. Dále bylo třeba přistavit druhý ventilátor *VENTRA* viz obrázek č. 20. pro zvýšení průtoku vzduchu, aby se motor nepřehřál a zajistit jej proti pohybu.



Obrázek č. 20: Dvojice ventilátorů potřebných pro chlazení při měření výkonu. Filcar AL-A1500/C (vlevo) a VENTRA ALM-800-3 (vpravo) [autor]

V programu *ControlWeb* se nastaví maximální otáčky ventilátoru Filcar a přepne se režim měření výkonu. Nyní je vše připraveno k měření a vůz se rozjede k přeběhovým otáčkám na stanovený rychlostní stupeň – v tomto případě čtvrtý rychlostní stupeň. Jelikož motor vozidla nedosahuje maximálního výkonu a točivého momentu, který je schopna vířivá brzda zkušebny ubrzdit, nebylo třeba měřit na vyšší rychlostní stupeň. V aplikaci po dosažení přeběhových otáček a maximální rychlosti, která se pohybovala na čtvrtý rychlostní stupeň okolo 160 km/h, se postupně začal zvyšovat budící proud vířivého dynamometru a vozidlo se začalo brzdit. Budící proud se zvyšoval až do maximálního sešlápnutí plynového pedálu, kdy se motor vozu stále pohyboval v přeběhových otáčkách. V tento moment se začíná měřit vnější otáčková charakteristika. Následně se dále přidává budící proud do dynamometru, který vůz více a více brzdí. Pokles otáček motoru při buzení dynamometru by měl být přibližně o 100 otáček za sekundu. Po dosažení přibližně 1 200 otáček motoru je vypnuta regulace dynamometru a nechá se motor a dynamometr několik minut chladit.

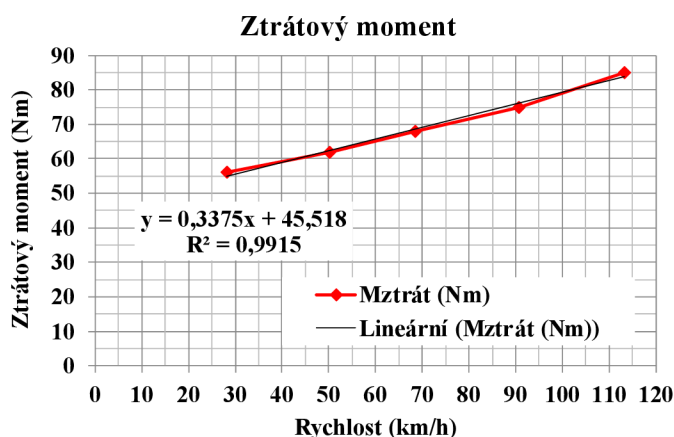
Po vychlazení následovalo měření převodového poměru mezi otáčkami měřeného vozidla a otáčkami válců zkušebny. Ponechal se zařazený stejný rychlostní stupeň, jako při měření výkonu. Vozidlo se rozjede na požadované otáčky a poté se odečítají otáčky válců z programu

ControlWeb. Z toho se posléze vypočítá převodový poměr. Testovací vůz byl měřen ve třech úrovních otáček, ze kterých se spočítal průměrný převodový poměr viz tabulka č. 7.

převodový poměr		
otáčky motoru	otáčky válců	převod
1995	1065	1,8732
2499	1325	1,8860
3024	1599	1,8912
průměrný převod		1,8835

Tabulka č. 7: Výsledky převodového poměru u testovacího vozu

Dále následovalo měření pasivních ztrát. Motor vozu se vypnul a byl zařazen neutrál. V programu *ControlWeb* se přepne režim měření výkonu na režim měření pasivních ztrát. Ovladačem zkušebny se zapne elektromotor a kola vozu se roztočí na požadované rychlosti, konkrétně 30, 50, 70, 100 a 120 km/h a po ustálení (přibližně 30 sekund), se odečítá se ztrátový moment. Tento moment viz graf č. 7 poté slouží v tabulkovém procesoru k výpočtu otáčkové charakteristiky motoru. Po naměření hodnot ztrátového momentu se nastaví rychlost na 0 km/h a přepne se přepínač z polohy *pasivních ztrát* do polohy *otáčky*, stiskne se tlačítko *STOP* a vozidlo se nechá volně zastavit. Po několika minutách chlazení elektromotoru lze stisknout tlačítko *OFF* a vypnout ofuk elektromotoru.

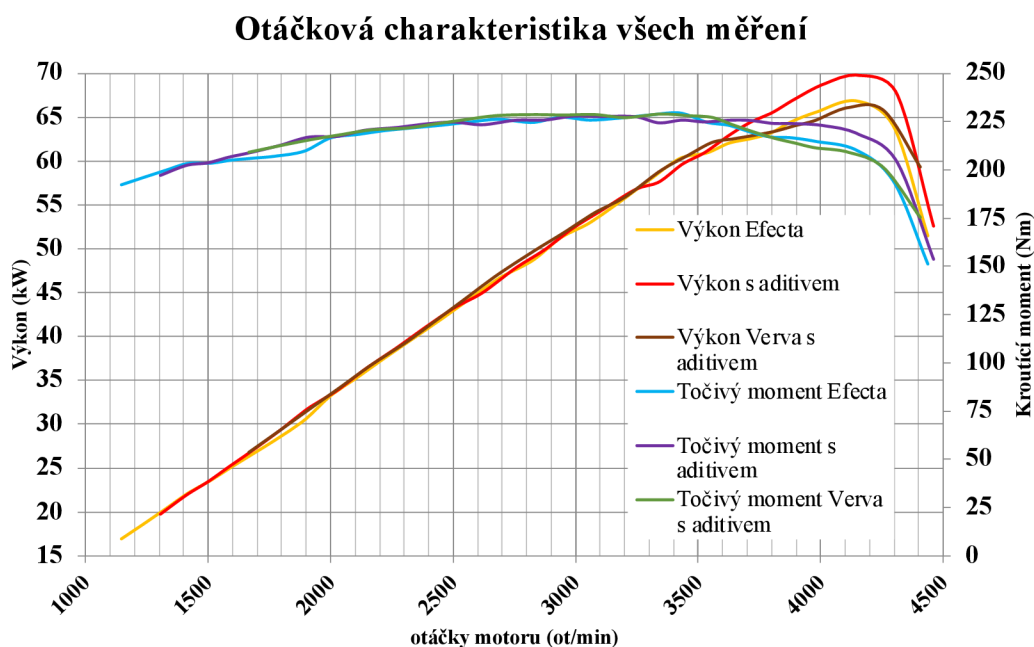


Graf č. 7: Průběh ztrátového momentu

Na základě získaných dat točivého momentu byly v tabulkovém procesoru vypočítány hodnoty výkonu, a z nich vytvořeny grafy otáčkových charakteristik, ze kterých je patrné, že se výkon a točivý moment nijak výrazně nezměnil. Hodnoty v grafu jsou poměrně blízké a rozdíly

jsou zapříčiněny spíše odchylkami v měření. Vůz by měl papírově dosahovat hodnoty výkonu 66 kW ve 4 000 otáčkách za minutu a 202 Nm točivého momentu v 1 900 otáčkách.

Při prvním měření byly naměřeny maximální výkon 66,9 kW při 4 145 otáčkách za minutu a 229 Nm točivý moment ve 3 426 otáčkách za minutu. Při druhém měření s přidaným aditivem vyšel výkon 69,8 kW při 4 151 otáčkách za minutu a točivý moment 228 Nm při 2 987 otáčkách za minutu. Měření s prémiovým palivem *Verva* a zároveň s již aplikovaným aditivem ukázalo hodnoty 66,0 kW při 4 111 otáčkách za minutu a točivý moment 224 Nm při 2 828 otáčkách za minutu. Otáčková charakteristika, kde jsou všechna tři měření je znázorněna v grafu č. 8. Točivé momenty mají velice podobné průběhy a hodnoty jsou o něco málo vyšší než papírové. Hodnoty otáček při hodnotách maximálního momentu jsou sice podstatně vyšší než papírové, nicméně je charakteristika těchto křivek poměrně plochá, takže se dá říci, že vůz dosahuje hodnot deklarovaných výrobcem v širokém rozsahu otáček. Co se týče výkonu, tak hodnoty v oblasti maxima se docela liší, obzvláště u druhého měření po nalití aditiva do olejové náplně. Tato odchylka mohla pravděpodobně vzniknout příliš rychlým či pomalým přidáváním budícího proudu do vířivého dynamometru.



Graf č. 8: Otáčková charakteristika napříč všemi měřeními s velmi malými rozdíly jednotlivých měření

Na závěr lze říci, že výměna běžné nafty či přidání aditiva nikterak výrazně nezmění výkon a točivý moment u motoru 1.9 TDI verze s 66 kW. U novějších vozů, kde se nachází podstatně více snímačů a čidel by však změna paliva mohla mít znatelnější vliv na výkon a točivý moment díky dokonalejšímu motor managementu. U takto starého vozu nemá smysl tankovat prémiovou naftu, protože nepřináší výraznější výhody oproti běžné naftě, co se výkonových parametrů týče. Teoreticky by měla prémiová nafta přispět k vyčištění motoru, což by se projevilo až po stovkách hodin provozu a motor by se musel rozebrat, a porovnat s předchozím stavem, aby bylo možné vyvodit závěr.

4.5 Měření hluku

Měření hluku následovalo po měření výkonu a po vychlazení vozidla. Při měření byl vypnut ventilátor před vozem a bylo rovněž vypnuto odsávání spalin z výfuku. Pro měření hluku byl použit kalibrovaný hlukoměr CESVA SC310 umístěný na stativu před otevřenou kapotou viz obrázek č. 21. Správně by mělo být měření prováděno v anechoické komoře, nebo v akusticky ošetřeném prostředí, což laboratoř na katedře vozidel a pozemní dopravy neposkytuje. Jelikož ale nejde o přesné výsledky dB, ale o porovnání paliv a aditiva, lze tento fakt zanedbat, protože jsou sledovány relativní změny hluku.

Nejprve se hlukoměrem změřila hlučnost motoru na volnoběžné otáčky a poté se změřil hluk při 2 000 otáčkách za minutu, ve kterých se běžně pohybuje motor při běžném provozu. Následovalo měření hluku v interiéru při zavřené kapotě. I zde byla provedena dvě měření – při volnoběhu a při 2 000 otáčkách za minutu. Takto byly změřené hodnoty všech tří měření viz začátek kapitoly 4.3. Výsledky těchto měření jsou shrnuty v tabulce č. 8.

Efecta	Efecta + aditivum	Verva	
77,6	77,9	77,8	Volnoběh
87,7	87,3	87,3	2 000 ot./min.
57,5	55,3	57,3	Volnoběh (interiér)
62,7	63,5	64,7	2 000 ot./min. (interiér)

Tabulka č. 8: Průměrné hodnoty hluku v decibelech podle vážení A (dBA)

Z tabulky je patrné, že se hlučnost při jednotlivých měřeních před vozidlem se takřka nezměnila. Byl však zaznamenán propad takřka o 2 dB při měření v interiéru po přilítí aditiva. Zřejmě se jedná o nahodilou chybu měření. U hodnot měření v interiéru při použití paliva Verva nešly dovřít dveře kvůli palivovým hadičkám, neboť bylo palivo namísto nádrže v externí Erlenmeyerově baňce. Proto jsou hodnoty hluku o něco vyšší.

Hodnoty na hlukoměru oscilovaly a samotný hlukoměr splňuje třídu 1 dle normy IEC 61672-1:2002 a má tedy odchylku $\pm 1,1$ dB ve spektru 1,1 KHz. [37] Na základně velice blízkých hodnot hluku lze říci, že rozdíly jsou minimální a lidské ucho není schopné rozeznat rozdíl ihned po změně paliva či po nalití aditiva do oleje. Původní předpoklad lze tedy vyvrátit a efekt lepšího paliva a aditiv na hluk je tedy výhradně psychologický.



Obrázek č. 21: Pozice smartphonu při měření frekvenčního spektra (vlevo) a pozice hlukoměru (vpravo) [autor]

Pro lepší přehled o hluku chodu motoru bylo ještě použito frekvenční analýzy v programu Logic Pro X, kde se použily krátké záznamy zvuku chodu motoru ze smartphonu iPhone 7. Smartphone nelze v žádném případě považovat za profesionální měřicí zařízení, nicméně je však osazen třemi mikrofony, které zajišťují záznam na poměrně dobré úrovni. U tohoto měření nejde o přesnou hladinu akustického tlaku v decibelech, nýbrž o kvalitu záznamu jako takovou. [38]

Zvukové záznamy u daných měření viz kapitola 4.3 byly pořízeny celkem dva – jeden při položeném telefonu na místě decibelometru a druhý v místě oka kapoty, kde byl telefon držen

rukou viz obrázek č. 21. Motor v obou případech běžel pouze na volnoběžné otáčky. Měření ve 2 000 otáčkách za minutu by mělo dost značný vliv na frekvenční spektrum.

Nahrávky byly otevřeny v již zmíněném programu Logic Pro X od firmy Apple, kde se v EQ analyzáru porovnaly jednotlivé křivky frekvenčního spektra.

Bylo zjištěno, že nastal poměrně významný relativní propad hluku o cca 2,5 dB (gainu) v úzké frekvenční oblasti okolo 200 Hz po přidání aditiva METALTEC-1[®] do olejové náplně viz obrázek č. 22. To může být způsobeno zvýšeným objemem olejové náplně (o 300 ml) a zároveň sníženým třením díky aditivu. Při použití nafty Benzina Verva Diesel byl kromě již zmíněného propadu okolo 200 Hz zaznamenán i propad lehce nad 2 000 Hz, který nebyl tak výrazný.



Obrázek č. 22: Analýza nahrávky nástrojem EQ se žlutě vyznačenými poklesy hlasitosti v určitých frekvencích. Červená křivka je běžná nafta Efecta diesel, bílá křivka je stav po použití aditiva a prémiové nafty [autor]

Závěr tohoto dílčího měření je takový, že aditiva mohou lehce přispět ke snížení hlučnosti, nicméně běžné ucho tento rozdíl není schopno zaznamenat a případný rozdíl v okamžitém snížení hlučnosti je tedy spíše psychologický (efekt *placebo*).

4.6 Zkoumání vlivů přidání aditiva do oleje

Dalším dílčím cílem této práce bylo zjišťování vlivu aditiva na motor z hlediska vyčištění komponent motoru, které jsou v přímém kontaktu s olejovou náplní. Bylo použito konkrétně aditivum METALTEC-1[®] viz obrázek č. 23.

Aditivum METAL CONDITIONER – METALTEC-1[®] je dle příbalového letáku 100% syntetická kapalina o hustotě vyšší, než je hustota vody. Neobsahuje žádné pevné částice jako např. PTFE (teflon), měď, olovo atd. Díky tomu nehrozí ucpání filtrů a olejových kanálků, rovněž nejsou problémy s odvodem tepla. Dále je prostředkem k zušlechťování kovů, nemění plastické vlastnosti kovů, působící na bázi syntetických derivátů uhlovodíků, chrání kovy stálou syntetickou molekulární vazbou s obsahem inhibitoru koroze. Dále je charakterizován velkou molekulovou hmotností, vysokou chemickou a termickou stabilitou. Nezapočítává se do skupiny nebezpečných látek, neobsahuje žádné škodliviny, ani žádná rozpouštědla s nízkou molekulovou stabilitou, snižuje oxidační schopnosti kovů.

Aditivum se molekulárně váže na chráněnou třecí plochu, kde tvoří mikromolekulární ochrannou vrstvu. Odolává vysoké teplotě a mechanickému zatížení a je mísitelné s benzínem a naftou, minerálními a syntetickými oleji, hydraulickými kapalinami, vazelínami atd. Působí ihned po aplikaci.

Aditivum METALTEC-1[®] nalézá uplatnění v automobilových sportech, v automobilovém průmyslu, letecké a kolejové dopravě. Lze jej použít do převodových skříní, hydrauliky, při obrábění, do chladících kompresorů, klimatizací atd. Je určen pro všechny typy spalovacích motorů. Aditivum je vhodné jak pro nové motory, tak i pro starší opotřebované motory. Lze jej použít i pro ošetření zbraní, zahradní techniky, šicích strojů, domácích robotů, zámků, pantů atd. Nevyžaduje žádné speciální podmínky pro aplikaci.

Dle etikety toto aditivum slibuje hlavně snížení tření, spotřeby paliv, koroze, nižší opotřebení dílů a usazování karbonu. Zvyšuje životnost převodů a rozvodů, zvyšuje výkon motoru a jeho životnost.

Cílem této dílčí části je zjistit, zda přidání aditiva zajistí vyčištění motoru od usazenin. Testovací vůz byl provozován autorem spíše na kratších trasách a olej byl pravidelně měněn zpravidla po roce s nájedzy od 4 do 5 tisíc. Jelikož by autor práce nestihl s vozem najet standardní počet kilometrů do výměny oleje (10-15 000 km) v rozumném časovém horizontu,

byl stanoven kratší interval výměny oleje, a tedy i odebrání vzorků na 4 200 km. Ve vozidle byl použit olej Elf Evolution 900 NF 5W-40.

V případě vznětového motoru testovaného vozu se dle návodu doporučuje nalít 300 ml aditiva na celou olejovou náplň, která v tomto případě činí přibližně 4,5 litru. Dále se doporučuje přilít 30-60 ml na 1 litr oleje do klikové skříně každých 300 hodin. Jelikož byl stanovený interval počtu kilometrů ujetý dříve než za stanovený počet hodin, nebylo třeba aditivum dolévat.

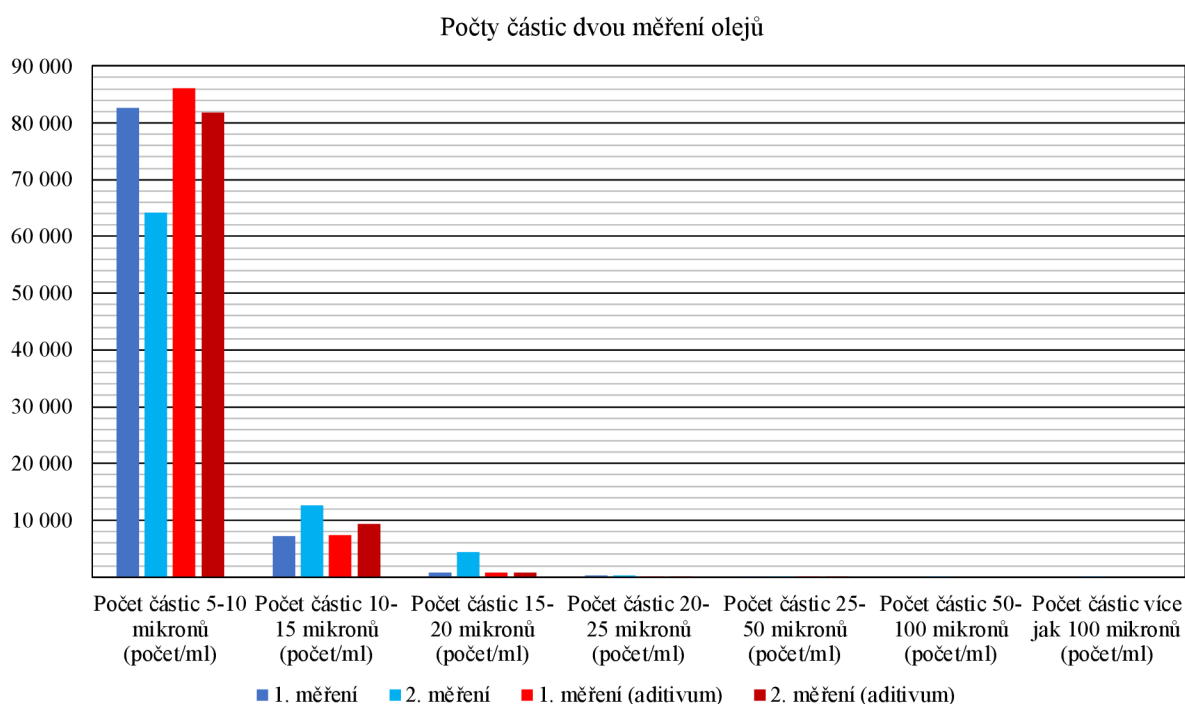
Dva vzorky oleje byly následně podrobeny tribodiagnostické analýze, kde se zkoumal počet částic. Pro tuto analýzu byl použit analyzátor LaserNet Fines LNF-C od americké firmy Lockheed Martin viz obrázek č. 23, který vlastní katedra jakosti a spolehlivosti strojů.

Nejprve bylo třeba vzorky oleje řádně protřepat, aby se rozmíchaly sedimenty. Dále se pak musely vzorky oleje smíchat s technickým benzínem, protože částicový analyzátor má již vlivem stáří znečištěné sklo uvnitř a vzorek oleje by tak nebyl řádně prosvícen. Poměr smíchání činil 10 ml oleje a 90 ml technického benzínu. Proto bylo třeba výsledky měření z PC programu dodatečně pronásobit devíti, aby bylo dosaženo výsledku počet částic na mililitr. V programu pro analyzátor se nejprve vyplnily některé parametry, které pak usnadní práci s daty v textovém souboru. Poté se spustilo měření, kde analyzátor nasál vzorek oleje a nechal jej protékat přístrojem, který laserem prosvěcoval vzorek oleje skrze čtyřnásobně zvětšující lupu na fotografický čip a vyhodnocoval počet a druh částic. [39, 40]



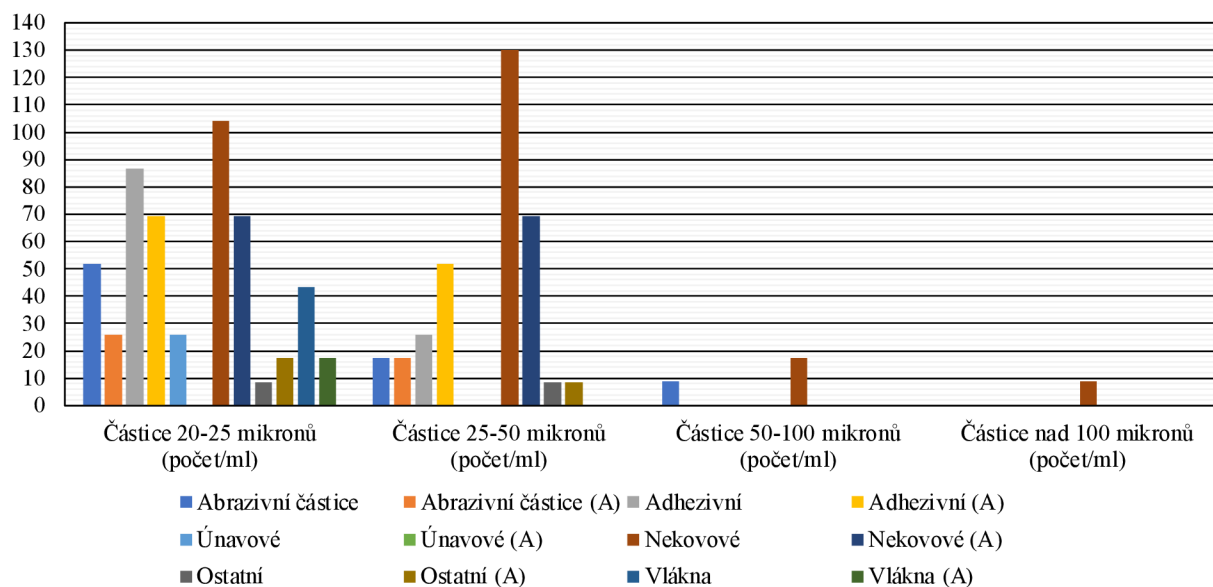
Obrázek č. 23: Částicový analyzátor LaserNet Fines LNF-C katedry jakosti a spolehlivosti strojů (vlevo) a aditivum METALTEC-1® (vpravo) [autor]

Bylo zjištěno, že olej s aditivem obsahuje o něco více částic, což je patrné z grafu č. 9. Nejvíce bylo v oleji částic v rozmezí 5-10 mikronů, které tvoří naprostou většinu všech částic. Analyzátor je schopný i rozeznat a rozdělit částice větší, než 20 mikronů na adhezivní, abrazivní, únavové, nekovové, vláknité částice a ostatní. Analyzátor je též schopný rozeznat drobné bublinky vody větší, než 20 mikronů. Ty pak vyloučí z počtu analyzovaných pevných částic v oleji. Těchto několik zmíněných typů částic tvoří pouze malý zlomek všech částic. Řádově se jedná o desítky až nízké stovky částic viz graf č. 10. na rozdíl od několika desítek tisíc v případě částic o velikosti 5-10 mikronů. [39]



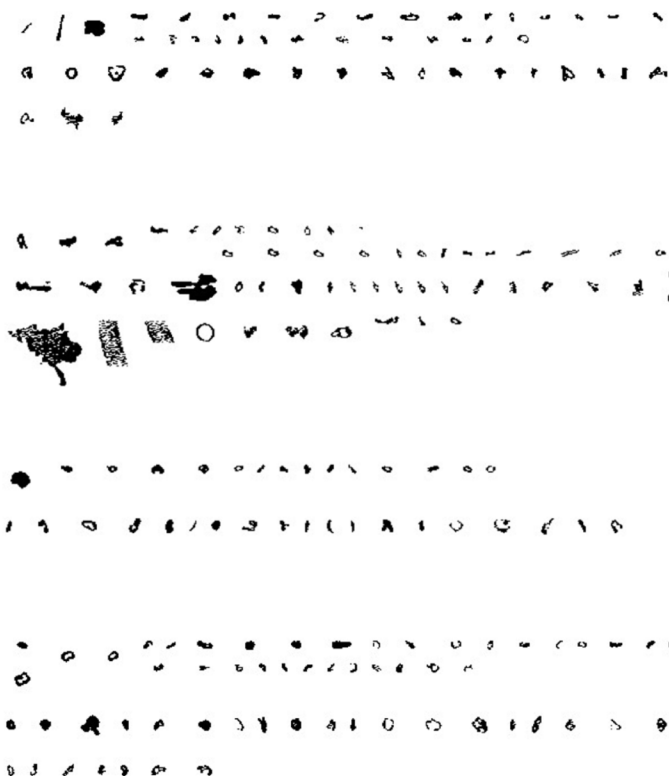
Graf č. 9: Počty částic dvou měření vzorků oleje bez použití aditiva a po použití aditiva

Průměrné hodnoty málo zastoupených částic



Graf č. 10: Průměrné počty málo zastoupených částic. Písmeno „(A)“ v závorkách značí vzorek po použití aditiva

Analyzátor rovněž vyhodnotil přibližný tvar a počet částic větších, než 20 mikronů, což je patrné z obrázku č. 24. [39]



Obrázek č. 24: Čtyři snímky tvarů částic v oleji. Horní dva snímky jsou vzorků oleje bez použitého aditiva, dolní dva jsou s použitým aditivem

Toto dílčí měření prokázalo, že aditivum má schopnost uvolnit úsady v motoru, které se pak vyplaví při výměně olejové náplně a motor se takto postupně vyčistí. Efekt ale není natolik rozdílný, aby to opodstatnilo přidání aditiva vzhledem k jeho ceně. Navíc je nutno upozornit na možné riziko plynoucí z uvolněných částic, které mohou různě působit na části motoru. Když jsou částice usazené na površích a nehýbou se v náplni, nepředstavují pro motor významnější riziko. Kratší výměnou běžného oleje bez aditiva se dá docílit podobného čistícího efektu. Není tedy v žádném případě vhodné se snažit měnit olej až po 15 tisících ujetých kilometrech či více v domnění, že přidané aditivum výrazně prodlouží životnost oleje a životnost motoru.

5 Závěr

Tato práce v úvodní teoretické části seznámila čtenáře se základy problematiky provozních parametrů vozidel, na kterou navázala část věnující se palivům pro spalovací motory. Následně byly stručně popsány druhy aditiv, která se přidávají do paliv a olejů. Na tuto kapitolu navázala část pojednávající o emisích ze spalovacího procesu a jejich vlivech na lidský organismus. S touto kapitolou se váže i část o metodách snižování emisí. Následovala kapitola o měření výkonu a měření emisí. Závěr teoretické části byl věnován jízdním cyklům, kterých se využívá pro přesné měření emisí a spotřeby paliva.

V praktické části byla provedena celkem tři měření. Zkoumala se s pomocí jízdního cyklu WLTC běžná nafta *Efecta* od sítě čerpacích stanic *Benzina*. K této naftě se ve druhém měření přidalo aditivum do olejové náplně motoru a poslední měření bylo provedeno s prémiovou naftou *Verva*. Každé měření bylo z důvodu zvýšení přesnosti výsledků opakováno celkem třikrát. Na konci tří opakování byl měřen výkon testovaného vozu a hluk.

Při vyhodnocení emisí bylo zjištěno, že se vyprodukované emise napříč měřeními prakticky nezměnily. Byl zaznamenán pouze nárůst oxidu uhelnatého a uhlovodíků při použití paliva *Verva*. Hodnoty oxidu uhličitého za cyklus se lišily jen minimálně. Lze tedy prohlásit, že se emise motoru 1.9 TDI s vyšším nájezdem nijak výrazně nezmění na základě použití aditiva snižujícího tření a zároveň použití prémiové nafty. Odchytky hodnot jsou pravděpodobně zapříčiněny nepřesnostmi měření při jízdách.

Co se týče pevných částic, tak byla zjištěna změna, kdy použití aditiva snížilo celkové množství pevných částic a k ještě dodatečné snížení přispělo použití prémiové nafty. Je však podezření, že tento pokles pevných částic byl zapříčiněn uvolněním již usazených částic ve výfukovém potrubí. Proto bych doporučil případně měření opakovat v opačném pořadí, tj. nejdříve od prémiové nafty k běžné naftě, aby se tato možnost případně vyloučila.

Spotřeba paliva se při měření s pomocí jízdního cyklu WLTC 3b se rovněž zásadněji nelišila. První měření s běžnou naftou vykazovalo nejnižší spotřebu. Ta byla s největší pravděpodobností zapříčiněná tím, že před řádným měřením proběhlo testovací měření a řidič (autor práce) tak měl možnost si zvyknout na poněkud jiné chování vozu na válcové zkušebně

oproti reálnému provozu. Zároveň byly cykly poměrně rychle zaseté v těsném pořadí za sebou. Vzhledem k tomuto faktu a s přihlédnutím k ostatním měřením a možným odchylkám, lze prohlásit že se spotřeba prakticky nezměnila při přidání aditiva a změně nafty.

Při měření výkonu byly pozorovány výraznější změny v průběhu výkonu v jeho špičce v oblasti nad 4 000 otáček za minutu. Točivý moment se napříč měřeními neměnil. Lze tedy prohlásit, že použití aditiva do oleje a prémiové nafty nemá u starého motoru s vyšším nájezdem vliv na výkon. Vliv je minimální a na hranici odchylky měření.

Dále byl měřen hluk, který se takřka nezměnil. Zajímavá situace nastala při zkoumání nahrávky volnoběhu pořízené smartphonem, kdy byl zaznamenán relativní propad hladiny hluku o přibližně 2,5 dB v oblasti okolo 200 Hz frekvenčního spektra a dále menším poklesem okolo 2 kHz. Toto mohlo být zapříčiněno zvýšením objemu olejové náplně po přidání aditiva (tlumící efekt), dále snížením tření díky aditivu či pozitivní změnou vlastností vstříkované prémiové nafty. Tento pokles v úzké frekvenční oblasti není téměř možné běžným poslechem zaznamenat.

Podmínky pro měření hluku nebyly ideální z důvodu nemožnosti měřit v akusticky izolovaném prostoru, ale výsledky byly i tak dostatečně průkazné pro vyvrácení původního tvrzení autora, že aditivum do oleje v kombinaci s prémiovým palivem má na tolik velký vliv na chodu motoru, a tedy i na výslednou hlasitost, že je možnost tento jev zaznamenat. Případný pokles hlučnosti, který se jedinci jeví po změně paliva je tedy čistě psychologický (*placebo efekt*).

Závěr praktické části byl věnován zkoumání dlouhodobějšího vlivu aditiva do oleje, které by mělo mít zejména čistící funkci. Bylo zjištěno, že aditivum napomáhá uvolnění úsad z motoru, což ale znamená i jisté riziko při proudění uvolněných částic, které mohou páchat následně škody. Efekt aditiva na zvýšení počtu částic byl velmi malý a efekt použití tohoto aditiva nepředčí pořizovací náklady na toto aditivum. Pro starší motory nemá velký význam takovéto aditivum používat. U nových vozů by byla situace jiná, neboť aditivum má dle informací výrobce ochranné účinky pro plochy, které jsou s tímto aditivem ve styku. V zájmu provozovatele vozu by použití aditiva mohlo skutečně z dlouhodobého hlediska přispět k dlouhému technickému životu motoru.

6 Seznam zdrojů

- [1] PAPOUŠEK, Miroslav a Pavel ŠTĚRBA. *Diagnostika spalovacích motorů* [online]. 2. aktuali. Brno : Computer Press . 2007. ISBN 9788025116975;8025116972; Dostupné z: <https://go.exlibris.link/G8gSdSL5.TL210.P37.2007>
- [2] HROMÁDKO, Jan, Vladimír HÖNIG a Petr MILER. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [3] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles. 2001. ISBN 9788085920765;808592076X;
- [4] ŠTĚRBA, Pavel, Jiří ČUPERA a Adam POLCAR. *Automobily: diagnostika motorových vozidel II*. 1. vydání. Brno: Avid, s.r.o. 2011. ISBN 8087143191;9788087143193;
- [5] *A-Weighting - an overview | ScienceDirect Topics* [online]. [vid. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/a-weighting>
- [6] MARTYR, A.J. J. a M.A. A. PLINT. *Engine testing theory and practice* [online]. 2007. ISBN 978-0-7506-8439-2. Dostupné z: doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- [7] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: F. Vlk. 2003. ISBN 9788023887563;8023887564;
- [8] S. P. SRIVASTAVA, Srivastava a Hancs k JEN HANCS K. *Fuels and fuels-additives* [online]. B.m.: Wiley-Blackwell . 2014. ISBN 0470901861;9780470901861; Dostupné z: <https://go.exlibris.link/GZSt4y1K>
- [9] *Crude Oil Distillation-cz - Frakční destilace – Wikipedie* [online]. [vid. 2022-03-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Frakční_destilace#/media/Soubor:Crude_Oil_Distillation-cz.svg
- [10] *Normy kvality motorových paliv - ČAPPO* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.cappo.cz/legislativa/normy-kvality-motorovych-paliv>
- [11] HOREJŠ, Karel a Vladimír MOTEJL. *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů: Motory, paliva, emise, diagnostika* [online]. Vyd. 4. Brno : Littera . 2009. ISBN 8085763524;9788085763522; Dostupné z: <https://go.exlibris.link/C1pHwMm0.TL152.H67.2008>
- [12] *ORLEN Unipetrol RPA* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné

- z: <https://www.unipetrolrpa.cz/CS/NabidkaProduktu/rafinerske-produkty/PohonneHmoty/Nafty/Stranky/Motorová-nafta-třída.aspx>
- [13] ČSN, Podle a A EN. Technická specifikace Technická specifikace. nedatováno, 1–2.
- [14] *Změny parametrů motorové nafty podle časových období - ČAPPO* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://cappo.cz/aktuality-a-media/aktuality/zmeny-parametru-motorove-nafty-podle-casovych-obdobi>
- [15] *Výhody a nevýhody přestavby auta na LPG* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/lpg-prestavba-1-21004076>
- [16] *Biopaliva třetí generace* | [online]. [vid. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.ropa.cz/zpravy/biopaliva-treti-generace-2/>
- [17] *Biopaliva - ČAPPO* [online]. [vid. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.cappo.cz/pohonne-hmoty-a-energie-pro-mobilitu/biopaliva>
- [18] LEGÁT, Václav a kol. *Management a inženýrství údržby*. Praha: Professional publishing, 2016. ISBN 978-80-7431-163-5.
- [19] MARTYR, Anthony a M A PLINT. *Engine testing: the design, building, modification and use of powertrain test facilities*. 4th vyd. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2012. ISBN 0080969496;9780080969497;
- [20] *Vše o filtrech pevných částic DPF* [online]. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.dpf-tech.cz/filtry-pevnych-castic>
- [21] *Martin Vaculík a manuální regenerace filtru pevných částic. Jak funguje a proč si připlatit?* | *auto.cz* [online]. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/martin-vaculik-a-manualni-regenerace-filtru-pevnych-castic-jak-funguje-a-proc-si-priplatit-142338>
- [22] *AdBlue* – *autolexicon.net* [online]. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/adblue/>
- [23] ŠMERDA, Tomáš, Jiří ČUPERA a Martin FAJMAN. *Vznětové motory vozidel: biopaliva, emise, traktory* [online]. 1. vyd. Brno : CPress . 2013. ISBN 8026401603;9788026401605; Dostupné z: <https://go.exlibris.link/gTQh8bT2.TL216.5.Š64.2013>
- [24] PEXA, M., M. CINDR, K. KUBÍN a V. JURČA. Measurements of tractor power parameters using GPS. *Research in Agricultural Engineering* [online]. 2011, **57**(1), 1–7. ISSN 12129151. Dostupné z: doi:10.17221/18/2010-rae

- [25] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel: výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, říditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy*. 1. vyd. Brno: Vlk. 2001. ISBN 9788023865738;8023865730;
- [26] VLK, František. *Diagnostika motorových vozidel: diagnostické testery, motortestery, výkon vozidla, brzdové soustavy, geometrie řízení, tlumiče, kontrola podvozku, diagnostické linky*. 1. vyd. Brno: Vlk. 2006. ISBN 802397064X;9788023970647;
- [27] CROLLA, David. A. *Automotive engineering: powertrain, chasis system and vehicle body* [online]. 2009. ISBN 1856175774. Dostupné z: doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2
- [28] PEXA, Martin. *Dynamické metody měření a modelování při diagnostice strojů (habilitační práce)*. Praha, 2011. Česká zemědělská univerzita.
- [29] ZHANG, Yizhou. *Comparisons of Particulate Size Distributions from Multiple Combustion Strategies*. B.m., 2017. b.n.
- [30] *Improvements to the 3090 Engine Exhaust Particle Sizer - YouTube* [online]. [vid. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=MNAh3MuqEbo>
- [31] *Emission Test Cycles: ECE 15 + EUDC / NEDC* [online]. [vid. 2022-03-27]. Dostupné z: https://dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php
- [32] *Emission Test Cycles: WLTC* [online]. [vid. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>
- [33] Měření emisí osobních vozidel v reálném provozu [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.tuvsud.com/cs-cz/-/media/regions/cz/pdf-files/publikace/produktovelisty/as/tuvsud-fotostory-mereni-emise-rde-a3.pdf>
- [34] KOTEK, Martin. *Výuková skripta k předmětu Diagnostika motorových vozidel*. 2020. ISBN 978-80-213-3065-8.
- [35] VOJTISEK-LOM, M, A A ZARDINI, M PECHOUT, L DITTRICH, F FORNI, F MONTIGNY, M CARRIERO, B GIECHASKIEL a G MARTINI. A miniature Portable Emissions Measurement System (PEMS) for real-driving monitoring of motorcycles. *Atmospheric Measurement Techniques* [online]. 2020, **13**(11), 5827–5843. Dostupné z: doi:10.5194/amt-13-5827-2020
- [36] *Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS) 3090 | TSI* [online]. [vid. 2022-03-30]. Dostupné z: [https://tsi.com/products/particle-sizers/fast-particle-sizer-spectrometers/engine-exhaust-particle-sizer-\(eeps\)-3090/](https://tsi.com/products/particle-sizers/fast-particle-sizer-spectrometers/engine-exhaust-particle-sizer-(eeps)-3090/)

- [37] *What is the Difference Between a Class 1 and Class 2 Sound Level Meter? | ADM Instrument Engineering* [online]. [vid. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.adminstrumentengineering.com.au/blog/what-difference-between-class-1-and-class-2-sound-level-meter>
- [38] *Where Are Your iPhone's Microphones Located? All Models Explained - macReports* [online]. [vid. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://macreports.com/where-are-your-iphones-microphones-located-all-models-explained/>
- [39] *LaserNet Fines - A New Tool for the Oil Analysis Toolbox* [online]. [vid. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/383/lasernet-fines-oil-analysis>
- [40] *LaserNet Fines® Q200-A Solution to Oil Analysis Including Particle Count and Particle Shape Classification* [online]. nedatováno [vid. 2022-03-30]. Dostupné z: www.spectroinc.com

7 Seznam obrázků

OBRÁZEK Č. 1: VNĚJŠÍ OTÁČKOVÁ CHARAKTERISTIKA (VLEVO) A ÚPLNÁ CHARAKTERISTIKA (VPRAVO) [3].....	8
OBRÁZEK Č. 2: SCHÉMA DESTILAČNÍ KOLONY S TEPLOTAMI JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ [9].....	10
OBRÁZEK Č. 3: PŘIBLIŽNÉ ZASTOUPENÍ NEŽÁDOUCÍCH EMISÍ DLE TYPU MOTORU [2]	19
OBRÁZEK Č. 4: VLIV HODNOTY PŘEBYTKU VZDUCHU LAMBDA NA EMISE ZÁŽEHOVÉHO MOTORU (VLEVO) A VZNĚTOVÉHO (VPRAVO) [2]	22
OBRÁZEK Č. 5: ŘEZ TŘÍCESTNÝM KATALYZÁTOREM [3]	23
OBRÁZEK Č. 6: VÍŘIVÝ DYNAMOMETR SCHENCK V ŘEZU. 1) ROTOR, 2) HŘÍDEL ROTORU, 3) SPOJOVACÍ PŘÍRUBA, 4) VÝVOD VODY, S TERMOSTATEM 5) BUDÍCÍ CÍVKA, 6) KRYT, 7) CHLADÍCÍ KOMORA, 8) VZDUCHOVÁ MEZERA, 9) SNÍMAČ OTÁČEK, 10) PODPĚRA, 11) ZÁKLADNA, 12) VTOK VODY, 13) PŘÍRUBA, 14) POTRUBÍ VÝVODU VODY (PŘELOŽENO AUTOREM NA ZÁKLADĚ ZDROJE: [24])	26
OBRÁZEK Č. 7: PRINCIP ROZDĚLOVÁNÍ ČÁSTIC DLE VELIKOSTI V ZAŘÍZENÍ EEPS (PŘELOŽENO AUTOREM NA ZÁKLADĚ ZDROJE: [26])	28
OBRÁZEK Č. 8: EVROPSKÝ HOMOLOGAČNÍ CYKLUS NEDC [2]	30
OBRÁZEK Č. 9: PRŮBĚH CYKLU WLTC TŘÍDY 3B (PŘELOŽENO AUTOREM) [29]	31
OBRÁZEK Č. 10: PEMS UPEVNĚNÉ NA TAŽNÉM ZAŘÍZENÍ TESTOVANÉHO VOZU PŘI MĚŘENÍ RDE [30]	31
OBRÁZEK Č. 11: TESTOVACÍ VŮZ [AUTOR]	32
OBRÁZEK Č. 12: HLAVNÍ ŘÍDÍCÍ SYSTÉM ZKUŠEBNY [AUTOR]	35
OBRÁZEK Č. 13: POPIS OVLÁDACÍHO PROSTŘEDÍ PROGRAMU CONTROLWEB [AUTOR]	36
OBRÁZEK Č. 14: SKŘÍŇ ROZVADĚČE ZKUŠEBNY [AUTOR]	37
OBRÁZEK Č. 15: DETAIL SESTAVY SETRVAČNÍKŮ ZKUŠEBNY [AUTOR]	38
OBRÁZEK Č. 16: SONDY ANALYZÁTORŮ PŘIPEVNĚNÉ K VÝFUKU (VLEVO) A ŘEDÍCÍ ZAŘÍZENÍ S VYHŘÍVÁNÍM TESTO MD19-3E (VPRAVO) [AUTOR]	38
OBRÁZEK Č. 17: ZAŘÍZENÍ MINI-PEMS VYTVOŘENÉ VE SPOLUPRÁCI ČVUT A TUL (VLEVO) [AUTOR] A ANALYZÁTOR PEVNÝCH ČÁSTIC TSI EEPS 3090 (VPRAVO) [32]	39
OBRÁZEK Č. 18: PŘÍKLAD MEZÍ RYCHLOSTI, VE KTERÝCH SE MUSÍ ŘIDIČ UDRŽET PŘI ZAJÍŽDĚNÍ JÍZDNÍCH CYKLŮ V PROGRAMU CONTROLWEB. TUTO ZRCADLENOU OBRAZOVKU PROCESNÍHO POČÍTAČE VIDÍ ŘIDIČ PŘED SEBOU NA MONITORU UPEVNĚNÉM NA ROTAČNÍM RAMENI. ZDE JE ÚVODNÍ ČÁST CYKLU WLTC 3B. [AUTOR]..	40
OBRÁZEK Č. 19: DETAIL PŘEPOJENÝCH HADIČEK Z HRDLA VÍKA NÁDRŽE V INTERIÉRU PRO PROPOJENÍ S EXTERNÍ PUMPOU (VLEVO) [AUTOR]. APARATURA SE VZORKEM PALIVA V ERLENMEYEROVĚ NÁDOBĚ POSTAVENÉ NA VÁZE (VPRAVO), KDE LZE VIDĚT I POČÍTAČ S PROGRAMEM EMISNÍHO ANALYZÁTORU TSI EEPS 3090. [BC. JAKUB ADAM]..	41
OBRÁZEK Č. 20: DVOJICE VENTILÁTORŮ POTŘEBNÝCH PRO CHLAZENÍ PŘI MĚŘENÍ VÝKONU. FILCAR AL-A1500/C (VLEVO) A VENTRA ALM-800-3 (VPRAVO) [AUTOR]	45

OBRÁZEK Č. 21: POZICE SMARTPHONU PŘI MĚŘENÍ FREKVENČNÍHO SPEKTRA (VLEVO) A POZICE HLUKOMĚRU (VPRAVO) [AUTOR]	49
OBRÁZEK Č. 22: ANALÝZA NAHRÁVKY NÁSTROJEM EQ SE ŽLUTĚ VYZNAČENÝMI POKLESY HLASITOSTI V URČITÝCH FREKVENCÍCH. ČERVENÁ KŘIVKA JE BĚŽNÁ NAFTA EFECTA DIESEL, BÍLÁ KŘIVKA JE STAV PO POUŽITÍ ADITIVA A PRÉMIOVÉ NAFTY [AUTOR].....	50
OBRÁZEK Č. 23: ČÁSTICOVÝ ANALYZÁTOR LASERNET FINES LNF-C KATEDRY JAKOSTI A SPOLEHLIVOSTI STROJŮ (VLEVO) A ADITIVUM METALTEC-1 [®] (VPRAVO) [AUTOR].....	52
OBRÁZEK Č. 24: ČTYŘI SNÍMKY TVARŮ ČÁSTIC V OLEJI. HORNÍ DVA SNÍMKY JSOU VZORKŮ OLEJE BEZ POUŽITÉHO ADITIVA, DOLNÍ DVA JSOU S POUŽITÝM ADITIVEM.....	54

8 Seznam tabulek

TABULKA Č. 1: PŘEHLED ADITIV DO BENZÍNŮ S ROZMEZÍM MNOŽSTVÍ TĚCHTO ADITIV NA KG PALIVA. (PŘELOŽENO AUTOREM NA ZÁKLADĚ ZDROJE Č.: [8]).....	17
TABULKA Č. 2: PŘEHLED ADITIV DO NAFTY S ROZMEZÍM MNOŽSTVÍ TĚCHTO ADITIV NA KG PALIVA. (PŘELOŽENO AUTOREM NA ZÁKLADĚ ZDROJE: [8]).....	17
TABULKA Č. 3: PŘEHLED EMISNÍCH LIMITŮ EURO NOREM (PŘELOŽENO AUTOREM) [17].....	19
TABULKA Č. 4: PŘEHLED METOD MĚŘENÍ VÝKONOVÝCH PARAMETRŮ [2].....	25
TABULKA Č. 5: PARAMETRY MOTORU 1.9 TDI TESTOVACÍHO VOZU	33
TABULKA Č. 6: PŘEHLED PARAMETRŮ ZKUŠEBNY KATEDRY VOZIDEL A POZEMNÍ DOPRAVY	34
TABULKA Č. 7: VÝSLEDKY PŘEVODOVÉHO POMĚRU U TESTOVACÍHO VOZU	46
TABULKA Č. 8: PRŮMĚRNÉ HODNOTY HLUKU V DECIBELECH PODLE VÁŽENÍ A (DBA)	48

9 Seznam grafů

GRAF Č. 1: KŘIVKA NÁJEZDU VYTVOŘENÁ NA ZÁKLADĚ DOSTUPNÝCH DAT ZE SERVISNÍCH PROHLÍDEK A STK	33
GRAF Č. 2: HODNOTY TŘÍ MINORITNÍCH EMISÍ (VLEVO) A HODNOTY EMISÍ CO ₂ (VPRAVO), KTERÉ PŘEVAŽOVALY	41
GRAF Č. 3: PŘÍKLAD PRŮBĚHU PRODUKOVANÝCH EMISÍ CO ₂ (ČERVENĚ) BĚHEM CYKLU WLTC 3B (ČERNĚ). HODNOTY JSOU UVEDENY V GRAMECH ZA SEKUNDU ČILI SE JEDNÁ O OKAMŽITOU PRODUKCI V ZÁVISLOSTI NA ČASE.....	42
GRAF Č. 4: PRŮMĚR POČTU PEVNÝCH ČÁSTIC ZA JEDEN CYKLUS WLTC 3B ROZDĚLENÝCH PODLE JEJICH VELIKOSTI	42
GRAF Č. 5: PRŮMĚRNÝ POČET VŠECH PEVNÝCH ČÁSTIC (V MILIONECH) ZA JEDEN CYKLUS....	43
GRAF Č. 6: PRŮMĚRNÉ HODNOTY SPOTŘEBY V LITRECH ZA CYKLUS NA ZÁKLADĚ 3 MĚŘENÍ	43
GRAF Č. 7: PRŮBĚH ZTRÁTOVÉHO MOMENTU	46
GRAF Č. 8: OTÁČKOVÁ CHARAKTERISTIKA NAPŘÍČ VŠEMI MĚŘENÍMI S VELMI MALÝMI ROZDÍLY JEDNOTLIVÝCH MĚŘENÍ	47
GRAF Č. 9: HODNOTY DVOU MĚŘENÍ VZORKŮ OLEJE BEZ POUŽITÍ ADITIVA A PO POUŽITÍ ADITIVA.....	53
GRAF Č. 10: PRŮMĚRNÉ HODNOTY MÁLO ZASTOUPENÝCH ČÁSTIC. PÍSMENO „(A)“ V ZÁVORKÁCH ZNAČÍ VZOREK PO POUŽITÍ ADITIVA	54