

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Vliv aditiv v motorové naftě na produkci emisí**

diplovová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Jindra

Autor diplomové práce: Bc. René Štrobach

PRAHA 2017

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Jindry, a použil jen pramenů citovaných v příloženém seznamu.

V Praze dne

.....

.....

Bc. René Štrobach

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petrovi Jindrovi za odborné konzultace, věcné připomínky a pomoc při řešení a zpracování mé práce. Dále děkuji Ing. Martinovi Kotkovi, Ph.D. za odborný dohled a vedení průběhu praktického měření. Také děkuji rodině za podporu a vytvoření dobrých podmínek ke studiu na vysoké škole.

V Praze dne

.....

.....

Bc. René Štrobach

**Abstrakt:**

Předložená diplomová práce má za cíl zjistit vliv aditivace motorové nafty na emise vznětového motoru. V úvodu je stručně popsána současná situace v oblasti automobilů a problémy, jimž automobilový průmysl čelí. Druhá kapitola se zabývá historií, principem, pracovními oběhy, charakteristikami, tvorbou směsi a regulací vznětového motoru. Třetí kapitola se zabývá motorovou naftou, jejími druhy a vlastnostmi. Čtvrtá kapitola popisuje emise vznětového motoru, složení výfukových plynů, popis složek, emisní předpisy a opatření vedoucí ke snížení emisí. Pátá kapitola se zabývá aditivací motorové nafty, přísadami do motorové nafty, je zde popsáno MEŘO, ethanol, methanol a vodík jakožto přísady motorové nafty a jejich vliv na emise vznětového motoru. Šestá kapitola je věnována praktické části. Jsou zde popsány metodika měření, použité přístroje a zařízení, použitá paliva a především hlavní částí této kapitoly jsou naměřená a zpracovaná data a jejich vyhodnocení. V závěru je velmi stručně popsáno praktické měření a jsou zde shrnuty výsledky praktické části.

**Klíčová slova:** aditiva, motorová nafta, emise, výkon

## **The influence of diesel fuel additives on emission production**

### **Summary:**

The present thesis aims to investigate the influence addition diesel on emission of diesel engine. The introduction briefly describes the current situation in the automotive sector and challenges facing the automotive industry. The second chapter deals with the history, principles, working cycles, characteristics, creation mix and control diesel engine. The third chapter deals with diesel fuel, its types and attributes. The fourth chapter describes the emission of diesel engine, exhaust gas composition, description of the components, emission regulations and measures to reduce emissions. The fifth chapter deals with additivation of diesel fuel, additives to diesel fuel, is described here FAME, ethanol, methanol and hydrogen as additives in diesel and its impact on diesel engine emissions. The sixth chapter is devoted to the practical part. Here are described measurement methodology, the used devices and equipment, fuel used and in particular the main parts of this section are measured and processed data and their interpretation. In conclusion is very briefly described the practical measurement and results are summarized practical part.

**Key words:** additives, diesel fuel, emissions, performance

## **Obsah:**

<b>1. Úvod</b> .....	8
<b>2. Vznětový motor</b> .....	9
2.1. Historie vznětového motoru.....	9
2.2. Princip vznětového motoru.....	10
2.3. Pracovní oběhy vznětového motoru.....	11
2.4. Charakteristiky vznětových motorů.....	15
2.4.1. Otáčková charakteristika.....	15
2.4.2. Zatěžovací charakteristika.....	15
2.4.3. Celková (úplná) charakteristika.....	15
2.5. Tvorba směsi vznětového motoru.....	16
2.5.1. Nepřímé vstřikování do vírové komůrky.....	17
2.5.2. Přímé vstřikování nafty do spalovacího prostoru.....	18
2.6. Regulace vznětového motoru.....	19
<b>3. Paliva pro vznětové motory</b> .....	21
3.1. Motorová nafta.....	21
3.1.1. Vlastnosti motorové nafty.....	21
3.1.2. Druhy motorové nafty.....	24
<b>4. Emise vznětového motoru</b> .....	26
4.1. Složení výfukových plynů vznětového motoru.....	2
4.2. Popis škodlivých složek výfukových plynů.....	29
4.3. Emisní předpisy.....	31
4.4. Opatření ke snížení emisí škodlivin u vznětových motorů.....	31
4.4.1. Opatření před motorem.....	31
4.4.2. Opatření u motoru.....	31
4.4.3. Opatření za motorem.....	33

<b>5. Aditivace motorové nafty</b> .....	35
5.1. Přísady do motorové nafty.....	35
5.2. MEŘO.....	39
5.3. Ethanol, methanol, vodík.....	40
<b>6. Praktická část</b> .....	42
6.1. Metodika měření.....	42
6.2. Použité přístroje a zařízení.....	43
6.3. Použitá paliva.....	47
6.4. Naměřená data.....	49
6.4.1. Pevné částice.....	51
6.4.2. CO <sub>2</sub> .....	54
6.4.3. CO.....	57
6.4.4. NO <sub>x</sub> .....	60
6.4.5. Výkonové parametry.....	63
<b>7. Závěr</b> .....	66
<b>Použité zdroje</b> .....	67
<b>Seznam obrázků</b> .....	69
<b>Seznam tabulek</b> .....	70
<b>Seznam grafů</b> .....	71

## 1. Úvod:

Od dob, kdy spatřil světlo světa první automobil uběhla již pěkná řádka let, zato dnes považujeme cestování automobilem za zcela běžné, automobil se zkrátka stal nedílnou součástí našich životů. Pryč jsou doby, kdy automobil vlastnili jen majetní lidé, kdežto zbytek společnosti mohl tuto technickou vymoženost s úžasem či snad se závistí jen obdivovat.

Se zvyšující se životní úrovní stoupal i počet rodin, které si koupí automobilu mohli dovolit, a tak množství registrovaných automobilů vystoupalo až k současným číslům. Není nic neobvyklého, že jedna rodina vlastní dva či dokonce více automobilů, některé firmy poskytují svým zaměstnancům služební automobil v rámci firemních benefitů, a to i pro soukromé účely. Také je třeba zmínit velký podíl nákladní automobilové dopravy v přepravě zboží vůbec. Pohodlí, které nám automobilová doprava poskytuje, je však do jisté míry vykoupeno negativními důsledky z automobilové dopravy plynoucími, ať již se jedná o časté kongesce, nedostatek parkovacích míst, hlučnost, prašnost a znečištěné ovzduší vlivem v současné době velmi často skloňovaných emisí spalovacích motorů, jimž bude věnována značná část této diplomové práce.

Stále vzrůstající tlak na snižování vlivu automobilové dopravy na životní prostředí vede výrobce automobilů k hledání nových technických řešení, aby těmto přísným normám bylo možné vyhovět. A tak není divu, že vyráběných atmosférických motorů je dnes jako šafránu, jelikož jsou nahrazovány přeplňovanými agregáty o nižším zdvihovém objemu než jaký byl pro vůz určité kategorie dříve běžný. Pro snižování spotřeby a tudíž i emisí se využívá zpětné recirkulace spalin, zejména u vznětových motorů se pro snížení emisí výfukových plynů používají filtry pevných částic a také selektivní katalytická redukce. Do motorové nafty je s ohledem na snižování emisí přidávána biosložka, tzv. MEŘO, tedy metylester řepkového oleje, avšak o pozitivním vlivu tohoto opatření na životní prostředí by se dalo jistě polemizovat. Vznětové spalovací motory byly a do jisté míry stále jsou kritizovány za svoji kouřivost, hlučnost a nešetrnost k životnímu prostředí ve srovnání se spalovacími motory zážehovými. Vznětové motory jsou nezastupitelné v nákladní automobilové, ale i lodní dopravě, kdežto u osobních automobilů ještě ne tak dávno byly jevem spíše ojedinělým, zato v současnosti díky technickému pokroku hravě konkurují zážehovým motorům, což potvrzují prodejní čísla.

Cestou ke snižování emisí vznětového spalovacího motoru by mohla být i aditivace motorové nafty, přičemž zjištění jejího vlivu na produkci emisí je cílem této diplomové práce.



## 2. Vznětový motor

### 2.1. Historie vznětového motoru:

Roku 1861 upozornil Francouz de Rochaz na možnost zapalování hořlavé směsi ve válci i jinak než otevřeným plamenem nebo elektrickou jiskrou. Tato zapomenutá myšlenka našla praktické naplnění za zcela jiných okolností až po více než 30 letech. Rudolf Diesel, absolvent mnichovské univerzity, byl tím, kdo tuto myšlenku po mnohaletých pokusech uskutečnil. Předchozí spalovací motory byly navrhovány intuitivně, kdežto Dieselův motor byl prvním, jenž byl konstruován na základě teoretických poznatků termodynamiky, které vyslovil francouzský fyzik Sadi Carnot již v roce 1824. Podle těchto poznatků mechanická práce libovolného tepelného stroje nezávisí na použité pracovní látce, sloužící jako nositel tepelné energie, ale jen na rozdílu nejvyšší a nejnižší teploty, kterou látka dosáhne při svém oběhu ve stroji. Diesel tak cílevědomě bádával, jak uskutečnit tento ideální Carnotův cyklus, při němž pracovní látka proběhne oběh tvořený dvěma adiabaty a dvěma isothermami. [1]

Roku 1892 Rudolf Diesel obdržel německý patent na svůj motor převratné koncepce. Předpokladem bylo ve válci stlačovat pouze vzduch, přičemž stupeň komprese byl volen tak, aby se vzduch při rychlém stlačení ve válci ohřál na teplotu vznícení paliva, které bylo do takto ohřátého vzduchu do válce vpraveno pomocí stlačeného vzduchu až těsně před dosažením horní úvratě pístu. Kromě petroleje se jako o palivu původně údajně uvažovalo i o uhelném prachu. Motor byl navržen jako čtyřtákní. Jelikož ani Diesel neměl dostatek prostředků pro uskutečnění svých myšlenek, postoupil podíl ze svých patentů Alfredu Kruppovi, jednomu z nejmočnějších mužů tehdejšího německého průmyslu. Svou neúnavnou snahou si získal podporu známé strojírně MAN. V té byl vyroben první zkušební motor, na němž Diesel zahájil téměř pětiletou sérii zkoušek. V roce 1897 byl motor konečně hotov. [1]

*Obr. 1 Dieselův motor (1897)*



*Zdroj: HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory.  
Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-003475-0.*

Motor dosahoval výkonu 14,7 kW při otáčkách  $170 \text{ min}^{-1}$ . Celková účinnost motoru byla 26 %, byl však příliš rozměrný a těžký, k tomu navíc ještě složitost vysokotlakového kompresoru, který u prvních Dieselových motorů zabezpečoval dopravu paliva do válce v proudu stlačeného vzduchu, a tak byly tyto motory používány jako motory stacionární nebo motory lodní. [2]

Použitelnost ve vozidle zajistila až náhrada kompresoru vstřikovacím čerpadlem, které umožnilo zmenšení rozměrů a snížení celkové hmotnosti motoru. S myšlenkou hydraulického vstřikování paliva vznětových motorů přichází roku 1910 James Kechni, ředitel anglické továrny Vickers, a také Robert Bosch, který s ním začíná experimentovat v roce 1921. Sériová výroba těchto vstřikovacích čerpadel začíná roku 1927, a přináší tak další průlom v rozmachu vznětových motorů. [2]

## 2.2. Princip vznětového motoru:

V současnosti se u automobilů nejčastěji používá čtyřdobý motor. Ten je charakterizován tím, že cyklus probíhá při čtyřech zdvích pístu motoru. Píst v součinnosti s ventilovým rozvodem zajišťuje výměnu směsi. To platí pro spalovací motory s přímočarým vratným pohybem pístu, které v automobilech převažují. U těchto motorů se píst pohybuje mezi horní a dolní úvratí. Vzdálenost mezi úvratěmi se nazývá zdvihem. Tlaková energie vzniklá při hoření směsi působí na horní plochu pístu. Výsledná síla při tom vznikající je přenášena ojnicí na klikovou hřídel. Tímto na klikové hřídeli vzniká točivý moment. Síla působí po určité dráze mezi úvratěmi, vzniká tak mechanická práce a vzhledem k času mechanický výkon. [3]

Čtyřdobý proces, využívaný v automobilech nejčastěji, se skládá ze čtyř zdvihů, tedy ze dvou otáček klikové hřídele. Jednotlivé doby se nazývají sání, komprese, expanze a výfuk. Uvedený proces, nezývaný pracovním oběhem, je kruhový děj, který se periodicky opakuje a má stále shodný průběh. Lze jej popsat indikátorovým diagramem, což je závislost tlaku  $p$  na objemu  $V$  během pracovního oběhu. Průběh se stanoví měřením tlaku ve válci v závislosti na poloze pístu nebo na čase od začátku oběhu. [3]

Kruhový děj ovšem vyžaduje obnovení počátečních tepelných, tlakových a objemových podmínek. To se u pístových motorů děje výměnou prováděnou vytlačěním shořelých plynů a přivedením nové náplně. [3]

Při kruhovém ději uvedeného pracovního oběhu jsou pro mechanickou práci motoru podstatné jen tlakové změny a s nimi související změny objemové. Produkce tepla a stavové

změny pracovního media, směsi paliva se vzdušným kyslíkem, musí probíhat tak, aby práce vykonaná během expanze byla větší než práce potřebná k výměně a kompresi náplně. [3]

U vznětových motorů, které spalují motorovou naftu, dochází ke vznícení paliva v okamžiku jeho vstříknutí do stlačeného vzduchu, stlačením ohřátého na zápalnou teplotu. [3]

Pro dosažení teploty nutné ke vznícení je nutno použít velký kompresní poměr ( $\epsilon_{\min} = 12$ ). Běžný kompresní poměr používaný u motorů s přímým vstřikem paliva je  $\epsilon = 17$  a u motorů komůrkových  $\epsilon = 22$ . Tlak na konci komprese je 3,0 až 5,5 MPa. Teplota na konci komprese je 700 až 900 °C. [2]

### 2.3. Pracovní oběhy vznětového motoru:

Přeměna chemické energie kapalného paliva na energii tepelnou a dále na mechanickou práci spalovacího motoru představuje složitý děj. V praxi se používá mírné zjednodušení, neboť přesné matematické vyjádření tohoto procesu je velmi složité. [2]

Průběh pracovního procesu v motoru představuje jeho pracovní oběh. Rozbor oběhu slouží jako základní podklad pro posouzení důležitých veličin a hodnot motoru, jako např. využití tepla, středního tlaku na píst, dosažených teplot atd.

Teoretický rozbor oběhu, tedy takový, který se může matematicky vyjádřit, se neobejde bez zjednodušených předpokladů. Proto se počítá buď s oběhem ideálním, nebo teoretickým, podle stupně zjednodušení. Oba oběhy tvoří skupinu tzv. oběhů porovnávacích. [2]

Průběh skutečného oběhu lze zjistit pouze měřením. K tomuto účelu se používá vysokotlaký snímač umístěný v pracovním prostoru měřeného motoru. Hodnoty tlaku jsou zaznamenávány v závislosti na pootočení klikové hřídele motoru. Ze známé dráhy pístu a obsahu pístu je určen objem motoru, ke kterému je přiřazen zaznamenaný tlak ve spalovacím motoru. [2]

#### Ideální pracovní oběh:

Ideální pracovní oběh je platný za následujících zjednodušujících předpokladů:

1. Pracovní oběh je uzavřený, náplň se nevyměňuje, je konstantní a oběh je vratný.
2. Pracovní látkou je čistý dvouatomový plyn. Měrná tepla jsou konstantní. Plyn se řídí stavovou rovnicí  $p \cdot V = n \cdot r \cdot T$ .
3. Komprese a expanze probíhají adiabaticky, s exponentem změny stavu  $\kappa = 1,4 = \text{konst.}$

4. Přívod tepla do oběhu probíhá jen za stálého objemu nebo za stálého tlaku nebo v této kombinaci. Odvod tepla probíhá za stálého objemu.
5. Stěny pracovního prostoru jsou tepelně indiferentní, tedy teplo neabsorbují, nepropouštějí ani nevydávají. Stejně tak píst, který se ve válci pohybuje bez tření.
6. Neexistují ztráty netěsností spalovacího prostoru ani žádné jiné ztráty.

[2]

Ideální oběh umožňuje rozlišit a teoreticky posoudit rozdíly mezi základními typy motorů jako zážehový, vznětový, přeplňovaný apod. [2]

#### Teoretický pracovní oběh:

Zpřesněním ideálního oběhu vznikne oběh teoretický, který se od ideálního liší v následujících bodech:

1. Náplň válce se vyměňuje. Umožňuje to rozlišit motor dvoudobý a čtyřdobý.
2. Pracovní látkou jsou náplně skutečných plynů nebo směsí se stálými nebo proměnnými měrnými tepley.
3. Komprese a expanze probíhají polytropicky, s exponentem změny stavu  $n$ , zpravidla empiricky zjištěným a závislým na parametrech motoru.

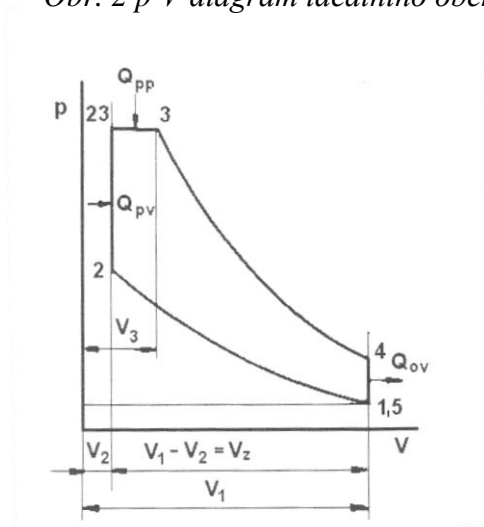
[2]

Teoretický oběh je mnohem blíže skutečnosti než oběh ideální. Dovoluje posouzení motorů stejného typu. [2]

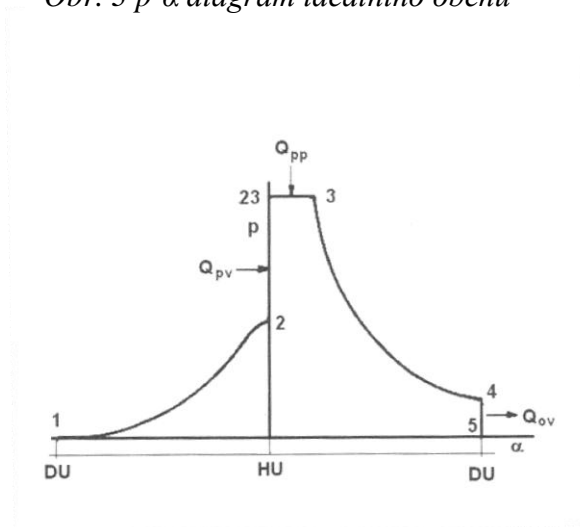
#### Skutečný pracovní oběh:

Skutečný pracovní oběh je ovlivněn složitým průběhem přívodu tepla do oběhu, vzájemnou výměnou tepla mezi náplní a stěnami pracovního prostoru válce a řadou ztrát tlakových, mechanických a průtokových. Zjištění průběhu je prováděno měřením, většinou formou měření závislosti tlaku ve spalovacím prostoru na zdvihovém objemu válce nebo úhlu pootočení klikové hřídele. Měření je označováno jako indikace (indikování) motoru, a zjištěná závislost je indikátorový diagram. Indikátorový diagram sice podává skutečný obraz změny tlaku ve válci měřeného motoru, pro teoretické posouzení motorů však není vhodný. [2]

Obr. 2 p-V diagram ideálního oběhu



Obr. 3 p-α diagram ideálního oběhu



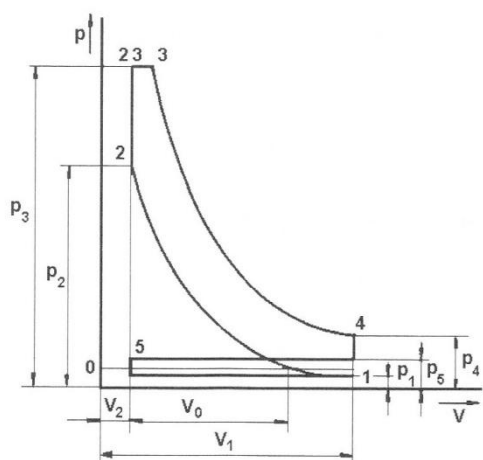
Zdroj k Obr.2 a k Obr.3: HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory. Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0

Tab. 1 Tlaky a teploty charakteristických bodů ideálního oběhu

Bod	Tlak	Teplota
1	$p_1$ standardní barometrický tlak vzduchu	$T_1$ standardní atmosférická teplota vzduchu
2	$p_2 = p_1 \cdot \varepsilon^\kappa$	$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}$
23	$p_{23} = p_2 \cdot \theta = p_1 \cdot \varepsilon^\kappa \cdot \theta$	$T_{23} = T_2 \cdot \theta = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \theta$
3	$p_3 = p_{23}$	$T_3 = T_{23} \cdot \beta = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \theta \cdot \beta$
4	$p_4 = p_3 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{\beta}\right)^{-\kappa}$	$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{\beta}\right)^{1-\kappa}$
5	Hodnoty totožné s bodem 1	Hodnoty totožné s bodem 1

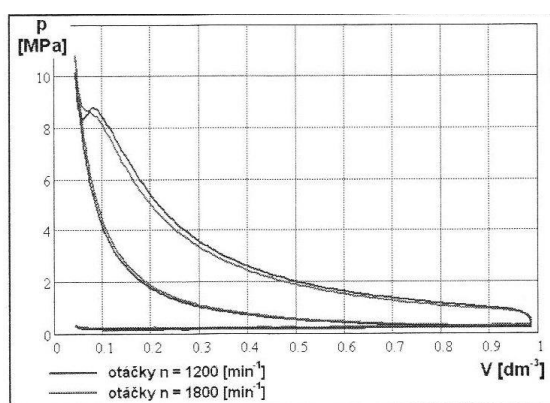
Zdroj: HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory. Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0

Obr. 4 p-V diagram teoretického oběhu nepřehřívajícího vznětového motoru

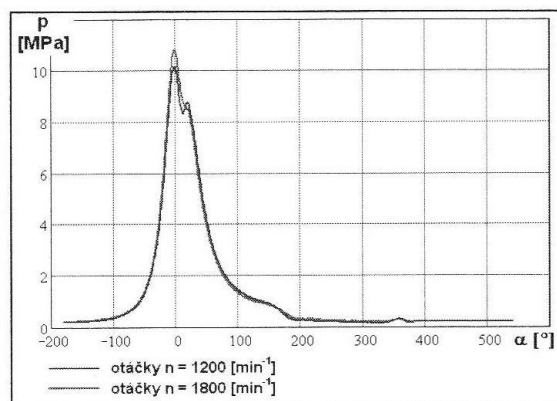


Zdroj: HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory*. Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0

Obr. 5 p-V diagram skutečného oběhu motoru Avia D432.100



Obr. 6 p-α diagram skutečného oběhu motoru Avia D432.100



Zdroj k Obr.5 a k Obr.6 : HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory*. Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0

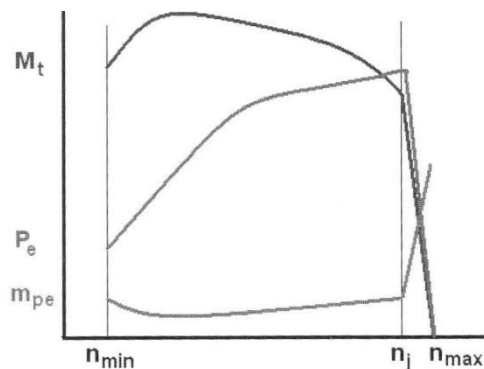
#### 2.4. Charakteristiky vznětových motorů:

Charakteristikou pístového spalovacího jsou nazývána grafická znázornění vzájemných závislostí vybraných provozních veličin motoru v soustavě pravoúhlých souřadnic. [2]

##### 2.4.1. Otáčková charakteristika:

Jmenovitá otáčková charakteristika vznětového motoru je charakterizována tím, že ovládací páka vstřikovacího čerpadla je nastavena na maximální dávku paliva a motor dosahuje při jmenovitých otáčkách  $n_j$  jmenovitého výkonu. Přechod na jiný otáčkový režim práce motoru je tedy řízen výhradně změnou brzdného momentu. V materiálech výrobců jsou nejčastěji uváděny průběhy výkonu motoru  $P_e$ , točivého momentu  $M_t$  a měrné efektivní spotřeby paliva  $m_{pe}$ . Otáčky  $n_{min}$ , tedy minimální provozní otáčky, určují otáčkový režim, při němž může motor dlouhodobě pracovat s plnou dávkou paliva. [2]

Obr. 7 Jmenovitá otáčková charakteristika vznětového motoru



Zdroj: HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory*. Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0

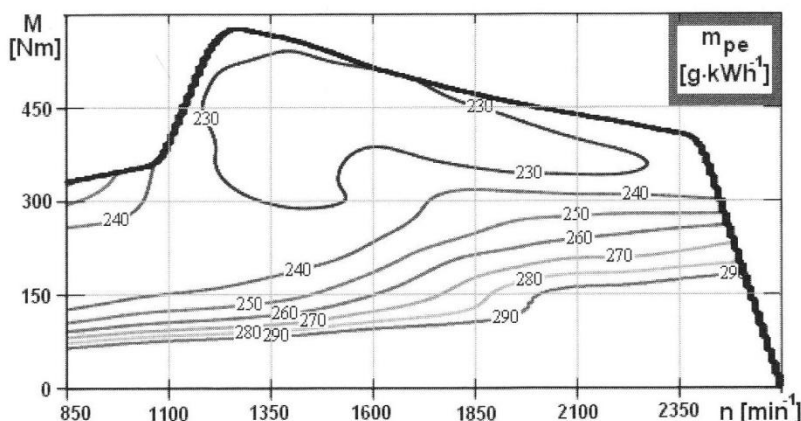
##### 2.4.2. Zatěžovací charakteristika:

Zatěžovací charakteristika znázorňuje závislost vybraných parametrů motoru na jeho zatížení při konstantních otáčkách klikové hřídele motoru. Zatížení motoru charakterizuje střední efektivní tlak  $p_e$  [MPa], točivý moment  $M_t$  [Nm] nebo výkon motoru  $P_e$  [kW]. Sledují se měrná efektivní spotřeba paliva  $m_{pe}$  [g.kW.h<sup>-1</sup>], jednotlivé složky emisí, případně teplota výfukových plynů  $t_v$  [K] a další. [2]

##### 2.4.3. Celková (úplná) charakteristika:

Celková charakteristika se nezjišťuje přímým měřením, ale vynáší se na základě soustavy otáčkových nebo zatěžovacích charakteristik. Celková charakteristika umožňuje stanovení takového pracovního režimu motoru, který má pro požadovaný výkon nejmenší měrnou efektivní spotřebu paliva, a tudíž je i neekonomičtější. [2]

Obr. 8 Celková charakteristika měrné spotřeby paliva motoru Avia D432.100



Zdroj: HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory*. Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0

## 2.5. Tvorba směsi vznětového motoru:

Ve vznětových motorech se spaluje motorová nafta. Ta se může smísit se vzduchem až v okamžiku jejího vznícení, které je přitom vyvoláno teplotou vzduchu, který je ohřátý velmi vysokou kompresí. Před spalováním se nesmí vytvořit homogenní směs jako u zážehového motoru, jinak by následkem okamžitého vzplanutí směsi v celém spalovacím prostoru vznikly nepřijatelně vysoké tlaky. [3]

Rozlišujeme dva základní spalovací prostory vznětových motorů, a to dělený a nedělený spalovací prostor. V současnosti se používá pouze nedělený spalovací prostor u vozidel s přímým vstřikováním paliva. Dělený spalovací prostor (komůrkové motory) se dříve používal zejména u osobních automobilů, a to z důvodu tiššího a měkčího chodu motoru. [2]

Co se týče způsobu tvorby směsi, existují dva způsoby, a to objemový a termický:

### **Objemový způsob:**

Tento způsob tvorby směsi motorové nafty se vzduchem je založen na tom, že celý objem spalovacího prostoru je vyplněn jemně rozprášeným palivem za podmínky, že palivo nemá dopadat na stěny spalovacího prostoru. Této podmínky je dosaženo přímým vstřikováním paliva do neděleného spalovacího prostoru tryskou s mnoha otvory. [2]

### **Termický způsob:**

Termický způsob tvorby směsi se vyznačuje tím, že se palivo vstřikuje do spalovacího prostoru tryskou s jedním nebo dvěma otvory tak, aby se rozteklo po stěně spalovacího prostoru v tenkém filmu. Přívodem tepla ze stěny spalovacího prostoru do palivového filmu



dochází k postupnému odpařování, tedy páry paliva se mísí se vzduchem a vytváří směs, která postupně hoří. Tento způsob tvorby směsi se používá u motorů s děleným spalovacím prostorem (komůrkové motory), a dále pak u motoru s neděleným spalovacím prostorem, s tzv. „M-způsobem“ tvorby směsi. [2]

Jak již bylo uvedeno, rozlišuje dělený a nedělený spalovací prostor, s tím úzce souvisí vstřikování motorové nafty, a nepřímé vstřikování a přímé vstřikování.

#### 2.5.1. Nepřímé vstřikování do vírové komůrky (dělený spalovací prostor):

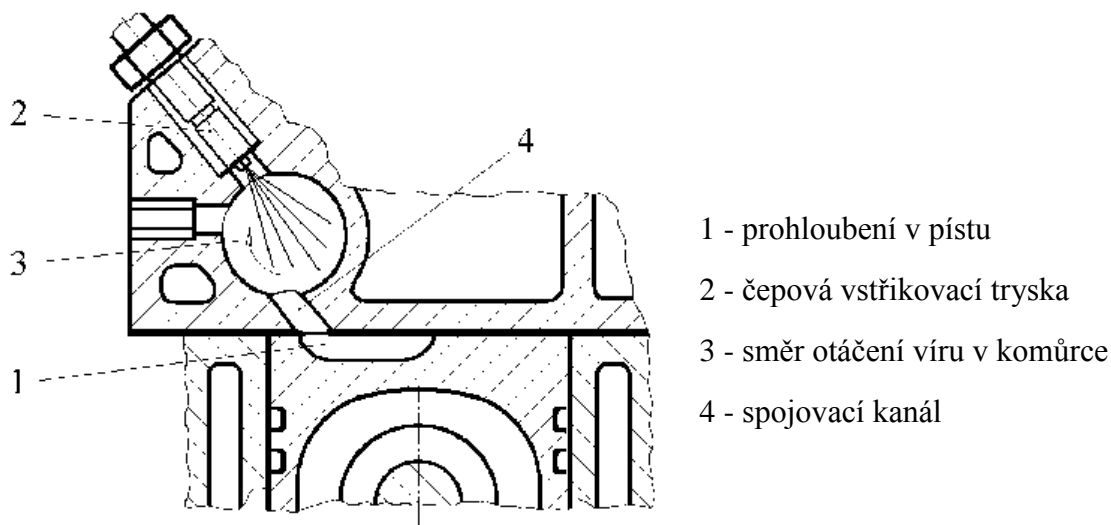
U nepřímého vstřikování se palivo nevstřikuje přímo do hlavního spalovacího prostoru, ale do jeho oddělené části. Ve vznětových motorech osobních automobilů je to vírová komůrka. Objem této komůrky je 25 až 40 % objemu spalovacího prostoru. Vstřikovací čepová tryska je v komůrce. Otevírací tlak čepových trysek bývá 10 až 14 MPa, pro to nemusí být tlak paliva přiváděného k tryškám tak vysoký jako v případě přímého vstřikování. Směs paliva se vzduchem se v komůrce vytváří hlavně účinkem víru nasátého vzduchu a tvorbu směsi podporuje vhodný tvar kužele vstřikovaného paliva. [3]

Vír vzduchu v komůrce vzniká v průběhu kompresního zdvihu, kdy je vzduch do komůrky vtlačován jejím tangenciálním kanálem. V komůrce je vysoká teplota, která zkrátí prodlevu vznícení paliva. Vysoká teplota a nedostatečné množství kyslíku vyvolají krakování paliva. Krakování spolu s nedostatkem kyslíku vedou k pomalému a neúplnému spalování v komůrce. [3]

Stoupnutím tlaku v komůrce se její celý obsah vytlačí velkou rychlostí do hlavního spalovacího prostoru, kde se spalování dokončí. V hlavním spalovacím prostoru vznikají silné víry a krakované palivo shoří bez sazí. [3]

V porovnání se s motory s přímým vstřikem paliva se vyznačují tišším a měkčím chodem, způsobeným pomalejším nárůstem tlaku nad pístem. Z tohoto důvodu, přestože mají vyšší spotřebu paliva, převládalo jejich využití u osobních automobilů (v současné době se již nevyrábějí). Vyšší měrná spotřeba paliva, která je zásadní nevýhodou komůrkových motorů, je mimo jiné způsobena většími tepelnými ztrátami velkým a členitým povrchem spalovacího prostoru. Výhodou je, že pro vstřikování je možné využít jednodotvorové trysky s nižšími otvíracími tlaky, tudíž nevzniká nebezpečí ucpání nebo karbonizace poměrně velkého výtokového průřezu a nároky na vstřikovací soustavu jsou nižší. [2]

Obr. 9 Nepřímé vstřikování motorové nafty



Zdroj: FERENC, Bohumil. *Spalovací motory*. 3 vyd. Brno : Computer Press, 2009.  
ISBN 978-80-251-2545-8

#### 2.5.2. Přímé vstřikování nafty do spalovacího prostoru (nedělený spalovací prostor):

U vznětových motorů s přímým vstřikováním motorové nafty je spalovací prostor většinou proveden jako souvislé prohloubení, přičemž vstřikovací tryska je umístěna ve středu hlavy a vstřikuje palivo šikmo dolů do spalovacího prostoru. [3]

Používají se víceotvorové vstřikovací trysky až s dvanácti otvory, které jsou většinou souměrně uspořádány. Nejmenší průměr otvorů je 0,2 mm. Vrcholový úhel rozstříku může být až 180°. Otvory jsou provedeny v sedle kuželového ukončení jehly trysky. Při uzavřené trysce jehla utěsňuje přívod paliva k otvorům. [3]

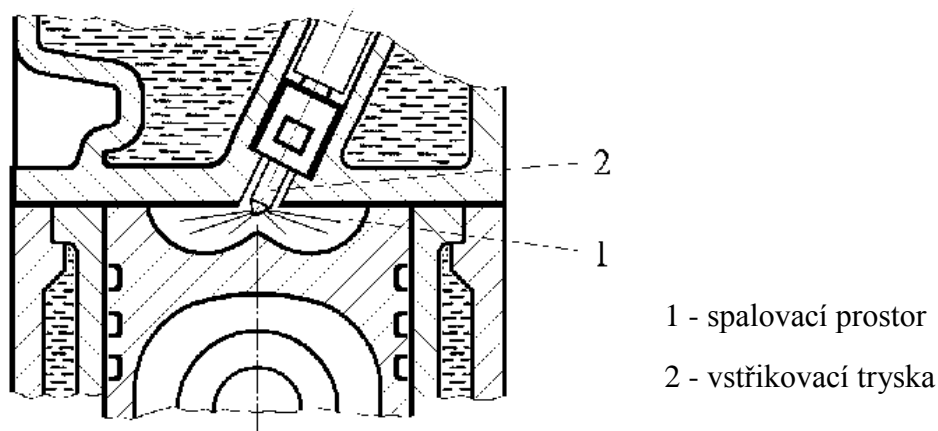
Otevírací tlak otvorových trysek je mezi 15 až 25 MPa a vstřikovací tlak čerpadla může vzrůst až na 100 MPa. Průměr a délka vstřikovacích otvorů trysky podstatně ovlivňují hloubku vniku paprsků paliva do spalovacího prostoru, a tím přispívají k řízení spalovacího procesu. [3]

Při vstupu do spalovacího prostoru se nasátý vzduch dostává do krouživého pohybu působením vhodně tvarovaného sacího kanálu, nebo clonami na sacích ventilech, případně úpravami spalovacího prostoru. Pohybem vzduchu je podporováno rovnoměrné rozdělení paliva v celém spalovacím prostoru. [3]

Motory s přímým vstřikováním paliva se vyznačují nižší měrnou efektivní spotřebou paliva, tedy ekonomičtějším provozem a snadnějším spouštěním motoru za nižších teplot v porovnání s motory komůrkovými. V současné době v podstatě úplně vytlačily motory s děleným spalovacím prostorem. V průběhu spalování vykazují tyto motory vyšší hlučnost a vibrace, což je způsobeno rychlejším nárůstem tlaku nad pístem. Přímý vstřik paliva také klade vyšší nároky na vstřikovací zařízení a jakost používaného paliva. To je

dáno tím, že dokonalost vytvořené směsi paliva se vzduchem je určována co nejjemnějším rozprášením paliva. Z toho důvodu jsou používány podstatně vyšší tlaky u víceotvorových trysek, jejichž malé vstřikové otvory se snáze ucpou nebo zakarbonují. Sklon těchto motorů k tvrdšímu chodu vede ke zvýšeným požadavkům na zkrácení průtahu vznícení, a tedy i k požadavku na vyšší hodnotu cetanového čísla použité motorové nafty. Požadavek na určitou minimální dobu potřebnou na přípravu směsi vstřikované nafty a vzduchu omezuje u motorů s přímým vstřikem maximální dosažitelné otáčky jmenovitého režimu. Se zvětšováním zdvihového objemu válce se jejich velikost snižuje. [2]

Obr. 10 Přímé vstřikování motorové nafty



Zdroj: [www.mjauto.cz](http://www.mjauto.cz)

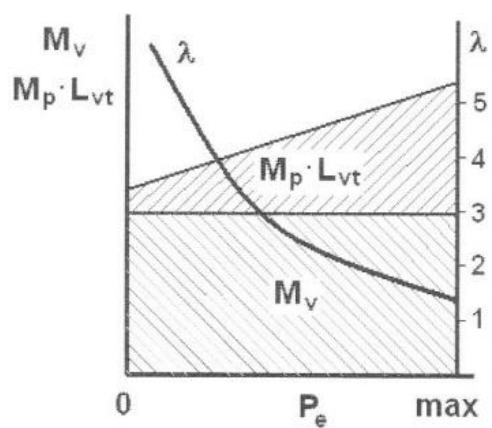
## 2.6. Regulace vznětového motoru:

Pro vznětové motory se využívá kvalitativní regulace pro nepřepřlňované vznětové motory a smíšené regulace pro přepřlňované vznětové motory.

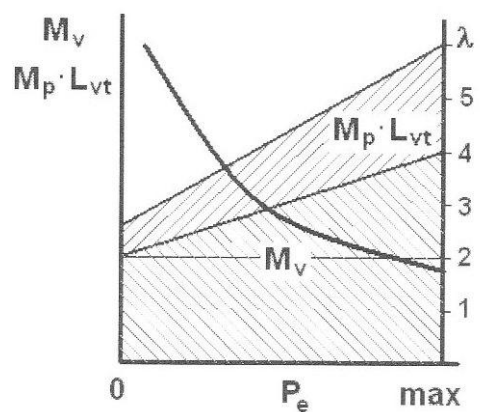
U **kvalitativní regulace** je střední efektivní tlak pracovního oběhu a tedy i výkon motoru řízen změnou bohatosti směsi, tedy mění se dávka paliva do konstantního množství vzduchu, takže hmotnostní naplnění válce vzduchem je při této regulaci prakticky konstantní. Kvalitativní regulace není vhodná pro přepřlňované vznětové motory, u kterých je smíšená regulace. [2]

U **smíšené regulace** je střední efektivní tlak pracovního oběhu a tedy i výkon motoru v určité oblasti zatížení řízen změnou bohatosti směsi, v jiné oblasti potom změnou hmotnostního naplnění válce. Oblast s proměnlivou bohatostí směsi je zpravidla určitým způsobem řízena i kvantitativně. Střední efektivní tlak oběhu u těchto motorů je řízen především změnou dávky paliva, tedy bohatosti směsi, současně se ale uplatňuje i změna hmotnostního naplnění válce účinkem přepřlňování. [2]

Obr. 11 Kvalitativní regulace



Obr. 12 Smíšená regulace



Zdroj k Obr.11 a k Obr.12 : HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory. Praha : Grada, 2011.  
ISBN 978-80-247-3475-0

### 3. Paliva pro vznětové motory

Nároky na vlastnosti paliva jsou u vznětového motoru velmi závislé na velikosti motoru, otáčkách a jeho určení. Proto pojem paliva pro vznětové motory zahrnuje mnoho ropných produktů, od nízkoviskózních destilátů označovaných u nás jako motorová nafta přes středně viskózní destiláty pro těžké motory lokomotivní až po těžká zbytková paliva námořních lodí, která se spalují po předchozím čištění a zahřátí ve složitém palivovém hospodářství, které je součástí příslušenství motoru. [4]

#### 3.1. Motorová nafta:

Motorová nafta je považována za jeden z nejdůležitějších produktů ropných rafinérií. Z hlediska výroby ji můžeme zařadit mezi střední ropné destiláty. Získává se destilací ropy a dalšími navazujícími technologickými procesy jako jsou hydrogenační rafinace, hydrokrakování, katalytické krakování atp. Motorovou naftu můžeme zjednodušeně charakterizovat jako složitou směs převážně ropných uhlovodíků s 12 až 22 atomy uhlíku vroucích v rozmezí cca 180 až 370 °C. Aby tato směs byla použitelná jako motorové palivo, musí splňovat celou řadu kvalitativních ukazatelů, které jsou u všech výrobců předmětem pečlivé výstupní kontroly. [5]

##### 3.1.1. Vlastnosti motorové nafty:

Jednou z předností motorové nafty je v porovnání s benzínem mnohem menší nebezpečí vzniku požáru při manipulaci. Z motorové nafty se neuvolňuje ani za nejvyšších letních teplot tolik par, aby byly schopny zapálení. Množství par se kontroluje jedním z jakostních parametrů motorové nafty, bodem vzplanutí. Ten se stanoví zahříváním vzorku nafty v předepsaném kelímku předepsanou rychlostí a občasným přibližováním malého plaménku nad hladinu vzorku. Teplota, při které vyvíjející se páry vzplanou a opět zhasnou, se označuje jako bod vzplanutí. U zimního druhu je to nejméně 40 °C, u letního 45 °C, a do této teploty tedy není u motorové nafty nebezpečí požáru, ani výbuchu. [4]

Pro motorovou naftu, na rozdíl od benzínu, není přepsán začátek destilační křivky, protože požadavek na bod vzplanutí vlastně určuje, jak lehké podíly mohou být v motorové naftě obsaženy, a tím je nepřímě určen i začátek destilace. Jelikož ani motor nepotřebuje, aby se palivo odpařovalo při nízké teplotě, není jeho přesné určení účelné. Zato velmi přesně a přísně je kontrolován a předepsán konec destilační křivky, protože ten má přímý vliv na čistotu motoru. Zkouškami i v praxi se ukázalo, že s rostoucí teplotou konce destilace roste i množství úsad (karbonu), které se hromadí ve spalovacím prostoru. Navíc tato závislost je tím závažnější, čím vyšší jsou otáčky motoru a čím menší je jeho kompresní poměr. Tak tedy pro motory silničních vozidel je průměrná požadovaná teplota konce destilace 360 °C. Protože její stanovení činí jisté potíže, je požadavek zpravidla formulován tak, že se do teploty 360 °C musí predestilovat nejméně 95 % vzorku. Se zvyšujícím se výkonem motorů roste tlak na snížení této teploty na 350 °C i méně, nebo aby se do udané teploty predestilovalo více

procent. Tento požadavek vede ke zmenšení výtěžku ze zpracovaného množství ropy, a tak se střetává technický zájem se zájmem ekonomickým. [4]

Motorová nafta je vstříkována v kapalném stavu do stlačeného horkého vzduchu, přičemž se požaduje, aby v ní za těchto podmínek proběhly co nejrychleji řetězové radikálové reakce vedoucí k rychlému vzrůstu teploty a vznícení. Pro snadnější představu dějů ve válci rozdělujeme proces po vstříknutí nafty na 3 fáze:

Nejprve probíhá fáze fyzikální, při níž se rozprášené kapky nafty ohřejí a z části odpaří. Teplo je při tom pohlcováno. [4]

Ve druhé fázi, fázi chemických reakcí, reagují odpařené podíly nafty s kyslíkem ze vzduchu za vzniku mnoha meziproductů a radikálů. Přitom je již uvolňována část chemické energie nafty, uvolňuje se teplo, jímž se odpařují další podíly, a rozsah reakcí, a tím i uvolňovaného tepla roste stále rychleji, až teplota dostoupí takové výše, že dojde ke vznícení a děj vstoupí do třetí fáze, zvané oxidace v plameni. [4]

První a druhá fáze potřebují ke svému průběhu určitý čas, který se nazývá prodleva nebo průtah vznícení. Doba průtahu vznícení má význam pro běh motoru a je ovlivněna řadou okolností. [4]

Je-li prodleva dostatečně krátká, proběhne první podíl vstříknuté nafty první a druhou fází dříve, než je skončen vstřík. Další podíly jsou již tedy vstříkovány do hořícího prostředí, nafta odhořívá postupně a také postupně roste tlak ve spalovacím prostoru a chod motoru je měkký. [4]

Při dlouhé prodlevě vzplane nafta až tehdy, kdy už je vstříknuto celé množství, čímž nastane prudký nárůst tlaku a tvrdý chod motoru. Délku prodlevy ovlivňují parametry motoru, zejména kompresní tlak, teplota, jemnost rozprášení a intenzita víření vzduchu ve spalovacím prostoru. Čím větší je teplota a tlak, čím jemnější je rozprášení a čím je intenzivnější víření, tj. míšení se vzduchem, tím kratší je prodleva. [4]

Za stejných ostatních podmínek závisí však doba prodlevy také na chemickém složení ropy. Nejkratší prodlevu vykazují n-alkany, horší jsou cykloalkany a nejdelší prodlevu mají aromatické uhlovodíky a izoalkany. Proto jsou upřednostňovány nafty s velkým obsahem n-alkanů, naftám z rop parafinických. [4]

Pro stanovení cetanového čísla slouží stejný jednoválcový motor jako pro stanovení oktanového čísla u benzínu, avšak v případě stanovení cetanového čísla je motor opatřen hlavou pro přímý vstřík paliva. Stejně jako v případě určování oktanového čísla u benzínu, je cetanové číslo určeno podílem dvou látek, Cetanu s cetanovým číslem 100 charakterizujícím krátkou prodlevu vznícení, a heptamethylnonanu s cetanovým číslem 0 charakterizujícím velmi dlouhou prodlevu vznícení. [2]

Opět se hledá ekvivalentní směs, a obsah cetanu v ní se číselně rovná cetanovému číslu. U moderních druhů nafty je cetanové číslo mezi 45 a 55 jednotkami. Závislost mezi parametry motoru a cetanovým číslem je mnohem méně definována než u benzínu, a proto také cetanové číslo není tak zřetelným jakostním parametrem nafty, což je dáno tím, že motoru nesvědčí příliš malé cetanové číslo, ale ani příliš velké. Při velmi krátké prodlevě nastává hoření velmi brzy, a tedy blízko trysky, která se tím nadměrně zahřívá, a kromě toho také dochází k nedokonalému spalování, protože let paliva od trysky měl příliš krátkou dráhu, a tak

nenastalo dostatečné promísení se vzduchem. To a některé jiné okolnosti jsou příčinou, že problém tvrdého chodu naftového motoru byl řešen hlavně konstrukcí motoru a zajištěním dostatečně vysoké teploty spalovacího prostoru, takže nárok na cetanové číslo zůstává na hodnotě okolo 50, což je hodnota bez velkých obtíží dosažitelná zpracováním parafinických rop, jak již bylo dříve uvedeno. [4]

Velmi důležitou vlastností motorové nafty je její chování za nízkých teplot. Už od počátku jejího používání byly na trhu k dispozici dva druhy motorové nafty – letní a zimní, které se lišily svým bodem tuhnutí. Časem se však ukázalo, že bod tuhnutí charakterizuje chování motorové nafty za nízkých teplot zcela nedostatečně, a proto se zaváděly další parametry, které by měly lepší vypovídací schopnost. Tak se v 60. letech spolu s bodem tuhnutí objevil bod zákalu, tj. teplota, při které se začnou vylučovat první krystalky pevných parafinů. Nicméně ani tato kombinace nepopisovala chování motorové nafty za nízkých teplot dostatečně, a tak byl od druhé poloviny 70. let bod zákalu nahrazen bodem filtrovatelnosti, což je nejnižší teplota, při které zkoušená motorová nafta ještě prochází přes sítko s přesně definovanou velikostí ok. V polovině 90. let se od bodu tuhnutí zcela upustilo a u zimní motorové nafty se spolu s bodem filtrovatelnosti udává bod zákalu. [5]

Z hlediska ochrany životního prostředí se v západní Evropě i v Československu se v 70. letech dostala do popředí otázka obsahu síry v motorové naftě. Obsah síry v motorové naftě vyráběné v československých rafinériích se začal razantně snižovat z původních hodnot 0,5 % přes 0,25 % až na hodnotu 0,15 % v roce 1987. Zde je třeba podtrhnout, že Československo se tak z hlediska obsahu síry v motorové naftě zařadilo mezi přední evropské státy. Od roku 1995 byla v ČR zavedena hodnota obsahu síry v motorové naftě max. 0,05 %, což bylo s více než ročním předstihem oproti EU. Obsah síry se snižuje i nadále a v současné době se vyrábí motorová nafta s obsahem síry max. 50 resp. 10 mg/kg. [5]

Z hlediska aplikace rozeznáváme dva druhy sirných sloučenin v naftě. Aktivní síra se projevuje aktivním napadáním kovů, a je v hotovém výrobku nepřijatelná. Síra inaktivní se neprojevuje korozivně v motorové naftě, ale spaluje se na oxid siřičitý a oxid sírový. Ty odcházejí s výfukovým plynem společně s vodní párou vzniklou spálením a s ostatními produkty. Při styku s chladnější kovovou plochou vodní pára kondenzuje a ve vodě se oba oxidy síry rozpouštějí za vzniku stejnojmenných kyselin, které ovšem způsobují intenzivní korozi. Navíc přítomnost oxidu sírového zvyšuje rosný bod výfukového plynu, takže ke kondenzaci vody dochází již při teplotě několika stupňů nad bodem varu vody. Nebezpečí koroze motoru je tím větší, čím je větší pravděpodobnost, že se výfukový plyn setká s kovovou plochou chladnější než je rosný bod. Nejméně jsou tedy ohroženy motory trvale pracující pod velkým zatížením, jako jsou motory lodní, stacionární apod. V současné době je však obsah síry v motorové naftě velmi malý, a tak jsou škody působené korozí zanedbatelné, případně se skrývají v obecném opotřebování motoru, a nezkracují zřetelně jeho životnost. [4]

### 3.1.2. Druhy motorové nafty:

V České republice se stejně jako ve většině ostatních států EU distribuuje motorová nafta s rozdílnými nízkoteplotními vlastnostmi v závislosti na ročním období. Pro úpravu těchto vlastností na požadovanou úroveň se široce využívá celá škála aditiv různých renomovaných firem. [6]

Období pro jednotlivé třídy motorové nafty jsou následující:

- letní motorová nafta - pro mírné klima třídy B v období od 15. 04. do 30. 09. s filtrovatelností nižší než 0 °C
- přechodová motorová nafta - pro mírné klima třídy D v období od 1. 3. do 14. 04. a od 1. 10. do 15. 11. s filtrovatelností nižší než -10 °C
- zimní motorová nafta - pro mírné klima třídy F v období 16. 11. do 28. 02. s filtrovatelností nižší než -20 °C

[6]

Všechny tyto druhy se na čerpacích stanicích tankují stejnou výdejní pistolí a neliší se svým označením. [6]

Pro zajištění bezporuchového provozu vznětových motorů za silných mrazů se vyrábí tzv. *arktická motorová nafta* s filtrovatelností nižší než -32 °C a bodem zákalu nižším než -22 °C, která je některými distribučními společnostmi nabízena u vybraných čerpacích stanic např. v podhůří Krkonoš, na Šumavě a Vysočině. Stejný typ motorové nafty používají také např. ozbrojené složky. [6]

V zimním období se někdy můžeme setkat s motorovou naftou, která není zcela čirá, ale je do určité míry zakalená. Tento jev nemusí být nijak na závadu. Toto zakalení způsobily vzniklé krystalky parafinů. Ty jsou zpočátku malé a nebrání průchodu paliva palivovým systémem motoru. Průchodnost palivového systému se naruší až při poklesu teploty pod bod filtrovatelnosti, tj. pod teplotu, kdy vzniklé krystalky parafinů jsou natolik velké, že ucpou sítko vstřikovacího čerpadla. K ucpání sítko vlivem vyloučených parafinů může ale dojít i při dlouhodobém stání motorové nafty za teplot nižších než bod zákalu blížících se bodu filtrovatelnosti, kdy může dojít k nasátí usazených parafinů. Zimní motorová nafta distribuovaná na českém trhu má bod zákalu obvykle nižší než -8 °C a filtrovatelnost nižší než -20 °C, její skutečná operabilita se pohybuje okolo -17 °C. [6]



Tab. 2 Motorová nafta - vybrané ukazatele dle ČSN EN 590

Ukazatel	Jednotka	Motorová nafta			
		třída B	třída D	třída F	třída 2
Hustota při 15°C	kg/m <sup>3</sup>	820,0 – 845,0	820,0 – 845,0	820,0 – 845,0	800,0 – 840,0
Cetanové číslo		min. 51,0	min. 51,0	min. 51,0	min. 48,0
Obsah síry	mg/kg	max. 10,0	max. 10,0	max. 10,0	max. 10,0
Viskozita při 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2,00 – 4,50	2,00 – 4,50	2,00 – 4,50	1,50 – 4,00
Bod vzplanutí	°C	nad 55	nad 55	nad 55	
<b>Destilační zkouška</b>					
při 180°C předest.	% (V/V)				max. 10
při 250°C předest.	% (V/V)	<65	<65	<65	
při 340°C předest.	% (V/V)				min. 95
při 350°C předest.	% (V/V)	min. 85	min. 85	min. 85	
95% (V/V) předest.	°C	max. 360	max. 360	max. 360	
Filtrovatelnost CFPP	°C	max. 0	max. -10	max. -20	max. -32
Období dle klimatických podmínek		mírné klima	mírné klima	mírné klima	arktické klima
		15.04.-30.09.	01.10.-15.11.	16.11.-28.02.	
			01.03.-14.04.		
Obsah metylesterů mastných kyselin (FAME)	% (V/V)	max. 7,0	max. 7,0	max. 7,0	

Zdroj: <https://www.ceproas.cz/nafta-motorova>

V praxi se kromě běžné motorové nafty podle normy EN 590 můžeme setkat ještě se směsnou motorovou naftou podle normy ČSN 65 6508 označovanou jako SMN30, obsahující nejméně 30 % objemových FAME, nebo čistou bionaftou (FAME, B100) podle normy EN 14214. Pro provoz na tato motorová paliva je vyžadováno schválení výrobce příslušného vozidla. Vzhledem k vyššímu podílu biosložky jsou tato motorová paliva citlivější na podmínky skladování. Pro SMN 30 je doporučená doba použitelnosti 2 měsíce, pro B100 pak 1 měsíc. [7]

#### 4. Emise vznětového motoru

Přestože spalovací pístové motory nejsou nejvýznamnější z globálních znečišťovatelů životního prostředí, patří k hlavním rozhodně z hlediska lokálního, čímž je myšleno např. prostředí lidských sídlišť. Z bezprostředního a citelného působení poměrně rozptýlených spalovacích motorů, na rozdíl od koncentrované těžké energetiky, je od 60. let 20. století ve vyspělých zemích věnována značná pozornost této stránce provozu spalovacích motorů. Je tedy zapotřebí věnovat se podrobněji této problematice využívání spalovacích motorů, která při hodnocení motoru oprávněně vystupuje do popředí, a v rozvinutých zemích již přímo rozhoduje o vhodnosti či přípustnosti použití určitých výrobků. [8]

Škodlivé emise vznikající provozem vozidla lze rozdělit na:

- Chemické emise - emise ze spalovacích procesů
- emise z nespalovacích procesů
- Akustické emise - vibrace a hlukové emise [9]

Emise ze spalovacích procesů jsou výsledkem oxidační reakce (hoření) uhlovodíkových paliv se vzduchem uvnitř spalovacího prostoru motoru. Složení emisí je závislé na kvalitě pohonných hmot, typu a stavu motoru. Výfukové plyny obsahují značné množství chemických látek v různých koncentracích. Ty opouštějí spalovací prostor nejen výfukovým potrubím, ale také odvětráváním klikové skříně. Tyto emise mají neblahý vliv na zdraví lidí, zvířat a životního prostředí. [9]

Emise z nespalovacích procesů vznikají například obrušováním namáhaných součástí vozidla jakými jsou ku příkladu brzdové a spojkové obložení. Při tomto procesu se do ovzduší uvolňuje měď (Cu), antimon (Sb), Baryum (Ba), zinek (Zn), hořčík (Mg), kadmium (Cd), molybden (Mo) a další. Mezi významně opotřebovávané součástky patří také pneumatiky, které jsou zdrojem zinku, železa, vápníku a elementárního uhlíku. Všechny ty částice ulpívají na povrchu vozovky či v její blízkosti, a do ovzduší se dostávají vlivem proudění vzduchu iniciovaného projíždějícími vozidly nebo vířením proudícího větru. Vozový prach obsahuje zejména částice větších frakcí, které se skládají ze zmíněného provozu automobilů, geologického původu z okolí vozovky (Ca, Mg) a dále pak z částic posypového materiálu silnic v zimním období (sůl, štěrk, písek). Nevýhodou emisí z nespalovacích procesů je fakt, že zatímco spalovací emise se s obnovou vozového parku snižují, emise nespalovací zůstávají na stejné úrovni a se vzrůstající intenzitou dopravy se budou zvyšovat. [9]

Akustické emise se skládají z vibračních a hlukových emisí. Jedná se o další faktory, které negativně ovlivňují životní prostředí a zdraví lidí. Vibrace a hluk spolu úzce souvisí. Při nižších rychlostech automobilu je hlavním zdrojem hluku pohonná jednotka, kdežto při vyšších rychlostech převládá hluk a vibrace plynoucí z valení pneumatik po vozovce.

Dlouhodobým působením (v řádu let) akustických emisí na člověka mu tyto emise způsobují psychické poruchy jakými jsou např. poruchy spánku, soustředění, únavu, dále pak fyzická onemocnění (nádorová onemocnění, cukrovku, vředy žaludku apod.). [9]

Dále se budeme podrobně zabývat emisemi ze spalovacích procesů.

#### 4.1. Složení výfukových plynů vznětového motoru:

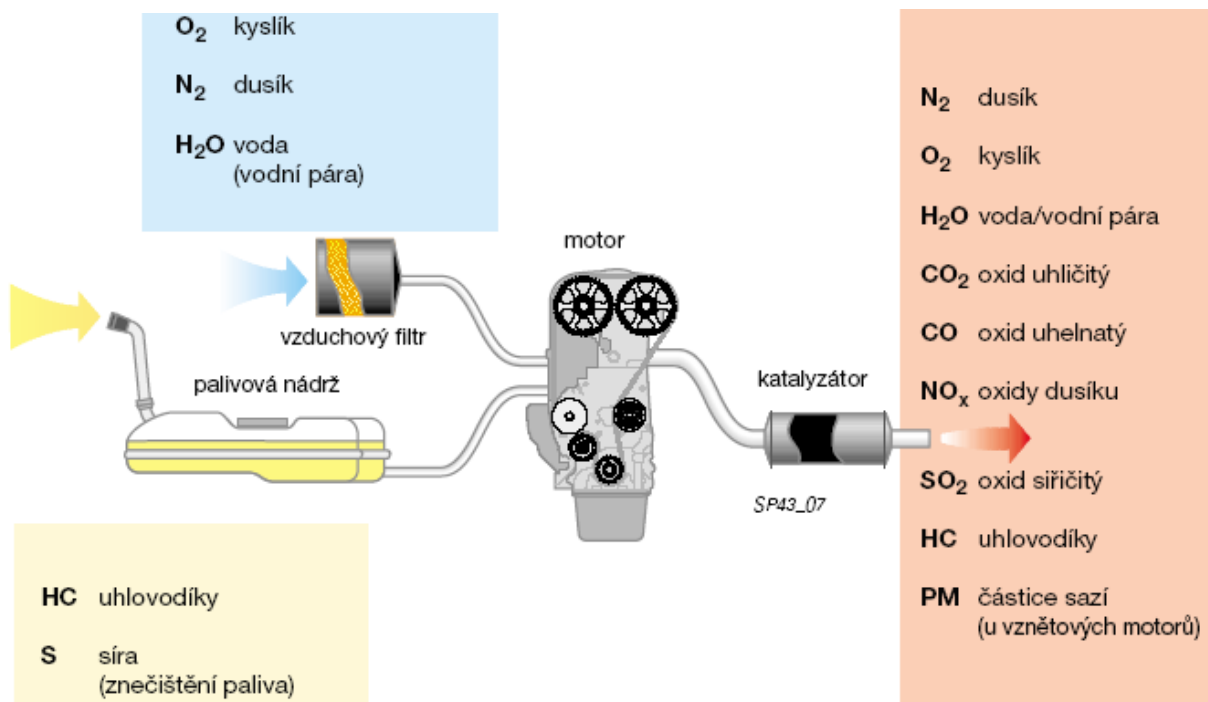
V případě dokonalého spalování by výfukové plyny obsahovaly pouze oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a vodu v plynném stavu ( $\text{H}_2\text{O}$ ), tedy složky, které nejsou zdraví škodlivé. Jelikož spalování v motorech dokonalé není tak mimo  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  výfukové plyny obsahují určité množství oxidu uhelnatého ( $\text{CO}$ ), oxidů dusíku (sloučenin kyslíku a dusíku ze spalovaného vzduchu označovaných  $\text{NO}_x$ ), nespálených uhlovodíků ( $\text{HC}$ ), oxidů síry a dalších složek. Mnohé z těchto složek jsou považovány za zdraví škodlivé, a proto je úroveň jejich emisí stanovena mezinárodními normami. [3]

Vznětové motory pracují s přebytkem vzduchu, takže podíl oxidu uhelnatého ( $\text{CO}$ ) je u nich až o řád nižší než u motorů zážehových. Vznětové motory mají emise  $\text{NO}_x$  cca 10x až 20x nižší než motory zážehové, což je dáno vysokými tlaky ve spalovacím prostoru. Tvorba oxidů dusíku závisí na teplotě, tlaku, době hoření a koncentraci kyslíku při spalování. Ve větší míře jsou ve výfukových plynech zastoupeny aldehydy. Ty nepatří přímo mezi jedovaté látky, ale způsobují nepříjemný zápach výfukových plynů. V motorové naftě je přípustný vyšší obsah síry než v automobilovém benzínu, a tudíž je ve výfukových plynech vznětových motorů i vyšší koncentrace oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ). [3]

Palčivým problémem výfukových plynů vznětových motorů je tvorba pevných částic a sazí. Saze se projevují tmavým zbarvením výfukových plynů. To je dáno nedokonalým shořením byť jen malého podílu paliva. Příčinou tvoření sazí je krakování nafty během spalování. Krakování je štěpení velkých molekul paliva. Ke krakování dochází při vysoké teplotě a velkém tlaku za nedostatku kyslíku. Spalování totiž začíná na povrchu kapiček vstříknutého paliva, na povrchu, kde mají teplo a kyslík přístup k palivu nejdříve. Zatímco vnější obal kapiček shoří, uvnitř je kyslíku nedostatek. Silným prouděním vzduchu je zapotřebí dostat uhlík dostatečně do styku s kyslíkem. Pokud se toto nepodaří, palivo už neshoří, za to formou sazí zbarvuje výfukové plyny do tmava. [3]

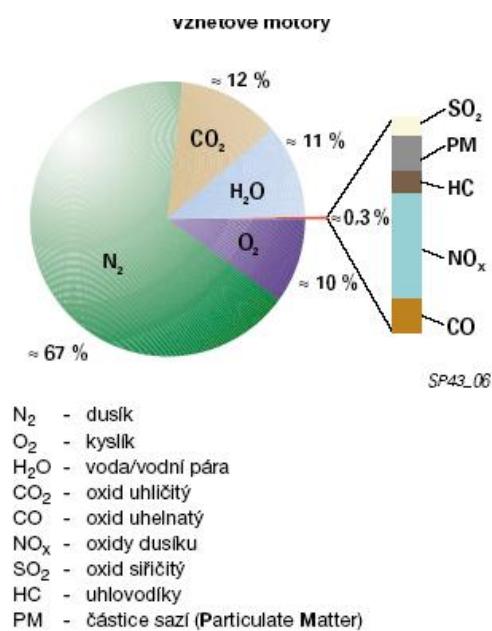
Škodlivé složky tvoří jen nepatrný zlomek celkového množství výfukových plynů, což je patrné z *Obr. 14*. Z části složek výfukových plynů mohou působením slunečního záření vznikat oxidanty (např. ozón, peroxylnitráty nebo organické peroxidy), které poškozují životní prostředí. Tyto škodlivé složky se redukuje, případně se jejich vzniku zcela zabráňuje, pomocí četných opatření přímo na motoru a nebo úpravami již vzniklých výfukových plynů.[10]

Obr. 13 Vstupní a výstupní složky procesu spalování



Zdroj: STEJSKALÍK, Jaromír. Snižování emisí škodlivin u vznětových motorů – Studijní opora. Krnov : Střední škola automobilní, mechanizace a podnikání, 2012

Obr. 14 Složení výfukových plynů vznětových motorů



Zdroj: STEJSKALÍK, Jaromír. Snižování emisí škodlivin u vznětových motorů - Studijní opora. Krnov : Střední škola automobilní, mechanizace a podnikání, 2012

#### 4.2. Popis škodlivých složek výfukových plynů:

Oxid uhelnatý CO je bezbarvý a bez zápachu. Rychle se váže na krevní barvivo hemoglobin a blokuje přenos kyslíku krví. Za zvýšené koncentrace nejedovatého CO<sub>2</sub> je účinek CO zvýšen. [8] Oxid uhelnatý se dále podílí na vzniku fotochemického (letního) smogu. [2]

Nespálené uhlovodíky mají velmi rozdílnou jedovatost. Alkany a alkeny nejsou nebezpečné, taktéž metan a etan, ty však bez zápachu. Aromatické polycyklické sloučeniny (PAH) jsou často karcinogenní, aldehydy jsou jedovaté a zapáchají. Aromatické polycyklické sloučeniny dráždivě působí na sliznice, podporují za spolupůsobení oxidů dusíku a ultrafialového záření přízemní tvorbu jedovatého a korozi působícího, silně oksylichujícího ozónu O<sub>3</sub>, ten především poškozuje zelené části rostlin. V horních vrstvách atmosféry působí spolu s CO<sub>2</sub>, CO a NO<sub>x</sub> skleníkový efekt. Mezi nespálenými uhlovodíky jsou i částečně oxidované deriváty, např. velmi jedovatý a dráždivý formaldehyd. [8]

Nespálené uhlovodíky ve výfukových plynech jsou výsledkem předčasně zastavených oxidačních reakcí v některých zónách spalovacího prostoru (nejčastěji při chladnějších stěnách válce) nebo vynecháním či poruchou spalování. [2]

Oxidy dusíku NO<sub>x</sub> Škodlivost oxidu dusnatého NO na živý organismus je vcelku nízká. Při setrvání v atmosféře dochází k jeho oxidaci na oxid dusičitý, jehož škodlivost závažnější. Při jeho vdechování se na stěnách sliznice tvoří kyselina dusičná HNO<sub>3</sub>, na níž dýchací soustava reaguje jako na začínající hoření, a automaticky přivírá přístup vzduchu do plic. Důsledkem toho je pocit dušení a nucení ke kašli. To nastává již při nízkých koncentracích, resp. krátkých expozičních dobách. Oxidy dusíky se významně podílejí na tvorbě letního smogu a na tvorbě kyselých dešťů. S rostoucím přebytkem vzduchu koncentrace NO<sub>x</sub> klesá vlivem zředění přebytečným vzduchem a poklesem spalovacích teplot. [2]

Oxidy síry jsou produkovány především vznětovými motory.[2] SO<sub>2</sub> je štiplavě páchnoucí, bezbarvý plyn. Silně napadá sliznice, potlačuje odolnost vůči infekcím. Tvoří kyselé deště, poškozuje především lesní porosty. [8]

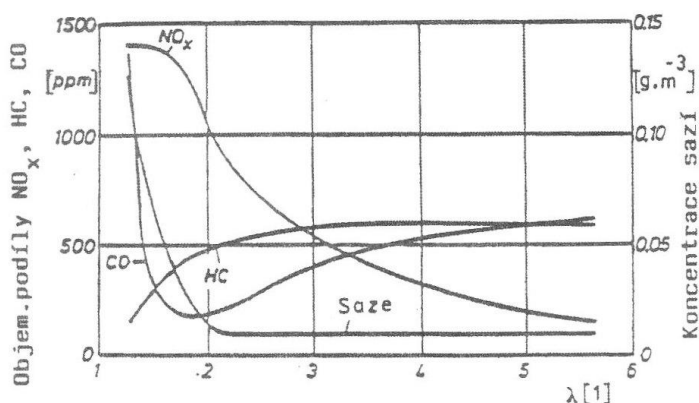
Podíl emisí oxidů síry, plynoucích ze spalovacích motorů je na celkovou produkci zanedbatelný. Jelikož obsah síry v motorové naftě neustále klesá, klesají i emise plynoucí ze vznětových motorů. [2]

Pevné částice (particulate matter) vznikají výhradně u vznětových motorů. Obsahují primární uhlík, organický uhlík a malé množství sulfátu, dusíku, vody a další neidentifikovatelné složky. Jádro částice se skládá z pevného uhlíku a popele. Krátkodobá expozice může způsobit podráždění oka, jícnu, průdušek, nucení ke zvracení a dýchací potíže. Chronická expozice může způsobit zánět a histopatologické změny v plicích. [2]

Primární uhlík se tvoří při spalování neodpařených kapek paliva v prostředí s vysokou teplotou a při extrémně nízkých lokálních hodnotách přebytku vzduchu. Je tedy zřejmé, že se zvětšováním celkového množství vzduchu se emise pevných částic snižuje. Dále emise pevných částí souvisí s kvalitou rozprášení paliva při jeho vstřikování do válce. [2]

Oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  není sice klasifikován jako škodlivá složka výfukových plynů, avšak v médiích je v souvislosti s automobily a dopravou často zmiňován, tudíž by v této práci neměl být opomíjen.  $\text{CO}_2$  je produkt dokonalé oxidace, a jeho přítomnost ve spalinách je důsledkem kvalitně uskutečněného spalovacího procesu. Jedná se o bezbarvý plyn, bez zápachu, velmi stabilní a málo reaktivní. Na lidský organismus působí škodlivě, až když jeho koncentrace ve vdechovaném vzduchu začne vytěšňovat kyslík.  $\text{CO}_2$  patří mezi tzv. skleníkové plyny, které způsobují vznik radiační clony, omezující sdílení tepla země s okolím. [2]

Obr. 15 Typické redukované emise škodlivin vznětového motoru v závislosti na přebytku vzduchu



Zdroj: MACEK, Jan. *Spalovací motory I. Praha : ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-031618-1*

#### 4.3. Emisní předpisy:

Prvním v Evropě platným předpisem byla směrnice EHK 15 zavedená v roce 1971 obsahující původně 4 městské cykly. Směrnice EHK 15 počítala s měřením obsahu oxidu uhelnatého (CO) a nespálených uhlovodíků (HC), později přibýlo měření oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ). V roce 1989 byla EHK 15 po mnoha přepracováních nahrazena vyhláškou EHK 83. V České republice vešla EHK 83 v platnost v roce 1991. EHK 83 se stala základem i pro dnes platné předpisy. Předpis EHK 83 doznal mnoha změn týkajících se zpřísnění limitních hodnot. Na počátku devadesátých let ve státech Evropské unie vychází nové emisní předpisy EURO, jejichž základem je EHK 83. V rámci sjednocování legislativy jsou tyto předpisy přijímány i v ostatních státech mimo Evropskou unii, kde nesou označení jako příslušná verze EHK 83. Limity emisí CO, HC,  $\text{NO}_x$  a pevných částic jsou stanovené specificky pro každou kategorii vozidel, a to v současnosti velmi přísně, na hranicích technické, technologické a ekonomické dosažitelnosti. [2]

Emise zmíněných škodlivin nejsou jedinými parametry, které jsou předmětem předpisů. Řada zemí vydala doporučení na spotřebu paliva. To souvisí s požadavkem na omezení emisí oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Ten je nejdůležitějším z tzv. skleníkových plynů, které mohou mít

vliv na klimatické změny. Jelikož CO<sub>2</sub> je nepostradatelným produktem spalování uhlovodíků, je jedinou cestou snížení spotřeby paliva. [3]

Průměrná úroveň emisí CO<sub>2</sub> v roce 2013 byla v Evropské unii u nových automobilů 127 g.km<sup>-1</sup>, limit pro rok 2015 byl 130 g.km<sup>-1</sup>, do roku 2021 mají emise dále poklesnout na 95 g.km<sup>-1</sup> za celý vozový park nových osobních automobilů. [11]

Tab. 3 EU standardní limity emisí pro osobní vozidla do 3,5 t

předpis	platnost	CO	HC	HC + NOx	NOx	PM
		g·km <sup>-1</sup>				
Diesel						
Euro 1	1992	2,72	–	0,97	–	0,14
Euro 2–IDI	1996	1	–	0,7	–	0,08
Euro 2–DI	1999	1	–	0,9	–	0,1
Euro 3	2000.01	0,64	–	0,56	0,5	0,05
Euro 4	2005.01	0,5	–	0,3	0,25	0,025
Euro 5	2009.09	0,5	–	0,23	0,18	0,005
Euro 6	2014.09	0,5	–	0,17	0,08	0,005

Zdroj: HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory*. Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0

#### 4.4. Opatření ke snížení emisí škodlivin u vznětových motorů:

##### 4.4.1. Opatření před motorem:

Pro tvorbu směsi ve válci je důležitý vhodný návrh plnicí soustavy motoru s vytvořením řízeného pohybu náplně válce, obvykle ve tvaru tečné rotace. Nižší energie vstřiku paliva do válce má za následek horší rozprášení paliva. U motorů s atmosférickým plněním je nižší rychlost nátoku vzduchu do válce, a tedy nižší turbulentní energie proudu. Proto je požadavek na optimální plnicí soustavu důležitý, a to i při nižším počtu vstřikovacích otvorů trysky, přičemž cílem je zajištění co nejkratší doby pro vhodné promísení paliva se vzduchem ve válci po vstřiku paliva a optimální průběh spalování. U přeplňovaných motorů se hledí na stupeň přeplnění a případně na mezichlazení plnicího vzduchu. [2]

##### 4.4.2. Opatření u motoru:

Způsob tvoření směsi již sám o sobě ovlivňuje emise škodlivin. U komůrkových motorů jsou zejména při malých přebytecích vzduchu nižší emise NO<sub>x</sub> v porovnání s motory s přímým vstřikem. To je dáno výraznějším vrstvením směsi a pomalejší rychlostí hoření. Významný vliv na emise škodlivin má úhel předvstřiku paliva. Pozdějším vstřikem paliva lze emise NO<sub>x</sub>, což je často využíváno pro splnění emisních limitů. Na druhou stranu se tím ale současně zvyšuje spotřeba paliva, stoupá kouřivost a emise CO. U přeplňovaných motorů je možné emise NO<sub>x</sub> snížit mezichlazením plnicího vzduchu. [2]

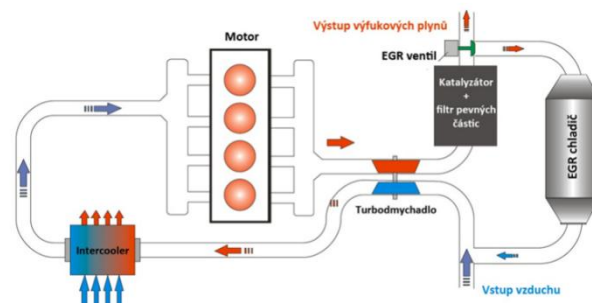
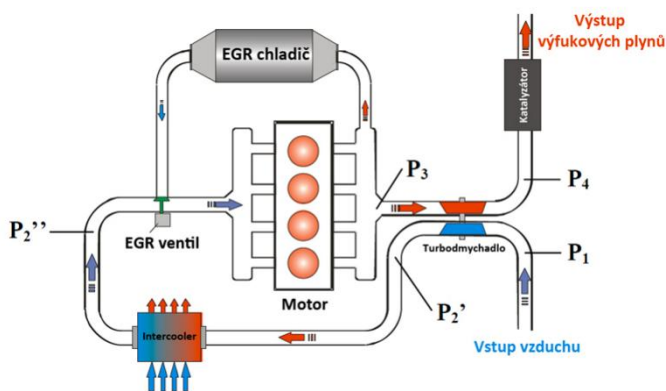
Protože u vznětového motoru není možné odstranit emise NO<sub>x</sub> v řízeném třicestném katalyzátoru, tak se pro splnění zákonných předpisů využívá převážně vnější recirkulace

výfukových plynů. Jejím cílem je snížení špičkových teplot spalování, čehož se dosahuje ochlazením recirkulovaného plynu. Další úlohou vnější recirkulace výfukových plynů je náhrada nadbytečného vzduchu s obsahem kyslíku inertním výfukovým plynem. Při nízkých zatíženích je možné recirkulovat velké množství výfukových plynů, avšak ne tak velké, aby směšovací poměr překročil hranici kouřivosti. Nevýhodou je, že nemůžeme používat recirkulaci v oblasti plného zatížení, kde je bohužel produkce  $\text{NO}_x$  nejvyšší. Recirkulaci zprostředkovává EGR ventil spojující výfukové vedení se sacím. Dříve se množství recirkulovaného plynu řídilo tlakem plnicího vzduchu a protitlakem ve výfukovém systému. Dnes množství recirkulovaného plynu určuje řídicí jednotka. Postup je následující. Lambda sonda změří množství kyslíku ve výfukových plynech. Tuto informaci lambda sonda předá řídicí jednotce, a ta podle této informace nastaví množství recirkulovaného plynu, tlak plnicího vzduchu a okamžik vstřiku paliva. Tyto parametry ovlivňují emise vznětových motorů rozhodující měrou. [2]

Recirkulaci výfukových plynů je možné rozdělit na vysokotlakou a nízkotlakou. Vysokotlaký systém se používá nejčastěji, nízkotlaký se zatím zkouší, avšak lze očekávat jeho postupný rozvoj, neboť je ověřeno, že pomocí nízkotlaké recirkulace je možné splnit emisní limity Euro 6. Slabinou nízkotlaké recirkulace je nedostatečný tlakový spád. [12]

Obr. 16 Vysokotlaký systém EGR

Obr. 17 Nízkotlaký systém EGR



Zdroj k Obr. 16 a Obr. 17: BAZALA, Jiří. *Návrh EGR výměníku pro recirkulaci výfukových plynů* - Diplomová práce. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2011.

Na emise nespálených uhlovodíků (HC) má vliv provedení vstřikovací soustavy a trysky. Výhodné je umístění vstřikovacích otvorů do sedla trysky, čímž se může dosáhnout snížení emisí HC až o 75 %. Cílem je zmenšení škodného prostoru pod sedlem jehly trysky a zabránění dostřiku paliva po skončení výstřiku. [2]

Kouřivost motoru je ovlivněna především přebytkem vzduchu a rozprášením paliva při vstřiku do válce. Jemnějšího rozprášení se dosahuje vyššími vstřikovacími tlaky, které moderní vstřikovací soustavy umožňují. [2]

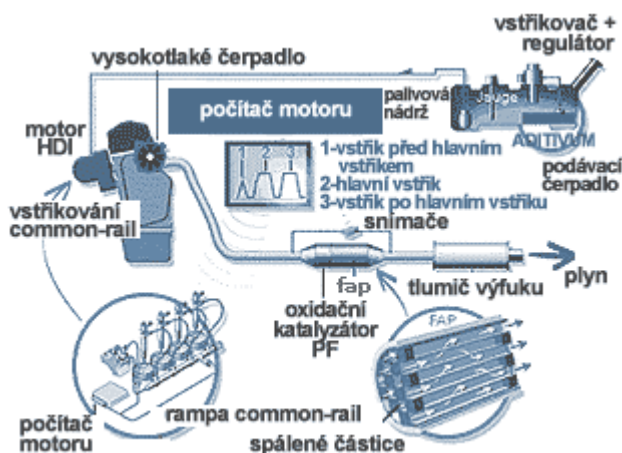


#### 4.4.3. Opatření za motorem:

Oxidační katalyzátor: Vznětové motory mohou s ohledem na přebytek vzduchu pracovat pouze s oxidačními katalyzátory, které snižují obsah oxidu uhelnatého (CO) a nespálených uhlovodíků (HC). Katalyzátorem jsou vrstvy platiny a paladia, které vyvolávají reakci nedokonalých produktů hoření s přebytečným kyslíkem. Tyto vrstvy jsou nanášeny na katalyzátorovém nosiči (keramický monolit nebo kovový článek s kanálky), který poskytuje značnou plochu potřebnou k vysoké účinnosti katalyzátoru. [2]

Filtr pevných částic (FAP, DPF): Filtr pevných částic je umístěn za oxidačním katalyzátorem, a umožňuje snížení emisí pevných částic o více než 95 %. Filtr má porézní strukturu, kterou tvoří oxid křemičitý ( $\text{SiO}_2$ ), jenž mechanicky zachycuje částice při průchodu výfukových plynů tímto prostředím. Pro zachování funkčnosti filtru pevných částic je potřebná jeho pravidelná regenerace. Ta spočívá ve spalování zachycených částic. Regenerace proběhne, jestliže teplota výfukových plynů přesáhne  $550\text{ }^\circ\text{C}$ . Tak vysoké teploty se v normálním pracovním režimu motoru nedosahuje. Regenerace je řízena systémem vstřikování Common-Rail, díky němuž je teplota výfukových plynů zvyšována ve dvou fázích. V první fázi se po základním vstřiku paliva přidá ještě dodatečný vstřík, čímž se docílí následného hoření paliva ve válci, což má za následek zvýšení teploty o  $200\text{--}250\text{ }^\circ\text{C}$ . Ve druhé fázi je část nespálených uhlovodíků, vzniklých při dodatečném vstřiku, spalována v oxidačním katalyzátoru umístěném na vstupu do filtru. Tím se docílí dalšího zvýšení teploty výfukových plynů o  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Teplotu vypalování pevných částic lze snížit individuálním přidáním aditiva Eolys do motorové nafty. Toto aditivum snižuje teplotní limit spalování pevných částic na  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . K regeneraci filtru pevných částic dochází v závislosti na stupni zanesení automaticky každých  $400\text{--}500\text{ km}$ . Tento proces trvá 2-3 minuty. Činnost motoru tím není nijak dotčena. [2]

Obr. 18 Systém filtru pevných částic (FAP)



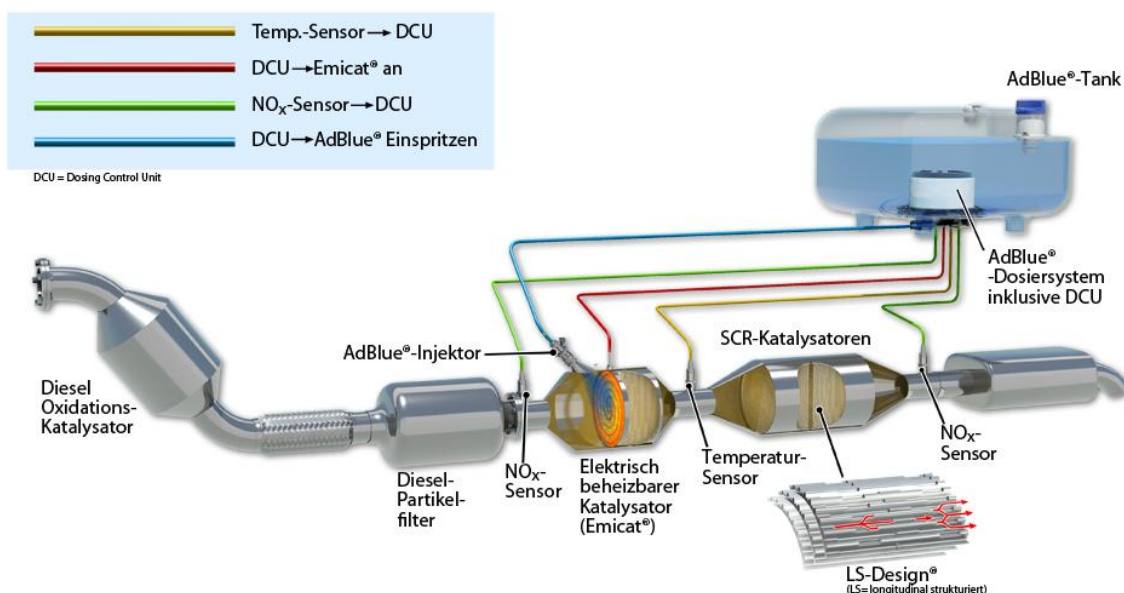
Zdroj: [http://dealers.peugeot.cz/minisites/inovace/envi\\_hdi\\_tec.php](http://dealers.peugeot.cz/minisites/inovace/envi_hdi_tec.php)

Selektivní katalytická redukce (SCR): Selektivní katalytická redukce se používá pro snížení emisí NO<sub>x</sub>. Existují dva způsoby. U prvního je redukčním činidlem sloučenina amoniaku, u druhého způsobu je redukčním činidlem „AdBlue“ složený z 32,5 % močoviny a 67,5 % vody. [2]

Firma Scania používá ke snížení emisí NO<sub>x</sub> prvního způsobu, tedy redukčním činidlem je sloučenina amoniaku. Ta se tvoří přímo ve výfukovém okruhu hydrolýzou z přidávaného redukčního prostředku k výfukovým plynům. Přidávaným redukčním prostředkem je roztok močoviny ve vodě. Tryska jej ve formě aerosolu vstříkne společně se vzduchem proti proudu výfukových plynů z SCR katalyzátoru.. Dále se spojí oxidy dusíku z výfukových plynů s amoniakem, čímž vznikne dusík a voda. [2]

Močovinový vstřikovací systém vyvinutý firmou Bosch využívá jako redukčního činidla nikoliv amoniak, nýbrž „AdBlue“, tedy roztok tvořený 32,5 % močoviny a 67,5 % vodou. Podle dat z motoru a katalyzátoru řídicí jednotka dávkuje tento redukční prostředek za všech okolností, přičemž zajišťuje optimální přeměnu NO<sub>x</sub> podle uceleného programového diagramu motoru. Výrobce uvádí snížení emisí NO<sub>x</sub> až o 85 %, až pětiprocentní pokles spotřeby paliva a redukci přibližně 40 % emisí pevných částic při kombinaci s katalyzátorem využívajícím proces SCR. [2]

Obr. 19 Proces selektivní katalytické redukce



Zdroj: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/scr-selective-catalytic-reduction/>

## 5. Aditivace motorové nafty

Aditivaci je možné dle aplikace rozdělit na tři okruhy:

- Aditivace u výrobce
- Modifikátory struktury parafinů
  - Antioxidanty a přípravky potlačující tvorbu úsad při skladování
  - Přísady pro zlepšení mazivosti
  - Antistatické přísady
  - Přísady zvyšující cetanové číslo

### Aditivace v distribuční etapě

Většina značkových firem nabízí paliva v nadstandardní kvalitě. Firmy používají své vlastní směsi přísad a jimi upravená paliva prodávají pod svou obchodní značkou. Rozlišují se aditiva pro paliva zimní a letní.

### Individuální aditivace

Přísady pro individuální aditivaci jsou v prodeji na čerpacích stanicích. Uživatel si je nadávkuje do nádrže před tankováním paliva.

[14]

#### 5.1. Přísady do motorové nafty:

##### Antioxidanty a zlepšovače stability:

Při dlouhodobém skladování, ale i v nádržích vozidel a palivové soustavě motoru, kde je motorová nafta vystavena poměrně vysoké teplotě při cirkulaci, nastávají chemické reakce, při kterých vznikají v naftě nerozpustné látky, vznikají pryskyřice, zvláště pokud jsou přítomny olefiny, diolefiny nebo polyolefiny. [14]

Protože se jako výchozí proces při výrobě motorové nafty používá plynový olej po předchozím krakovacím procesu, vyprodukovaná motorová nafta vykazuje velký podíl olefinických uhlovodíků, které mají značný sklon k tvorbě kyslíkatých sloučenin. Ty zapříčiňují změnu barvy a tvorbu pryskyřic, kalů a laků, které blokují palivové filtry. Tyto frakce navíc obsahují více dusíkatých derivátů, což opět narušuje stabilitu produktu. Z těchto důvodů je nutná aplikace antioxidačních a stabilizujících aditiv. [14]

##### Přísady zvyšující cetanové číslo:

Zvýšení cetanového čísla lze dosáhnout hlavně dearomatizací, což je ale velmi náročný proces, a proto se budou do budoucna více než dříve používat právě přísady.

Účel těchto aditiv spočívá ve zkrácení prodlevy vznětu, tedy době od vstříku paliva přes fázi fyzikální a chemickou. Jelikož se jedná o radikálovou reakci, pak se zde uplatňují určité typy dusíkatých sloučenin snadno uvolňujících volné radikály, které urychlují oxidaci paliv.

Nastartují oxidační reakce, které předcházejí vznícení, a tím se zkrátí prodleva vznětu. Cetanové číslo je možné zvyšovat přidávkem některých přísad ve dvou základních typech: nitráty a peroxidy (např. 2,2-dinitropropan, tetranitromhetan, n-butylnitrát, tetralinhydroperoxid, kumenhydroperoxid apod.) [14]

Nejznámějším představitelem nitrátů je 2-ethylhexylnitrát (dodecylnitrát) zvyšující CČ za relativně přijatelnou cenu. Jeho účinnost však velmi závisí na velikosti cetanového čísla základního paliva. Jestliže motorová nafta obsahuje větší podíl aromátů a její cetanové číslo je malé, je velmi malá i účinnost. [14]

Peroxidy jsou ve směsi s naftou nestálé a vzhledem k účinnosti je jejich uplatnění finančně náročné. Jsou však kompatibilní s nitráty, což vytváří možnost způsobu jejich využití. [14]

#### Antistatické přísady:

S ohledem na bezpečnost se přidává přísada pro zlepšení vodivosti, kterou se předchází vzniku elektrostatického výboje. Při čerpání, dopravě, tankování či veškerých manipulacích s palivem může nastat exploze vlivem výboje statické elektřiny. K předcházení nebezpečí exploze je žádoucí, aby vodivost byla zvýšena na předepsané hodnoty. Jako antistatické přísady se běžně používají látky typu nitrátů polymerů, dříve se používali sirné sloučeniny, které s ohledem na snižování obsahu síry v palivu již nejsou vhodné. [14]

#### Baktericidní přísady:

Tyto látky je buď hubí (baktericidní), nebo zabraňují reprodukci (bakteriostatické) mikroorganismů rozkládajících palivo. Aplikace je možná do nafty (chinolín, imidazolín, cyklické aminy), či do oddělené vodní vrstvy (látky na bázi formaldehydu). Přísady rozpustné ve vodě nesmí být přidány do motorové nafty, v opačném případě by mohlo dojít ke vzniku suspenze zanášející filtry a čerpadla palivových soustav. [14]

#### Deemulgátory a odvodňovače:

Častá přítomnost vody ve velkých nádržích (např. u nákladních vozidel), vytvoření vodní emulze, která navíc obsahuje spoustu drobných mechanických nečistot (korozních produktů, vláken a zbytků barvy), je nejčastější příčinou úsad na filtru a výpadků v chodu motoru v důsledku ucpání palivového filtru. Stabilitu disperze zvyšuje přítomnost detergentních aditiv. Jako deemulgátory se používají alkyloxypolyglykoly nebo arylsulfonáty. [14]

#### Inhibitory koroze:

Jedná o polární látky mající dipól, tvořící na kovovém povrchu hustý koberec bránící přístupu korozních látek. Dávkování je celkem nízké a pohybuje se okolo 5 ppm, což by mělo být dostačující pro ochranu kovových nádrží a palivových trubek. [14]

### Detergenty a dispersanty:

Detergenty jsou látky čistící. Dipól molekuly detergentu přisedne k opačně nabitě části nečistoty a přetáhne ji do roztoku, přesněji do disperse. Detergenty udržují povrch kovových součástí stále čistý, což má stále větší důležitost pro součásti vstřikovacího systému jako je Common Rail nebo Pumpe-Düse. Sloučeniny tvoří na kovovém povrchu bariérový film bránící usazování karbonových zbytků. Chemicky jsou to typy sloučenin: aminy, amidy, imidazoly apod. [14]

Dispersanty jsou látky vyznačující se jako rozptylovač. Působí v souladu s činností detergentů, uvolněná částice okamžitě dostane totožný náboj jako všechny ostatní uvolněné částice, které se navzájem odpuzují a vykonávají Brownův pohyb bez možnosti usazování. [14]

### Mazivostní přísady:

Snižování obsahu síry v motorové naftě, snížení konce destilace a vysoký obsah petrolejové frakce má nepříznivý vliv na mazivost motorové nafty, a proto nafty produkované v současné době musí být aditivovány přísadami na zvýšení maznosti a to hlavně z toho důvodu, že v předchozím výrobním procesu, zejména hydrogenačními procesy, se zbavují svých přirozených složek na bázi síry, dusíku a některých aromatických komponent. [14]

Nová aditiva na zvýšení maznosti fungují buď na principu inhibice (zabránění) peroxidových radikálů nebo na principu přídavku silně polárních sloučenin. Z tohoto důvodu se u nových druhů naft zkouší peroxidové číslo. Čím větší je jeho hodnota, tím více se tvoří peroxidů a nafta ztrácí nejen svoji maznost, ale i svoji odolnost vůči oxidaci.

V rámci normy ČSN EN 590 byl zaveden i požadavek na minimální úroveň mazivosti založený na měření průměru otěrové stopy (max. 460 mm). Zvláště citlivá na mazivost jsou již zmíněná vstřikovací čerpadla vznětových motorů, ale hlavně vysokotlaká čerpadla systémů Common Rail. Jako přísady se používají estery mastných a karboxylových kyselin. [14]

### Protipěnovostní přísady:

Při doplňování nádrží automobilů či jiných strojů se setkáváme s pěněním hladiny paliva při doplňování plnicí pistolí. Nádrž, přestože není plná, přetéká následkem velkého množství stabilní pěny, která znesnadňuje úplné natankování (především je-li přítomen MEŘO). Účinným odpěňovačem je ether, ale jeho využití je z bezpečnostních hledisek nepřijatelné. Jako protipěnicí aditiva se běžně používají polysiloxany ve formě methyl-fenyl-silikonových přípravků s kosolventem (IBA). [14]

### Modifikátory krystalické struktury parafínů:

Používají se pro zajištění potřebné úrovně chladových parametrů motorových naft v zimním období. N-alkany s bodem varu nad 250 °C jsou při teplotách pod 0 °C tuhé, alkany s bodem varu vyšším než 350 °C mají obvykle bod tuhnutí nad 30 °C. Tyto uhlovodíky obsažené v motorové naftě se vylučují při ochlazování jako krystalky parafínů plochého tvaru. Řešením je jednak snižování konce destilace, přidáváním petrolejové frakce nebo přidáváním aditiv ovlivňující krystalickou strukturu parafínu. Přísady snižují hodnotu teploty ucpání studeného filtru (CFPP) a bodu tuhnutí (nikoliv teplotu vylučování parafínů - TVP). Účinnost těchto přísad závisí na uhlovodíkovém složení paliva. [14]

### Zlepšovače hoření:

Snižují kouřivost vznětových motorů tím, že průměr kapiček vstřikovaného paliva klesá a tím dojde k lepšímu prohoření vstřikovaného paliva. Působí na principu fyzikálně-chemickém ve zmenšení povrchového napětí paliva. V důsledku zavádění vstřikovacích systémů Common Rail nebo systému Pumpe-Düse ztrácejí na aktuálním významu. [14]

### Odmrazovače a odledňovače:

V zimě se v nádrži či cisterně vyskytuje vždy volná forma vody v podobě souvislé vrstvičky nebo jednotlivých kapek, které snadno zmrznou a způsobí tím potíže při odčerpávání paliva. Jako přísad je možno použít alkoholů vytvářející homogenní trojsměs nafta-voda-alkohol, např. přípravek na bázi isopropylalkoholu. [14]

### Deodoranty:

Jedná se o parfémové nebo speciální sloučeniny, jejichž cílem je neutralizování pachů. Jako deodoranty se používají syntetické estery, ketony či látky s přirozenými vůněmi. Od přidávání aditiv tohoto typu se postupně začíná ustupovat, jelikož nafty z Fisher Tropshovy syntézy či hluboce hydrogenované nemají obvyklé aroma tolik výrazné. [14]

### Barviva:

Slouží k odlišení druhů paliva, nebo upozornění na nadstandardní paliva. Chemické koncerny vyrábějí také speciální značkovače pro střední destiláty určené pro výrobu tepla se sníženou sazbou spotřební daně z důvodu minimalizace daňových úniků. K barvení se dávkuje přibližně 3-5 mg barviva na litr nafty, pro značkování min. 6 mg na litr. [14]

### Přísady regenerující filtry pevných částic:

Jednou z metod regenerace filtrů pevných částic je vypálení sazí aplikací přísad se schopností katalytické regenerace. Základem je přidavek vhodného kovu do paliva ve formě rozpustné organokovové sloučeniny, která svým účinkem jednak snižuje teplotu vznícení sazí (vypálení), ale také urychluje oxidační proces. [14]

### 5.2. MEŘO:

Směs motorové nafty s přidavkem MEŘO (methylester řepkového oleje) do 7% obj. (povinně přimíchávaných) je v České republice běžně označováno jako motorová nafta. Směsné palivo si zachovává základní vlastnosti motorové nafty, tudíž se dá bez větších problémů používat ve stávajících motorech spalujících konvenční motorovou naftu. Důvodem povinného přimíchávání MEŘO do motorové nafty je jeho dobrý vliv na životní prostředí. Výrobní proces MEŘO sestává z lisování řepkového oleje, filtrování a následné reakce oleje s methanolem a katalyzátorem za vzniku methylesteru a glycerinu (esterifikace). [15]

Přestože podle normy ČSN EN 14214 by neměl existovat rozdíl mezi FAME a MEŘO, v praxi však jsou rozdíly zejména po stránce působení na motor a jeho olejovou náplň značné. Vyplývá to zejména z charakteru surovin používaných pro výrobu FAME. Zatímco pro výrobu MEŘO připadá v úvahu pouze řepkový olej, pak pro výrobu FAME se mohou používat různé oleje více nebo méně vhodné. [15]

Přidavek MEŘO/FAME do motorové nafty významně ovlivňuje řadu kvalitativních parametrů: hustotu, tvorbu nerozpustných úsad a laků organických kyselin, rozpustnost vody, detergentní vlastnosti, mikrobiální (ne)stabilitu, materiálovou kompatibilitu, energetický obsah (výhřevnost), mazivost (výrazné zlepšení). [15]

Při použití MEŘO v naftovém motoru s přímým vstřikem paliva dochází k následujícím změnám:

- pokles výkonu o cca 5 %
- snížení kouřivosti o cca 50 % - palivo při spalovacím procesu lépe shoří a tím výrazně snižuje kouřivost naftového motoru, množství polétavých částic, síry, oxidu uhličitého, aromatických látek
- zvýšení spotřeby paliva o cca 4 % - palivo má menší výhřevnost
- obsah CO a HC je téměř stejný, dochází k nárůstu NO<sub>x</sub>
- palivo má vysokou mazací schopnost (je mastnější než motorová nafta) a tím snižuje opotřebení motoru a prodlužuje životnost vstřikovacích jednotek. Nicméně v důsledku „ředění“, tj. průniku paliva do motorového oleje, dochází ke zhoršování vlastností oleje, tudíž se doporučuje zkrátit interval výměny motorového oleje.
- horší startovatelnost za nízkých teplot, nutná aditivace depresanty

[2], [15]

Nutno ještě podotknout, že MEŘO je agresivní vůči plastům a laku. [15]

Tab. 4 Porovnání parametrů motorové nafty, MEŘO a řepkového oleje

Parametr		Motorová nafta	Methylester	Řepkový olej
kinematická viskozita [ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	-25 °C	5–30		300
	0 °C	3–14	10	180–220
	20 °C	2–8	6,3–8,1	65–100
	100 °C	0,7–2	1,7	6–8
výhřevnost hmotnostní [ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]		42,5	37,1–40,7	37,4
Výhřevnost objemová [ $\text{MJ} \cdot \text{l}^{-1}$ ]		35,2	32,7	34,4
cetanové číslo		45	54–55	35–50
měrná hmotnost [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]		0,8–0,86	0,87–0,88	0,91–0,94
bod vzplanutí [°C]		min. 55	130	300–330
bod tuhnutí [°C]		-12–0	-7	-18–0
molekulová hmotnost		200	850–900	300

Zdroj: HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory*. Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0

### 5.3. Ethanol, methanol, vodík:

Do motorové nafty je jako aditiva možno přidávat ethanol a methanol. Výzkumem se prokázalo, že v případě smíchání motorové nafty s ethanolem (85 % motorová nafta, 15 % ethanol) se emise  $\text{NO}_x$  snížily o 39 %, emise pevných částic o 33 % v porovnání s čistou motorovou naftou. Bylo pozorováno i snížení  $\text{CO}_2$ . [13]

Ethanol má nízké cetanové číslo (8) a jeho použití ve vznětových motorech vyžaduje úpravu motoru. Je nutné zvýšit kompresní poměr motoru na 23 a více, aby došlo ke vznícení ethanolu. Vznícení je možné podpořit také vhodnou aditivací ethanolu. Také je zapotřebí zvýšit dávku paliva. [2]

V případě smíchání motorové nafty s methanolem (85 % motorová nafta, 15 % methanol) došlo ke snížení emisí  $\text{NO}_x$  o 16 %, emisí pevných částic o 51% a emisí  $\text{CO}_2$  o 3 % v porovnání s čistou motorovou naftou. [13]

Dále je možné motorovou naftu mísit s vodíkem  $\text{H}_2$ . Na třech taiwanských univerzitách a na univerzitě v Kataru se uskutečnila studie, při níž se zkoumal vliv vodíku na emise vznětového motoru, přičemž se porovnávaly tři poměry, a to 0 %, tedy čistá motorová nafta, 0,6 % objemových vodíku v motorové naftě, a 1,2 % objemových v motorové naftě. [16]

Průměrné snížení emisí oxidu uhelnatého (CO) při chodu naprázdno jsou 3,93% a 6,72% pro 0,6 % a 1,2 % objemových. Podobné je to i při částečném zatížení motoru. Při vyšším zatížení (50 % - 75 %) není přídavek vodíku na emisích CO znatelný. [16]

Vodík snižuje emise oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) za všech provozních podmínek, při vysokém zatížení již ne tak výrazně jako při nižším zatížení. [16]



Přídavek vodíku snižuje množství nespálených uhlovodíků (HC), avšak pouze při chodu naprázdno. Naopak při vyšším zatížení se emise HC zvýšily o 4,9 % a 13 % pro 0,6 % a 1,2 % objemových. [16]

Emise oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) jsou při chodu naprázdno nižší než v případě čisté motorové nafty, nicméně při vyšším zatížení jsou naopak vyšší než při použití čisté motorové nafty. [16]

Problémem vodíku bránícím jeho širšímu využití jako zdroje energie je jeho nákladná výroba. Levnější variantou výroby je získávání vodíku štěpením uhlovodíků (zemní plyn, ropa) v otevřeném termochemickém cyklu. Dražší variantou je získávání vodíku z vody, a to elektrolýzou, případně přímým tepelným rozkladem. [2]

## 6. Praktická část

Praktická část diplomové práce se zabývá stanovením vlivu aditivace motorové nafty na emise vznětového motoru. Měření probíhala v létě 2016 na válcové zkušebně v laboratořích Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze. Testovacím vozidlem byla Škoda Octavia II 1.9 TDI (77 kW, r.v. 2008). Jednalo se o soukromý vůz s nájezdem přibližně 180 000 km. Měřili se emise výfukových plynů, a to pro tři druhy paliv. Prvním palivem byla čistá motorová nafta Optimal Diesel od společnosti EuroOil. Druhým palivem byl Optimal Diesel s individuální aditivací VIF Super Diesel Aditivem. Třetím palivem byla prémiová motorová nafta Verva Diesel od společnosti Benzina. S každým palivem vozidlo ujelo alespoň 1 000 km, a teprve poté proběhlo měření. To proto, aby se vůz s daným palivem zajel, a aby výsledky měření měly vypovídající hodnotu. V závěru každého měření byly pro doplnění pro všechna paliva na válcové zkušebně staticky změřeny výkonové parametry vozu.

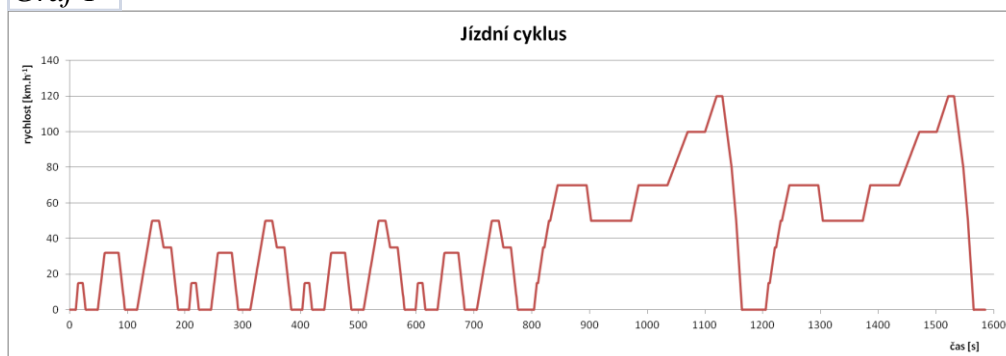
### 6.1. Metodika měření:

Postup měření byl pro všechna paliva stejný. Nejprve na válcové zkušebně vozidlo odjelo část jízdního cyklu, aby se motor zahřál na provozní teplotu a aby se ověřila funkčnost měřících přístrojů. Teprve poté proběhlo samotné měření.

Měření na válcové zkušebně probíhala podle jízdního cyklu NEDC, avšak pro zpřesnění měření byl do jízdního cyklu přidán ještě jeden mimoměstský cyklus EUDC. Tedy jízdní cyklus, podle nějž měření probíhala se skládá ze čtyř městských cyklů UDC a dvou mimoměstských cyklů EUDC. Pro mimoměstskou část jízdního cyklu byla na válcích přidána zátěž simulující odpory prostředí. V průběhu městské části tato zátěž přidána nebyla z důvodu jejího zanedbatelného vlivu v nízkých rychlostech. Během jízdního cyklu probíhalo měření výfukových zplodin pomocí EEPS analyzátoru a spektrálního (FTIR) analyzátoru.

Na závěr se na válcové zkušebně staticky změřily výkonové parametry vozu. Tedy v našem případě se na 4. rychlostní stupeň vůz na válcích rozjel do nejvyšších otáček motoru, následně se na válcích postupně přidávala zátěž až do té doby, kdy stále na 4. rychlostní stupeň a s neustále plně sešlápnutým akceleračním pedálem otáčky motoru klesly k až téměř volnoběžným hodnotám. Během statického měření výkonových parametrů se emise výfukových plynů neměřily.

Graf 1



Zdroj: vlastní

## 6.2. Použité přístroje a zařízení:

### Analyzátor EEPS (Engine Exhaust particle sizer Model 3090):

Činnost analyzátoru EEPS je založena na schopnosti pevných částic uchovávat elektrostatický náboj. Nabitá částice potom interaguje s elektrostatickým nebo elektromagnetickým polem. Tato interakce závisí na velikosti náboje a intenzitě elektrostatického nebo elektromagnetického pole. [17]

Prvním krokem je odebrání vzorku výfukových plynů z výfukového potrubí. Tento vzorek je nasán ředícím zařízením, které jej velice přesně smísí se vzduchem, jenž je filtrovaný přes absolutní filtr (HEPA filtr). Ředící zařízení má nastavitelný ředící poměr, který je nastavován podle potřeby přístroje tak, aby nedocházelo k šumům vlivem mála plynu vstupujícího do přístroje, ale ani k zanášení vlivem příliš mnoha plynu vstupujícího do přístroje. Tento ředící poměr se pro každý motor nastavuje individuálně a pro získání absolutních údajů o vzorku je třeba přepočít. [17]

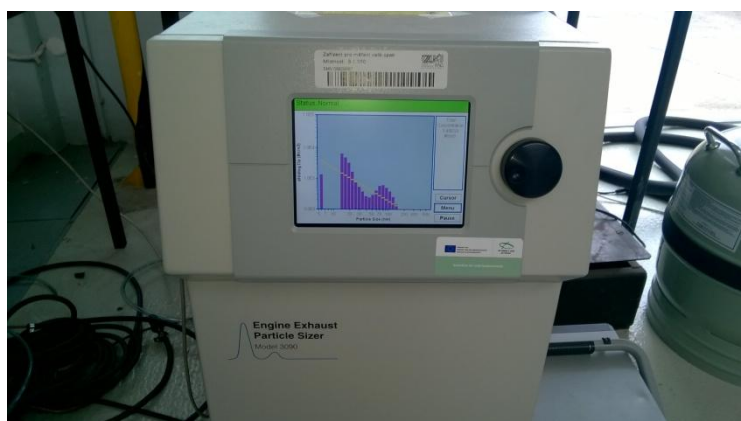
Zředěný vzorek poté vstupuje do přístroje, ve kterém je nabit. Nabíjení se provádí dvakrát a vždy napětím o opačné polaritě. Tím se zajistí, že všechny částice, jenž vstoupí do další části přístroje, budou mít náboj o správné polaritě. [17]

Proud plynu takto nabité částice unáší do další části přístroje, kde je pomocí vysokonapěťových elektrod vytvořeno elektrostatické pole interagující s nabitými částicemi. V horní části je napětí 85 V, které vytvoří jen slabé elektrostatické pole, to odpudí jen malé částice s malým nábojem. Větší a těžší částice setrvačností pokračují níže. Intenzita elektrostatického pole postupně roste se vzrůstajícím napětím, které dosahuje hodnoty až 1200 V. V nejnižší části tak interagují jen největší částice, které je přístroj schopný detekovat. [17]

Odpuzené částice směřují ven od středu vysokonapěťových elektrod. Po obvodu přístroje jsou umístěny elektrometry. Elektrometry měří náboje částice, který se při nárazu projeví vytvořením velmi malého proudu v řádech pA. Po obvodu přístroje je umístěno 16 prstenců, na které jsou připojeny elektrometry. [17]

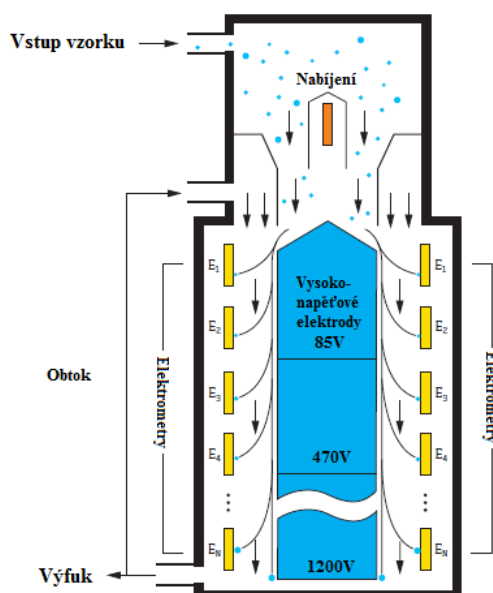
Vyhodnocovací počítač poté přepočítává změřený náboj na velikost částice a následně v reálném čase zobrazuje jejich velikostní spektrum, celkový počet, objem a povrch částic. Zařízení EEPS Model 3090, které je k dispozici na Katedře vozidel a pozemní dopravy Technické fakulty ČZU detekuje částice o rozměrech v intervalu 5,6 – 560 nm. Počet snímaných kanálů je 32 a vzorkovací frekvence až 10 Hz. [17]

Obr. 20 EEPS



Zdroj: vlastní

Obr. 21 Zjednodušené schéma EEPS



Zdroj: JINDRA, Petr. Vliv biopaliv na emise spalovacích motorů - Teze disertační práce. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2016

#### Spektrální analyzátor Bruker Matrix - MG5:

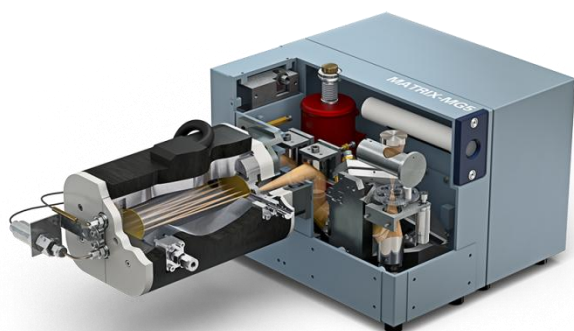
Úkolem spektrometru je zaprvé odebrat vzorek zkoumaného plynu z výfukového potrubí. To je realizováno díky výfukovým sondám nebo pomocí odběrných míst. Vzorek se následně přefiltruje pro odstranění pevných nečistot, které by mohly zapříčinit poškození optické soustavy v kyvetě. Po celou dobu, kdy je vzorek v odběrné větvi, je plyn vyhříván na teplotu 192°C. Tím se zabrání kondenzaci vody ve vzorkovací trati a zejména v optické části přístroje, kde hrozí poškození zrcadel. [17]

Následně je vzorek v měřící kyvetě prosvěcován zdrojem monochromatického světla, které je upraveno v interferometru tak, aby se měnila frekvence vyzařovaného světla. Potom co světlo vstoupí do měřící kyvety, dojde kvůli zvýšení citlivosti k prodloužení dráhy světla pomocí zrcadel. Tím se zajistí, že vyzařované světlo v analyzátoru s kyvetou MG5 urazí 15 m předtím než je zpracováno detektorem. [17]

Poté dojde k počítačovému zpracování, jehož výsledkem je zkoumaná část infračerveného spektra, kde jsou zobrazeny absorpční pásy. Dále se toto spektrum matematicky zpracuje a naleznou se konkrétní sledované složky. Míry absorpce určuje podíl složky ve zkoumaném plynu. [17]

Analyzovaný vzorek pak odchází potrubím skrze vývěvu pryč z přístroje. Vývěva v celé vzorkovací trase vytváří podtlak, kterým je nasáván vzorek z výfukového potrubí zkoumaného motoru. [17]

*Obr. 22 Spektrální analyzátor Bruker Matrix - MG5*



*Zdroj: <https://www.bruker.com/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/gas-analysis/mg5/overview.html>.*

Z dalších přístrojů a zařízení byly použity:

Vyhřívaný filtr Flexotherm 1 x 2.5 model HFH -2.5-C-K-N/A-STD

Vývěva MIL'S model ARICA 6 VK

Radiální ventilátor FILCAR model AL-1500/C o výkonu 11 kW

Axiální ventilátor VENTRA typ ALM 800-3/32° -4/4,0 VS o výkonu 4 kW.

*Obr. 23 Měření emisí výfukových plynů*



*Zdroj: vlastní*

*Obr. 24 Chlazení vozu v průběhu měření*



*Zdroj: vlastní*

### 6.3. Použitá paliva:

#### Optimal Diesel:

Dodavatelem motorové nafty Optimal Diesel je společnost Čepro. Tuto motorovou naftu je možné natankovat u sítě čerpacích stanic EuroOil. Jedná se o čistou motorovou naftu bez bioložky (MEŘO, FAME). [18]

Podle právního předpisu upravujícího pohonné hmoty mají dodavatelé těchto pohonných hmot povinnost přimíchávat bioložku ve výši 6,0 % objemových z celkového množství motorové nafty. Uvedené minimum 6 % se počítá za celý kalendářní rok, zatímco maximálních 7 % dle ČSN EN 590 je nepřekročitelných. Společnost Čepro si může dovolit nabízet motorovou naftu bez bioložky, neboť výše uvedenou povinnost bez problémů splní díky velkým objemům směsné nafty a bionafty, kterou prodává zejména zemědělcům, tedy v celkovém objemu dodávaných paliv je podmínka min. 6,0 % bioložky splněna. [19]

To, že je motorová nafta Optimal Diesel nabízená u čerpacích stanic EuroOil skutečně bez bioložky mi po telefonu potvrdil pan Ing. Jaromír Hynek, specialista pro jakost odboru řízení jakosti ČEPRO, a.s.

Oproti běžně prodávané motorové naftě na trhu s obsahem bioložky až 7 % je Optimal Diesel v důsledku nepřítomnosti biosložky méně náročný na sledování a zacházení při skladování a použití.

Kvalita nafty Optimal Diesel bez biosložky splňuje veškeré požadavky technické normy ČSN EN 590. [18]

Mezi výhody motorové nafty Optimal Diesel bez bioložky patří menší náchylnost při spalování v motoru k tvorbě a napékání úsad na povrchu vstřikovacích trysek, a tím vyšší provozní spolehlivost palivového systému motoru, vynikající dlouhodobá skladovatelnost paliva, která je využitelná zejména u vozidel dlouhodobě vyřazených z provozu, vozidel pro sezónní provoz, agregátů náhradních zdrojů elektřiny apod., dále pak menší citlivost na pohlcování vzdušné vlhkosti do paliva, a tím menší náchylnost paliva k jeho případné biologické kontaminaci. Díky nižší pěnivosti usnadňuje tankování do nádrže vozidla. [18]

#### Optimal Diesel + VIF Super Diesel Aditiv letní:

Jedná se opět o motorovou naftu Optimal Diesel bez bioložky, avšak individuálně aditivovanou volně dostupným aditivem Super Diesel Aditiv v letní verzi. Dále bude tedy popsán Super Diesel Aditiv.

Super Diesel Aditiv je produktem rakouské společnosti LANG CHEMIE, přičemž jejím dodavatelem na český trh je společnost VIF s.r.o. [20]

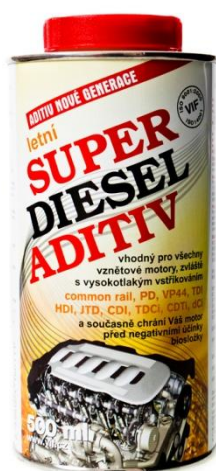
Letní přísada do nafty Super Diesel Aditiv zvyšuje cetanové číslo, a tím zlepšuje spalování. Aditivum snižuje hlučnost motoru a zkracuje studený start. Dále zvyšuje mazací schopnost paliva, a tím prodlužuje životnost vstřikovacího čerpadla a trysek, které udržuje čisté. Aditivum zabraňuje zanášení citlivých součástí motoru karbonovými nečistotami. Letní aditivum do nafty chrání palivové čerpadlo před opotřebením potlačením pěnivosti paliva

v celém palivovém systému. Super Diesel Aditiv stabilizuje naftu a prodlužuje její skladovací dobu. Přípravek se dávkuje v poměru 1:1000 do nádrže automobilu před tankováním. Dotankováním nádrže dojde k promíchání aditiva s naftou. [20]

SUPER DIESEL ADITIV letní obsahuje:

- etylhexylnitrát CAS 27247-96-7
- solventní nafta CAS 64742-94-5
- 1,2,4-trimethylbenzen CAS 95-63-6
- lehký parafinický ropný destilát CAS 64742-55-8

Obr. 25 VIF Super Diesel Aditiv



Zdroj: <http://www.vif.cz/produkty/aditiva-do-nafty/super-diesel-aditiv-letni.html>

#### Verva Diesel:

Verva Diesel je prémiová motorová nafta od společnosti Benzina. Pro měření byla vybrána záměrně, neboť je podle mnoha testů v odborných časopisech (např. AutoDiesel) dlouhodobě hodnocena jako nejkvalitnější motorová nafta na českém trhu. [21], [22]

Motorová nafta Verva Diesel je nadstandardně aditivována dle schválené formulace v rafinerii souborem přísad na zvýšení cetanového čísla, ochrany proti korozi, vyšší oxidační stability, mazivosti, detergenční schopnosti a výrazně snížené pěnivosti. Aditivace je prováděna konstantně celoročně z rafinerie, pouze zlepšená filtrovatelnost na -26 °C je prováděna jen po určitou dobu nízkých teplot. Vysoká hodnota cetanového čísla (58 až 60 jednotek oproti obvyklým 51 až 53 jednotek) pak zlepšuje vznětovou charakteristiku nafty, dokonalé prohoření, vysoký výkon a sníženou spotřebu. [23]

Pan Ing. Jaromír Hynek, specialista pro jakost odboru řízení jakosti ČEPRO, a.s., mi telefonicky potvrdil, že Verva Diesel od společnosti Benzina na našem trhu obsahuje nejvíce složek zvyšujících cetanové číslo.



#### 6.4. Naměřená data:

Měření proběhla ve dnech:

##### 21.6.2016:

Měřené palivo:	<b>Optimal Diesel</b>
Venkovní počasí:	zataženo
Venkovní teplota:	22 °C
Vnitřní teplota na hale:	27 °C
Stav km:	172 850

##### 16.8.2016:

Měřené palivo:	<b>Optimal Diesel + VIF Super Diesel Aditiv letní</b>
Venkovní počasí:	polojasno
Venkovní teplota:	21 °C
Vnitřní teplota na hale:	26,5 °C
Stav km:	178 728

##### 26.9.2016:

Měřené palivo:	<b>Verva Diesel</b>
Venkovní počasí:	polojasno
Venkovní teplota:	19 °C
Vnitřní teplota na hale:	27 °C
Stav km:	181 285

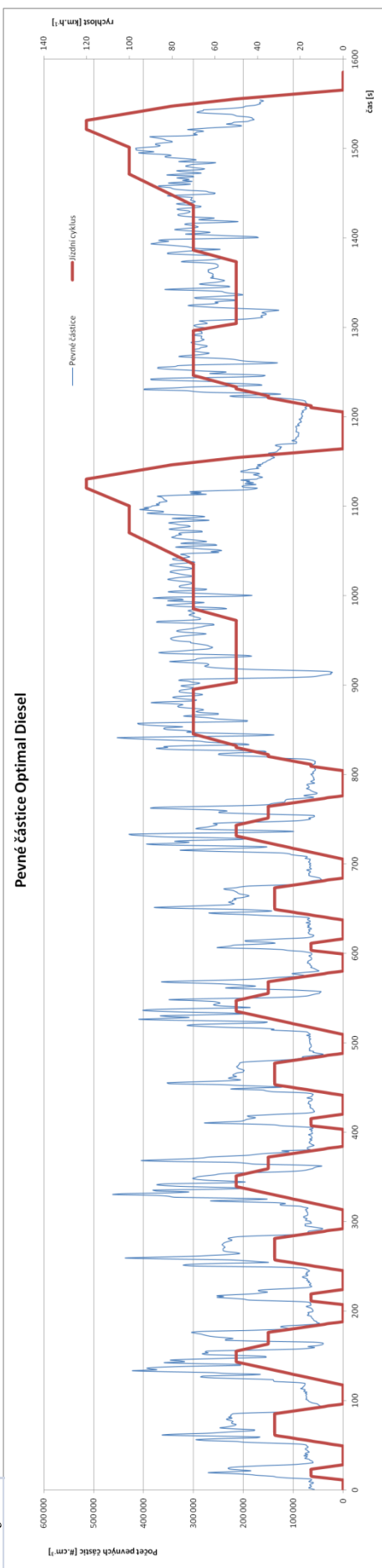
Pozn.: Teplota byla změřena čidlem v automobilu vždy na konci měření.

Na následujících stranách budou zobrazeny grafy závislosti pevných částic, CO<sub>2</sub>, CO a NO<sub>x</sub> na jízdním cyklu. Grafy jednotlivých složek emisí budou členěny podle použitého paliva, a následně bude zobrazeno porovnání jednotlivé složky emisí pro všechna paliva v závislosti na jízdním cyklu, a také porovnání celkových hodnot naměřené složky emisí pro všechna paliva.

Grafy budou z důvodu lepší přehlednosti zobrazeny na šířku stránky.

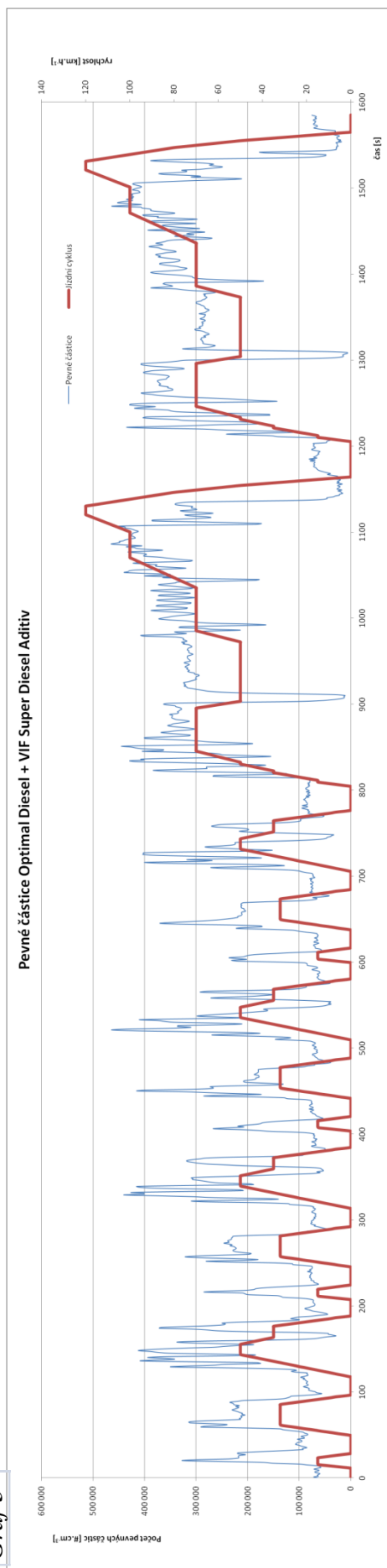
### 6.4.1. Pevné částice:

Graf 2



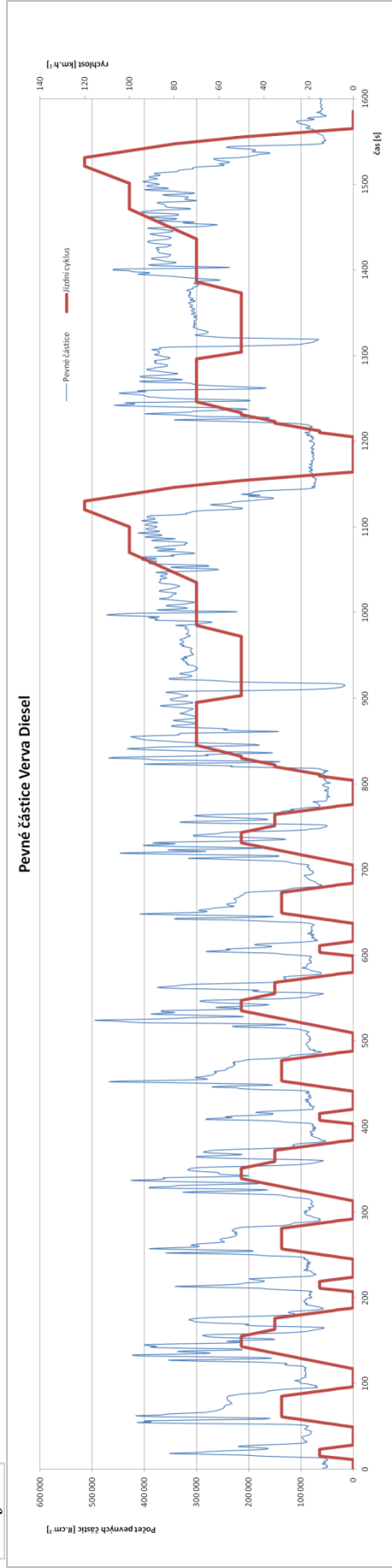
Zdroj: vlastní

Graf 3



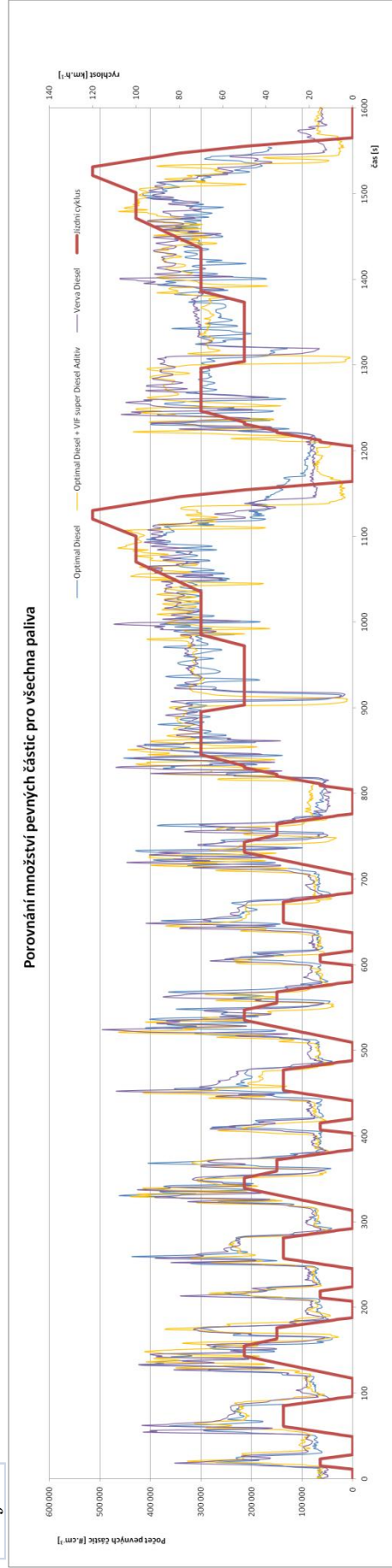
Zdroj: vlastní

Graf 4



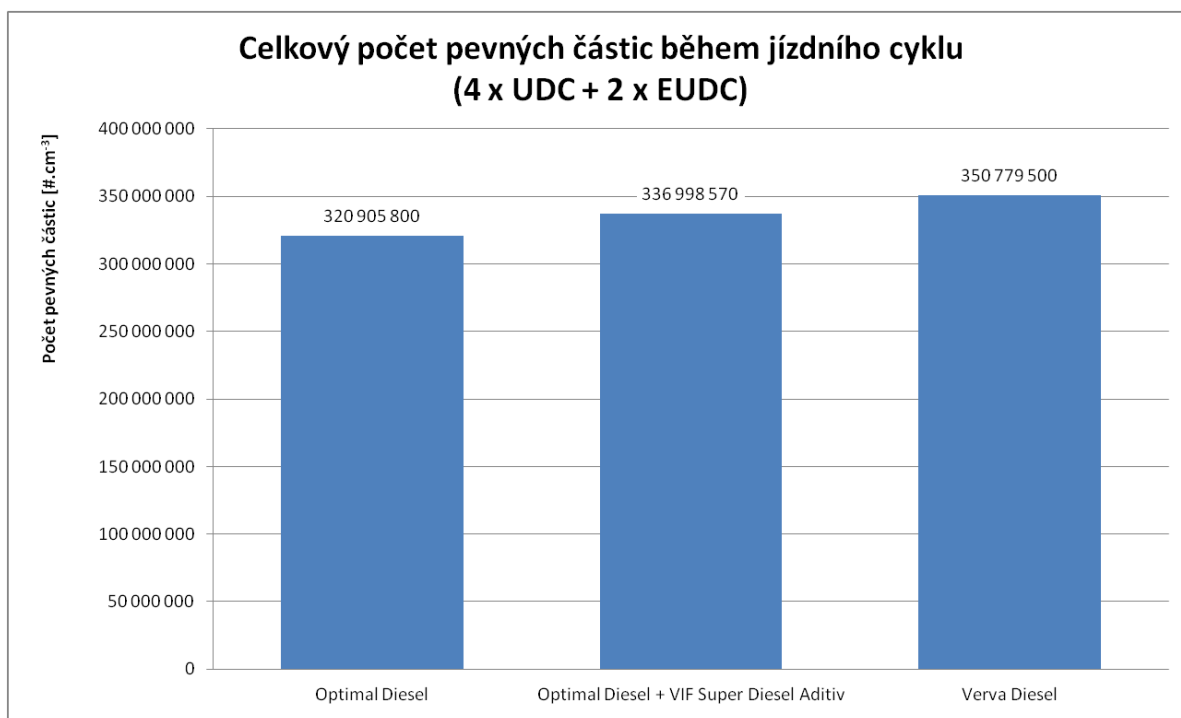
Zdroj: vlastní

Graf 5



Zdroj: vlastní

Graf 6



Zdroj: vlastní

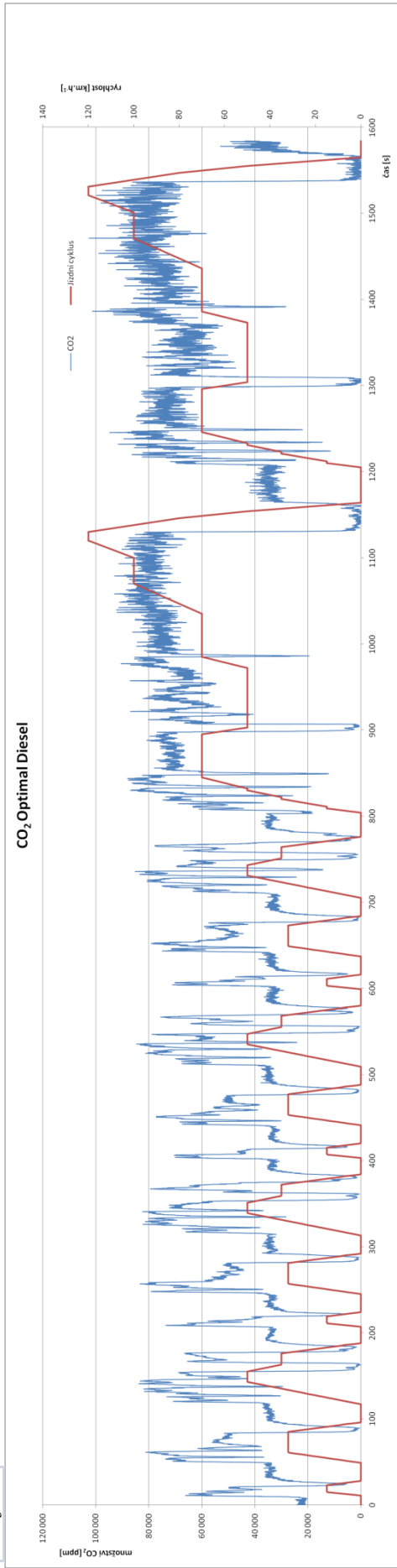
Jak je z grafů patrné, tak nejnižších hodnot pevných částic dosahuje čistá motorová nafta Optimal Diesel, následuje Optimal Diesel s individuální aditivací VIF Super Diesel Aditivem, a nejvíce pevných částic vozidlo vyprodukovalo s použitím Verva Dieselu od společnosti Benzina. Rozdíly jsou nejvíce patrné v oblasti mimoměstského cyklu.

Jak již bylo řečeno, Optimal Diesel je bez biosložky, naopak Verva Diesel biosložku (MEŘO) obsahuje, přičemž dosahuje nejvyšších hodnot pevných částic, což je paradoxní, neboť dle teorie by MEŘO obsažené v motorové naftě mělo snížit kouřivost až o 50 %.

Co se tedy týče pevných částic, tak individuální aditivace VIF Super Diesel Aditivem i načerpání prémiové nadstandardně aditivované motorové nafty Verva Diesel má vliv na zvýšení produkce pevných částic.

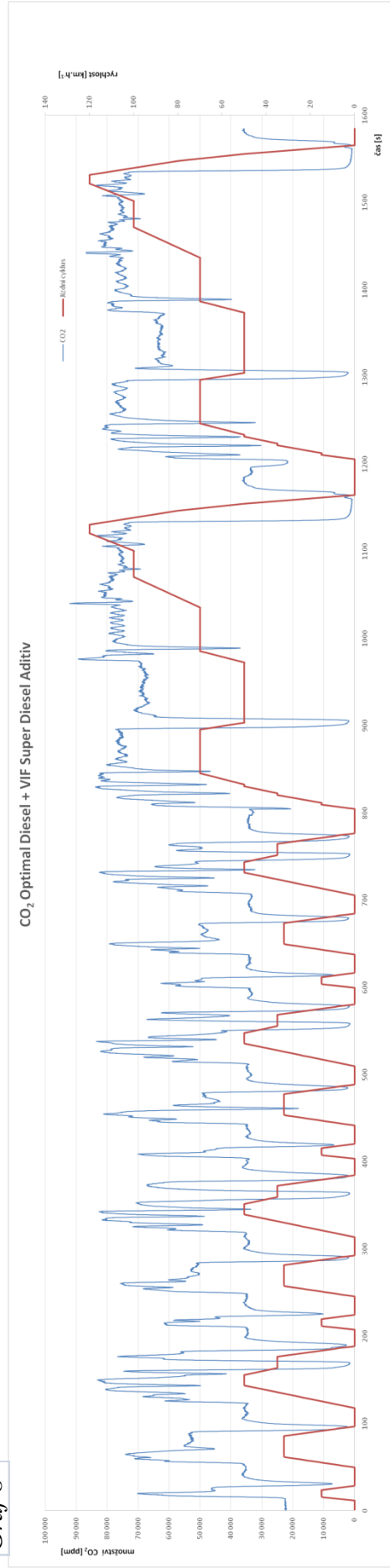
### 6.4.2. CO<sub>2</sub>:

Graf 7



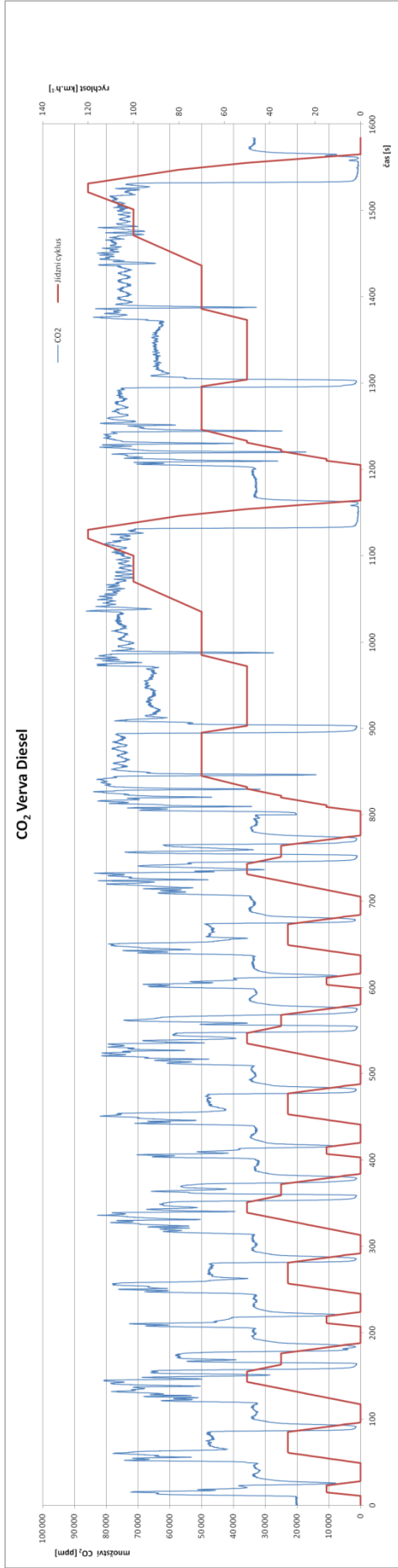
Zdroj: vlastní

Graf 8



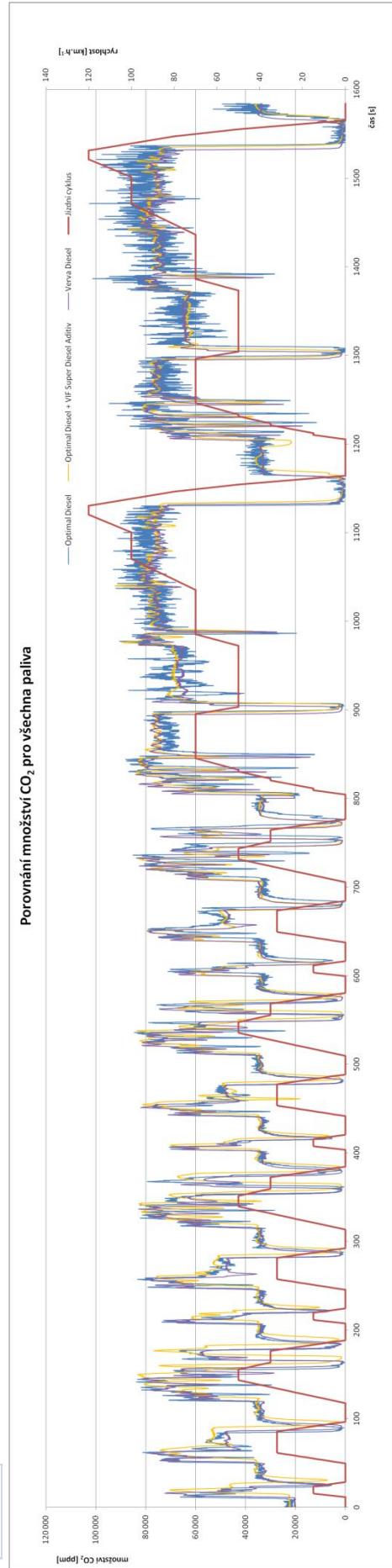
Zdroj: vlastní

Graf 9



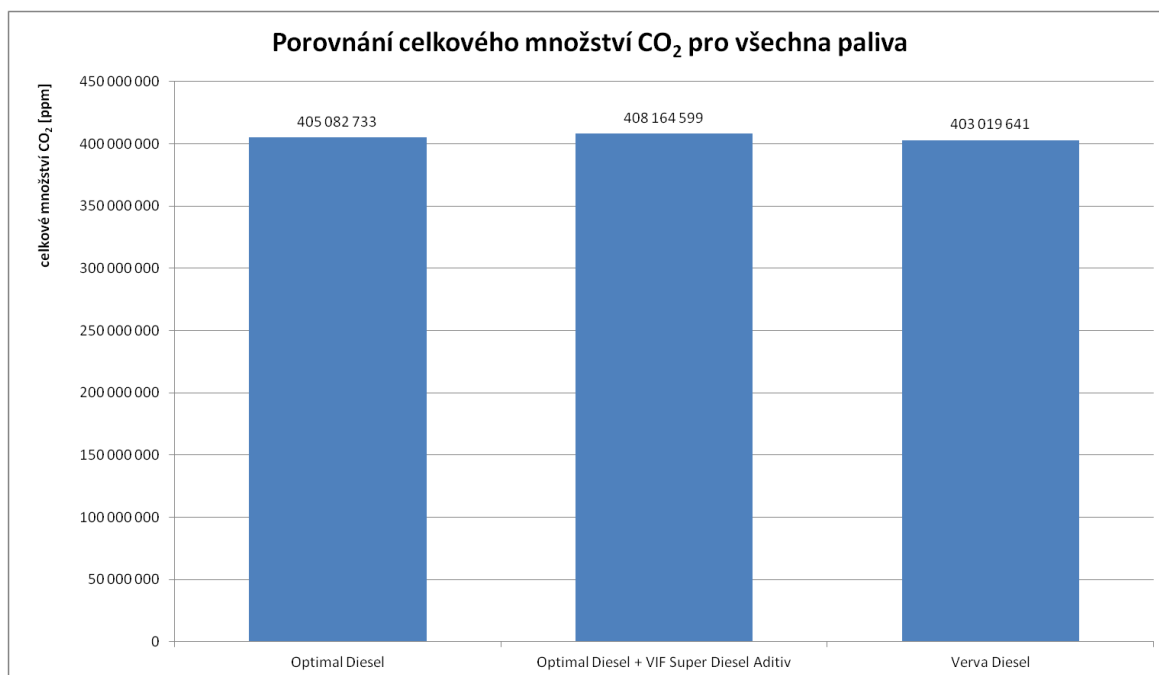
Zdroj: vlastní

Graf 10



Zdroj: vlastní

**Graf 11**



*Zdroj: vlastní*

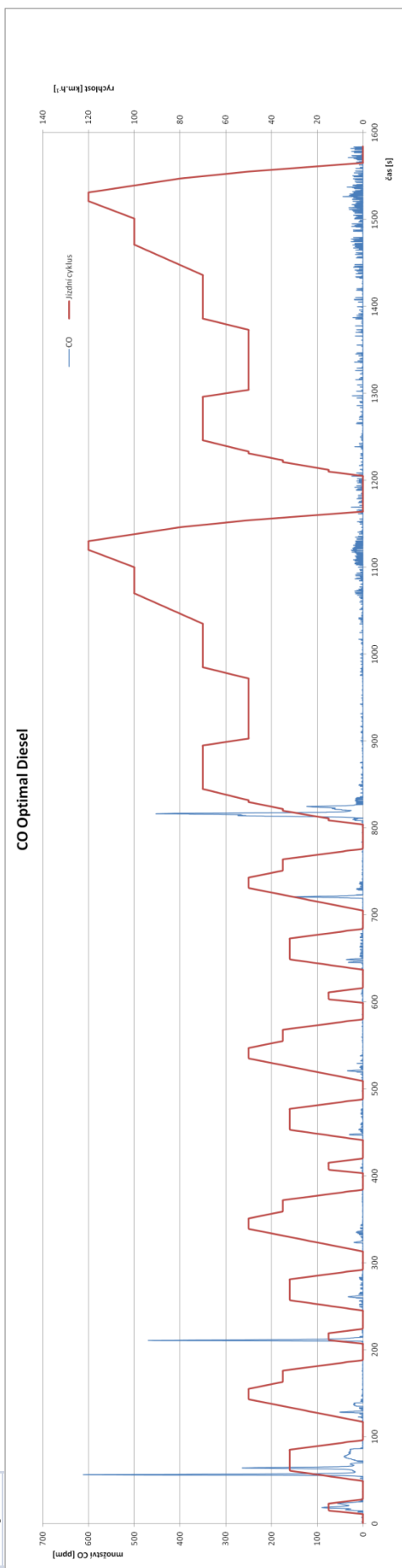
Grafy nám ukazují, že zejména v mimoměstském jízdním cyklu vede aditivace k nižším hodnotám CO<sub>2</sub>, tedy v mimoměstském jízdním cyklu dosahují Optimal Diesel s individuální aditivací VIF Super Diesel Aditivem a Verva Diesel viditelně nižších hodnot CO<sub>2</sub> ve srovnání s čistou motorovou naftou Optimal Diesel.

Z porovnání celkového množství CO<sub>2</sub> je zřejmé, že nejnižších hodnot vozidlo dosáhlo s palivem Verva Diesel, nejvyšších hodnot naopak s palivem Optimal Diesel s individuální aditivací VIF Super Diesel Aditivem. Optimal Diesel s individuální aditivací dosahuje nižších hodnot v mimoměstském jízdním cyklu, avšak v městském jízdním cyklu dosahuje o něco vyšších hodnot oproti čisté motorové naftě Optimal Diesel.



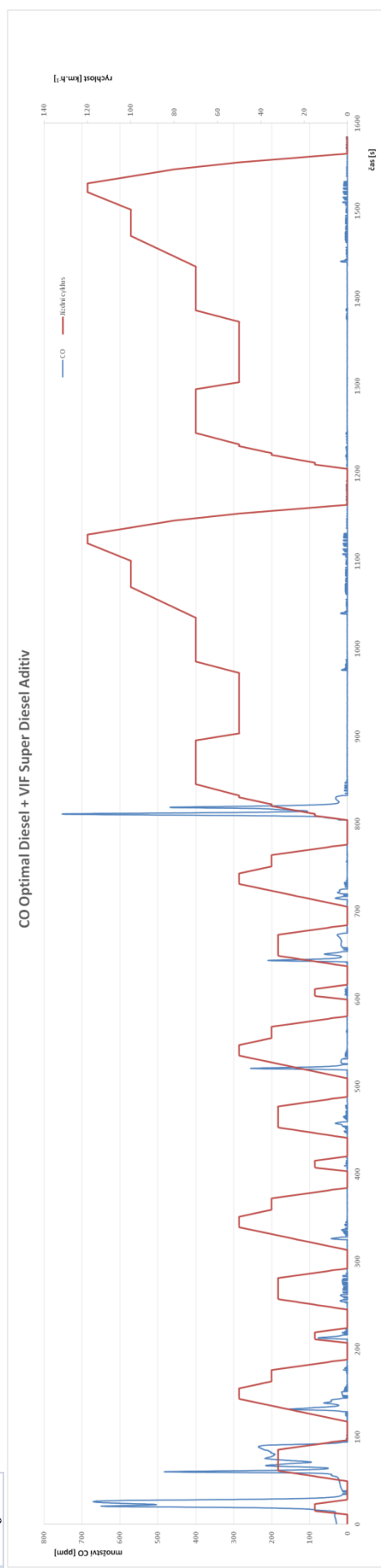
### 6.4.3. CO:

Graf 12



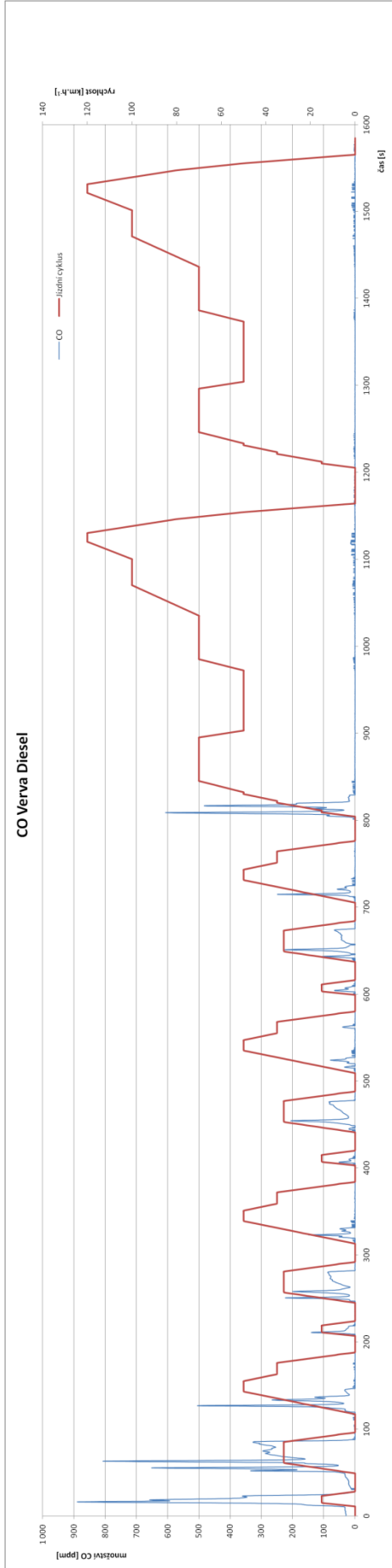
Zdroj: vlastní

Graf 13



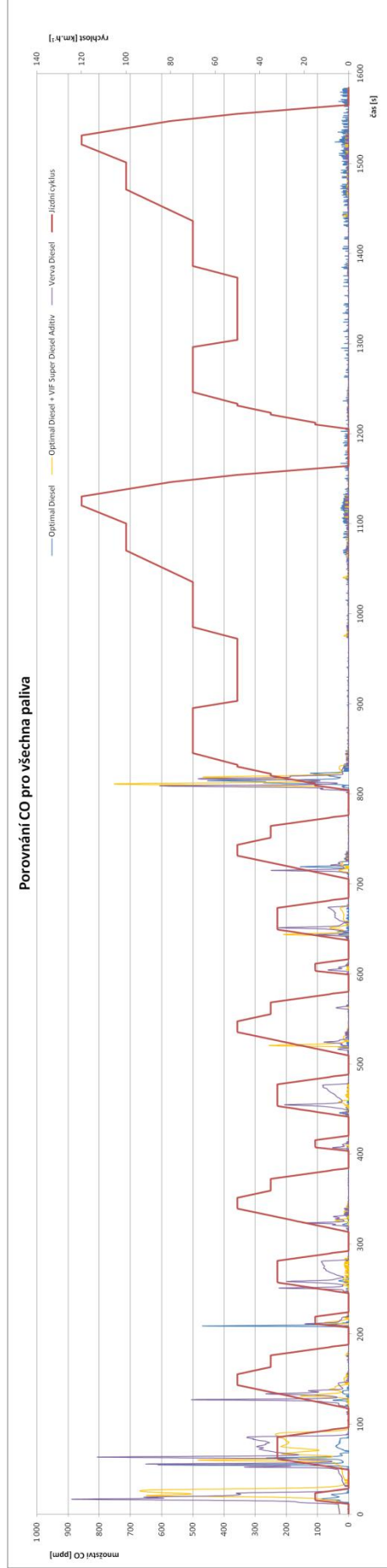
Zdroj: vlastní

Graf 14



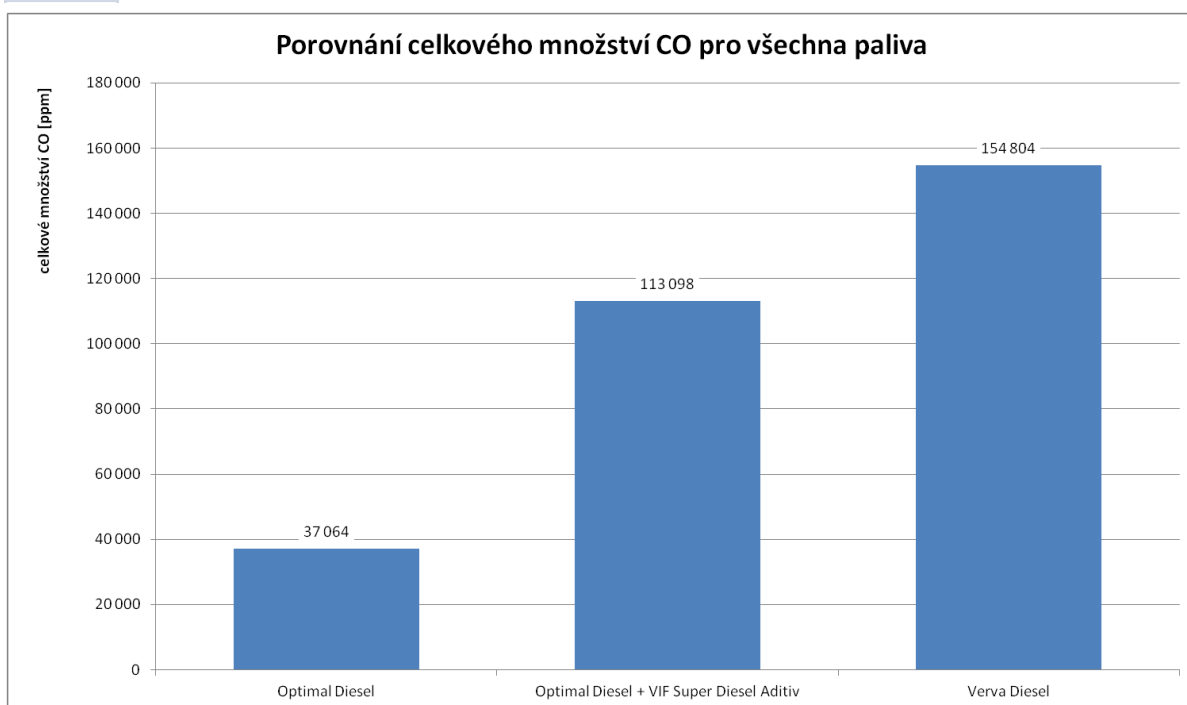
Zdroj: vlastní

Graf 15



Zdroj: vlastní

**Graf 16**

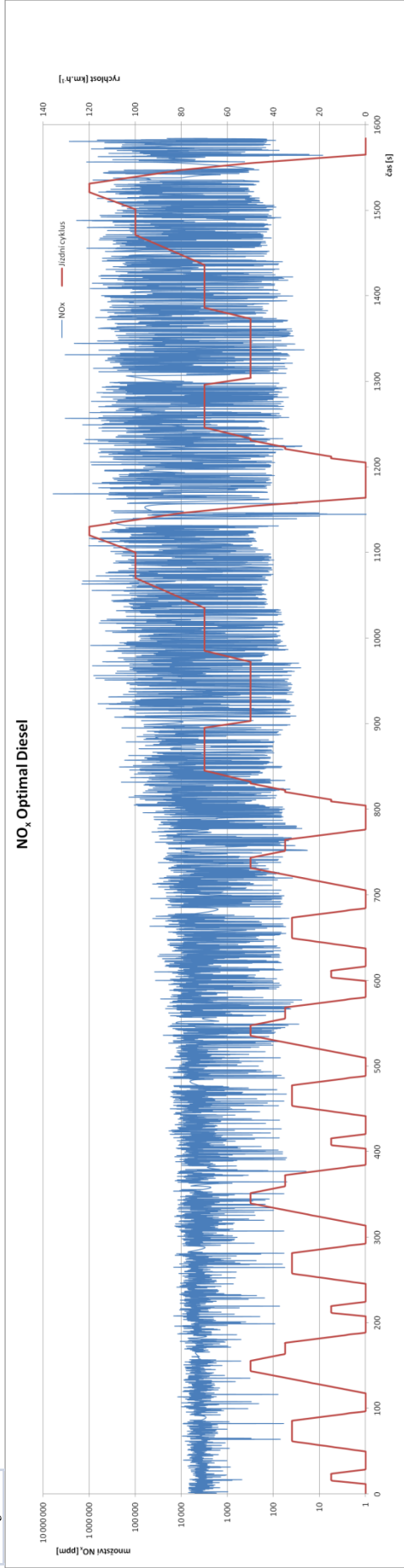


*Zdroj: vlastní*

Z porovnání celkového množství CO vyplývá, že jasně nejnižších hodnot dosahuje Optimal Diesel, kdežto nejvyšších hodnot dosahuje Verva Diesel. V jízdním cyklu jsou rozdíly nejpatrnější v městském cyklu, kde hodnoty Optimal Dieselu s VIF Super Diesel Aditivem a Verva Dieselu značně převyšují hodnoty samotného Optimal Dieselu. V mimoměstském jízdním cyklu naopak Optimal Diesel dosahuje vyšších hodnot oproti Optimal Dieselu s VIF Super Diesel Aditivem a Verva Dieselu, avšak rozdíly jsou velmi malé.

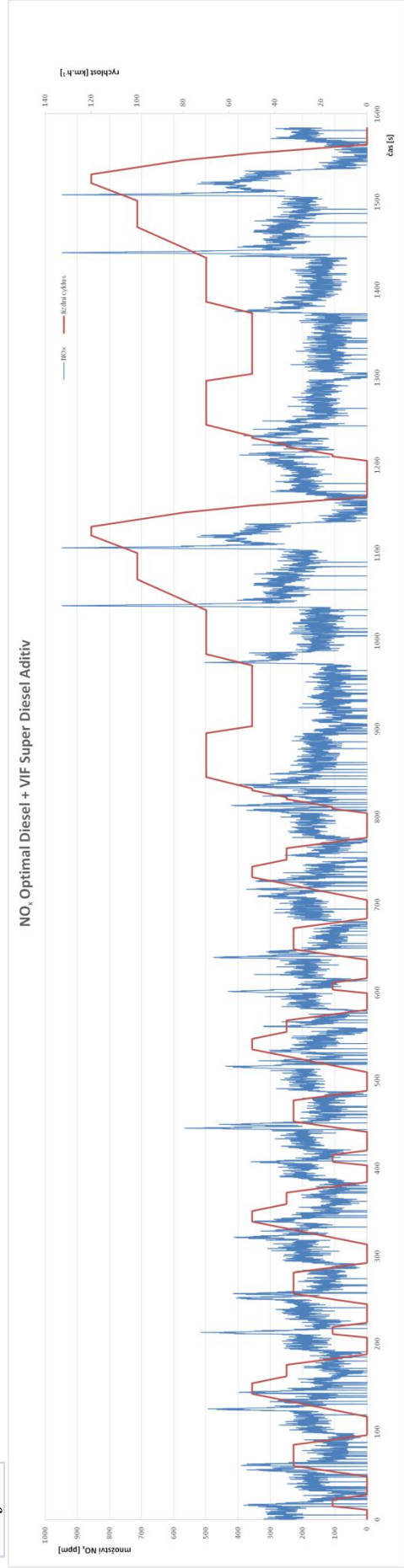
#### 6.4.4. NOx:

Graf 17



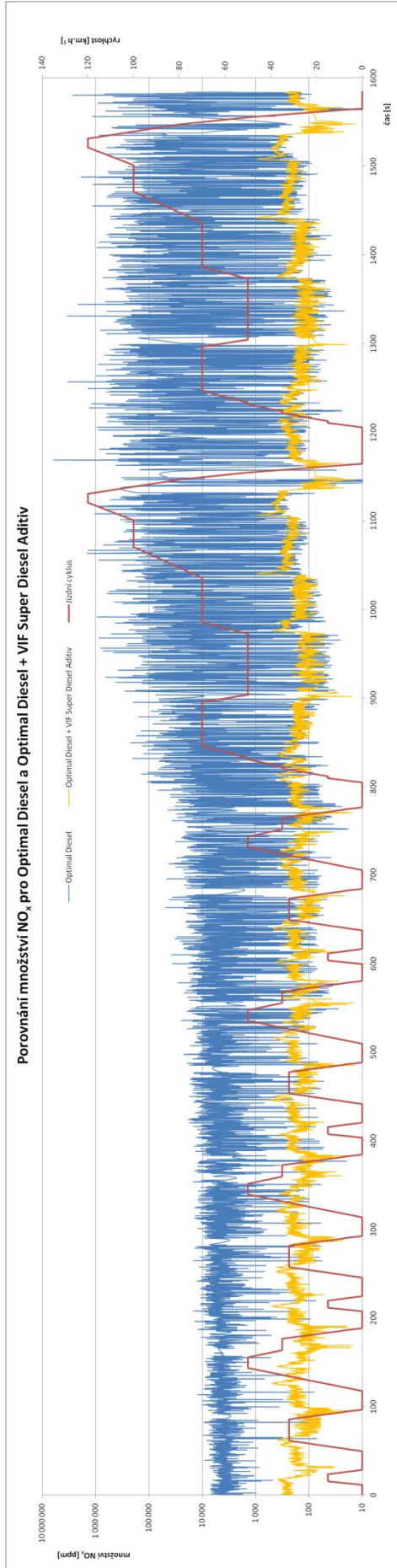
Zdroj: vlastní

Graf 18



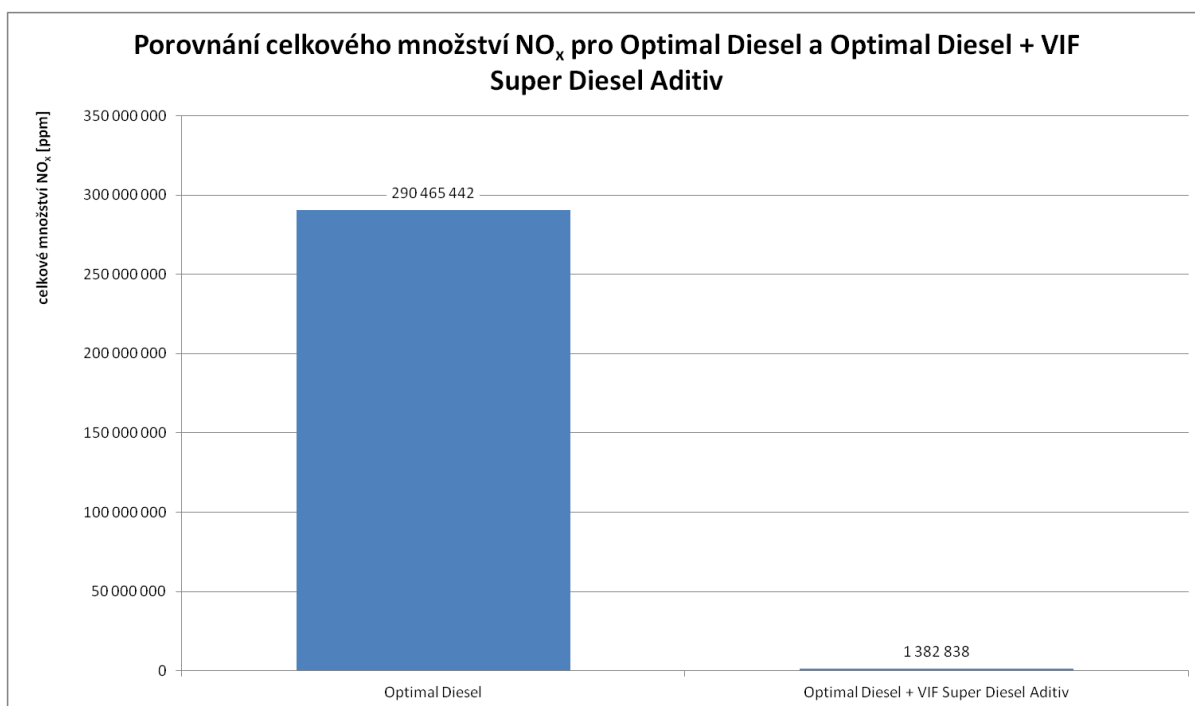
Zdroj: vlastní

Graf 19



Zdroj: vlastní

Graf 20



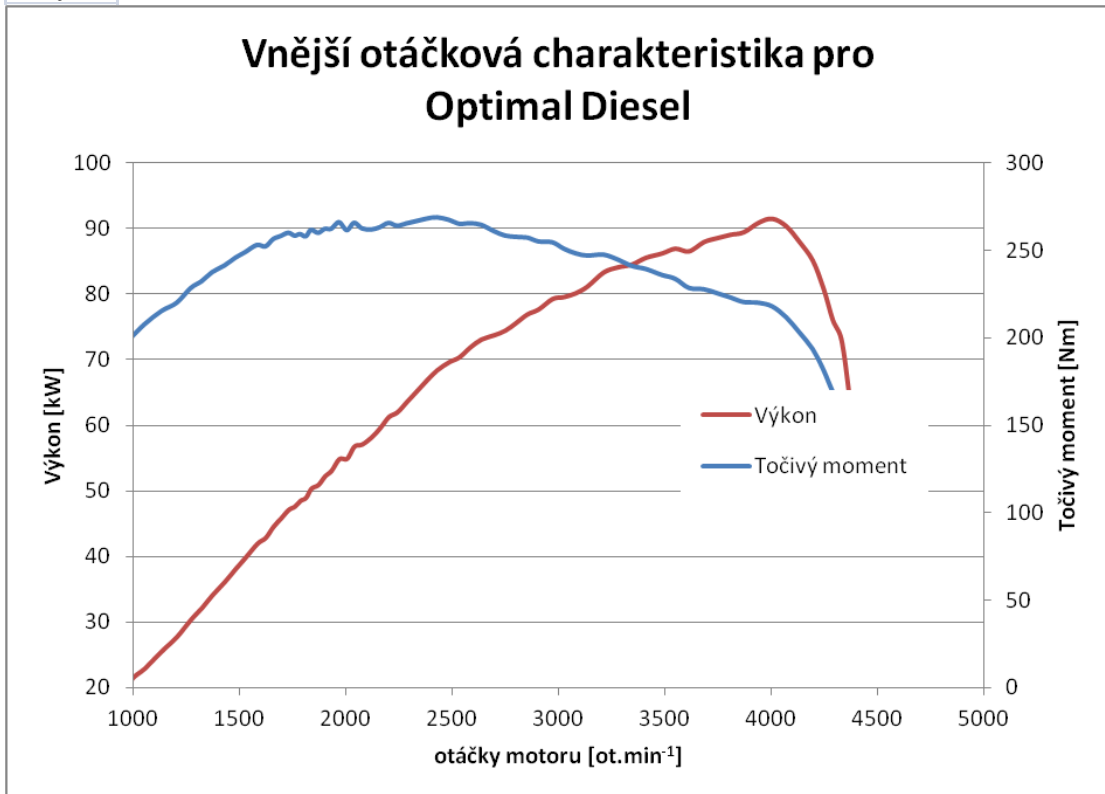
Zdroj: vlastní

Hlavní svislé osy grafů 17 a 18 jsou v logaritmickém měřítku. Z těchto grafů je zřejmé, že hodnoty NO<sub>x</sub> pro Optimal Diesel jsou mnohonásobně vyšší než pro Optimal Diesel individuálně aditivovaný VIF Super Diesel Aditivem, což Graf 20 jasně potvrzuje.

V tomto případě se ukazuje, že individuální aditivace Optimal Dieselu VIF Super Diesel Aditivem má až překvapivě významný vliv na snížení hodnot emisí NO<sub>x</sub>. Hodnoty NO<sub>x</sub> pro Verva Diesel se bohužel nepodařilo naměřit.

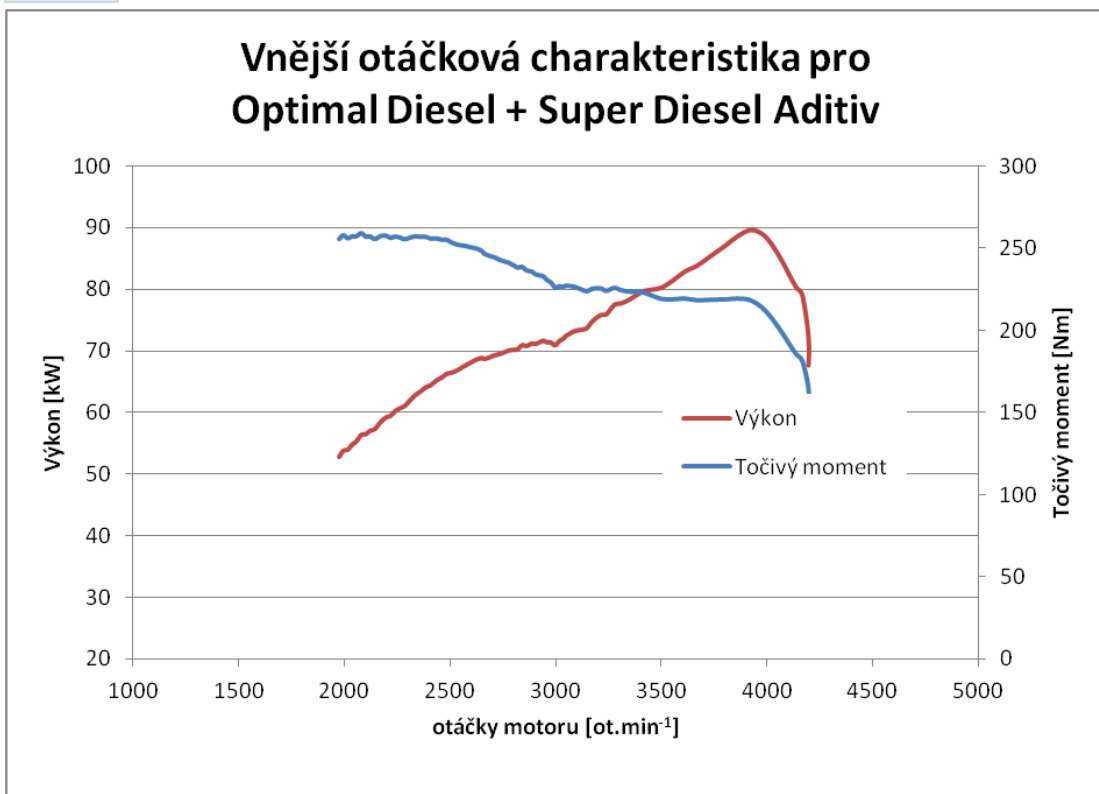
#### 6.4.5. Výkonové parametry:

Graf 21



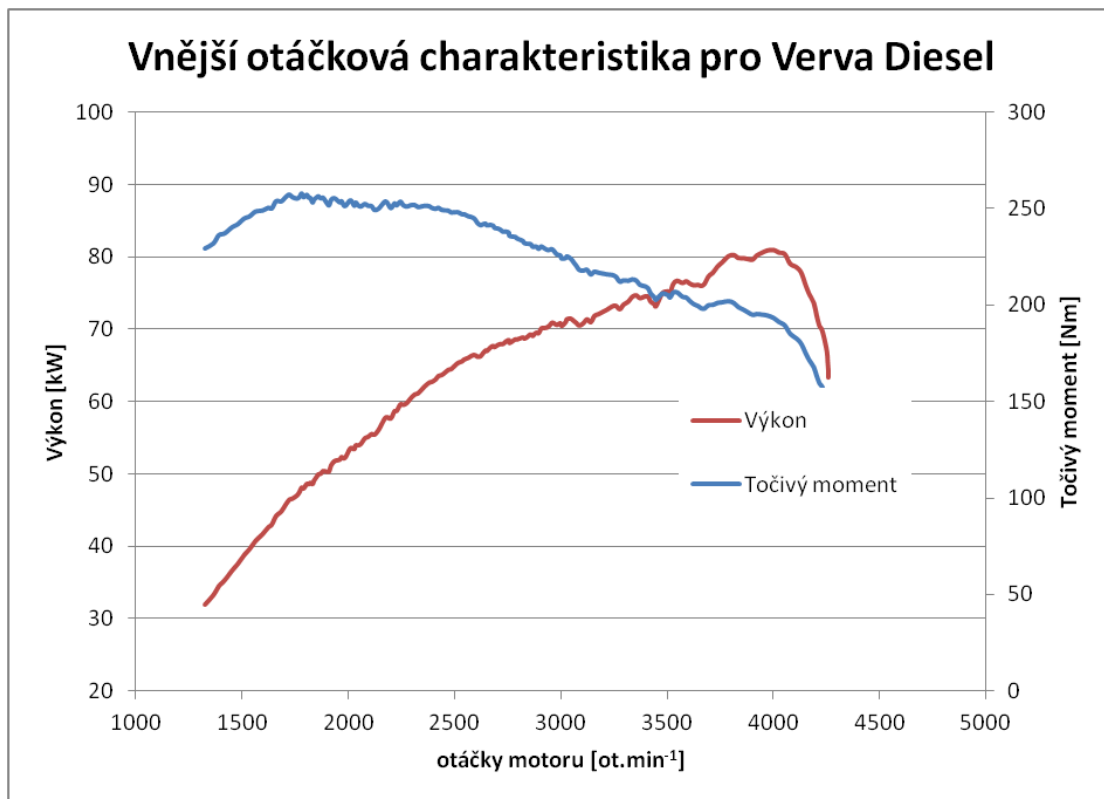
Zdroj: vlastní

Graf 22



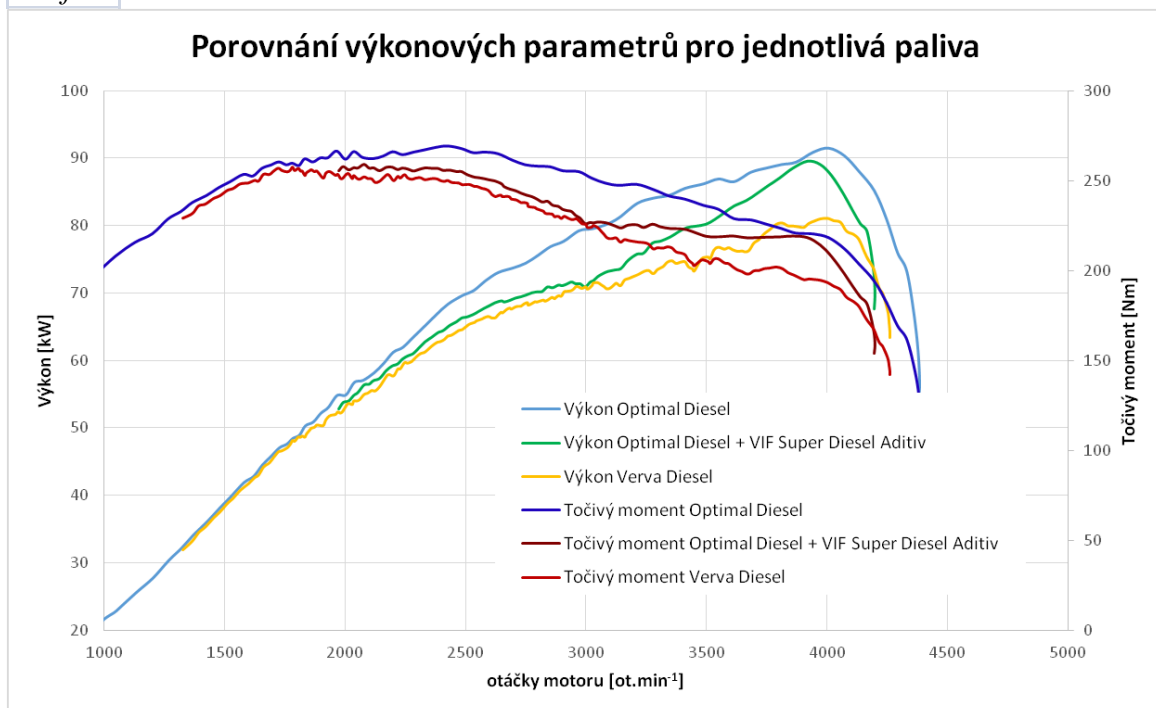
Zdroj: vlastní

Graf 23



Zdroj: vlastní

Graf 24



Zdroj: vlastní



Tab. 5

<b>Porovnání maximálních hodnot výkonových parametrů pro jednotlivá paliva</b>				
	Výkon [kW]	při otáčkách [ot./min.]	Točivý moment [Nm]	při otáčkách [ot./min.]
Údaje výrobce	77	4 000	250	1 780
<b>Optimal Diesel</b>	91	4 000	269	2 400
<b>Optimal Diesel + VIF Super Diesel Aditiv</b>	90	3 920	259	2 080
<b>Verva Diesel</b>	81	4 000	258	1 780

Zdroj: vlastní

Ačkoliv měření výkonových parametrů nebylo cílem této diplomové práce, tak se vždy po měření výfukových emisí pro doplnění na válcové zkušební staticky změřily výkonové parametry pro jednotlivá paliva.

Graf 24 a Tab. 5 nám ukazují, že nejvyšších hodnot výkonu a točivého momentu se dosáhlo s čistou motorovou naftou Optimal Diesel, a to v celém pásmu otáček motoru. Výkonu 91 kW je dosaženo ve 4 000 ot./min., tedy ve stejných otáčkách v jakých má motor dosahovat maximálního výkonu 77 kW podle výrobce. Točivý moment 269 Nm je dosažen ve 2 400 ot./min., kdežto výrobce udává maximum točivého momentu 250 Nm při 1 780 ot./min.

S palivem Optimal Diesel individuálně aditivovaným VIF Super Diesel Aditivem se dosáhlo maximálního výkonu 90 kW při 3 920 ot./min. a točivého momentu 259 Nm při 2 080 ot./min. Tedy oproti čisté motorové naftě Optimal Diesel došlo ke snížení točivého momentu o 10 Nm, avšak nutno podotknout, že až do 1 975 ot./min. je neznámý průběh výkonu a točivého momentu, neboť až do těchto otáček se bohužel nepodařilo naměřit data.

S Verva Dieselem dosáhlo vozidlo nejnižších maximálních hodnot jak výkonu, tak točivého momentu v porovnání s předchozími palivy. Tedy pro Verva Dieselem platí maximální výkon 81 kW při 4 000 ot./min. a maximální točivý moment 258 Nm při 1 780 ot./min. Na druhou stranu těchto maximálních hodnot bylo dosaženo přesně v otáčkách v jakých udává výrobce.

Se všemi palivy bylo dosaženo vyšších hodnot než udává výrobce, avšak s přehledem nejvyšších hodnot bylo dosaženo s čistou motorovou naftou Optimal Diesel. Individuální aditivací Optimal Dieselu VIF Super Diesel Aditivem se dosáhlo nižších hodnot v celém pásmu otáček motoru, avšak zcela nejnižších hodnot bylo dosaženo s palivem Verva Diesel, což si vysvětlují přítomností biosložky obsažené v tomto palivu, která má dle teorie vliv na snížení výkonu o 5 %.

## 7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda má aditivace motorové nafty vliv na emise vznětového motoru. Byla vybrána 3 paliva, přičemž emise vznikající jejich spalováním během jízdního cyklu byly porovnávány. Těmito palivy byla čistá motorová nafta Optimal Diesel bez biosložky od společnosti EuroOil, tatáž motorová nafta Optimal Diesel bez biosložky, avšak individuálně aditivovaná VIF Super Diesel Aditivem, a třetím palivem byla nadstandardně aditivovaná motorová nafta Verva Diesel od společnosti Benzina. Výsledky praktické části dokazují, že aditivace motorové nafty na emise vznětového motoru skutečně vliv má.

Co se týče pevných částic, tak nejnižších hodnot dosahuje čistá motorová nafta Optimal Diesel, následuje Optimal Diesel s individuální aditivací VIF Super Diesel Aditivem, a nejvíce pevných částic vozidlo vyprodukovalo s použitím Verva Dieselu. Rozdíly jsou nejvíce patrné v oblasti mimoměstského cyklu. Optimal Diesel je bez biosložky, naopak Verva Diesel biosložku (MEŘO) obsahuje, a tak je paradoxní, že dosahuje nevyšších hodnot pevných částic, neboť dle teorie by MEŘO obsažené v motorové naftě mělo snížit kouřivost až o 50 %. Individuální aditivace VIF Super Diesel Aditivem i načerpání nadstandardně aditivované motorové nafty Verva Diesel má tedy vliv na zvýšení produkce pevných částic.

Zejména v mimoměstském jízdním cyklu vede aditivace k nižším hodnotám  $\text{CO}_2$ , tedy v mimoměstském jízdním cyklu dosahují Optimal Diesel s individuální aditivací VIF Super Diesel Aditivem a Verva Diesel viditelně nižších hodnot  $\text{CO}_2$  ve srovnání s čistou motorovou naftou Optimal Diesel. Nejnižších hodnot celkového množství  $\text{CO}_2$  vozidlo dosáhlo s palivem Verva Diesel, nejvyšších hodnot naopak s palivem Optimal Diesel s individuální aditivací VIF Super Diesel Aditivem. Optimal Diesel s individuální aditivací dosahuje nižších hodnot v mimoměstském jízdním cyklu, avšak v městském jízdním cyklu dosahuje o něco vyšších hodnot oproti čisté motorové naftě Optimal Diesel.

Jasně nejnižších hodnot celkového množství  $\text{CO}$  dosahuje Optimal Diesel, kdežto nejvyšších hodnot dosahuje Verva Diesel. V jízdním cyklu jsou rozdíly nejpatrnější v městském cyklu, kde hodnoty Optimal Dieselu s VIF Super Diesel Aditivem a Verva Dieselu značně převyšují hodnoty samotného Optimal Dieselu. V mimoměstském jízdním cyklu naopak Optimal Diesel dosahuje vyšších hodnot oproti Optimal Dieselu s VIF Super Diesel Aditivem a Verva Dieselu, avšak rozdíly jsou velmi malé.

V případě  $\text{NO}_x$  se ukazuje, že individuální aditivace Optimal Dieselu VIF Super Diesel Aditivem má až překvapivě významný vliv na snížení hodnot emisí  $\text{NO}_x$ . Hodnoty  $\text{NO}_x$  pro Optimal Diesel jsou mnohonásobně vyšší než pro Optimal Diesel individuálně aditivovaný VIF Super Diesel Aditivem.

Výsledky výkonových parametrů ukazují, že značně nejvyšších hodnot bylo dosaženo s čistou motorovou naftou Optimal Diesel. Individuální aditivací téhož paliva se dosáhlo nižších hodnot v celém pásmu otáček motoru. Zcela nejnižších hodnot však bylo dosaženo s palivem Verva Diesel, což si vysvětlují přítomností biosložky obsažené v tomto palivu, která teoreticky vede snížení výkonu o 5 %.

Shrme-li si to, tak výsledky praktické části ukázaly, že aditivace motorové nafty vede ke zvýšení produkce pevných částic a  $\text{CO}$ , v mimoměstském jízdním cyklu vede k nižším hodnotám  $\text{CO}_2$ , a dále významně snižuje produkci  $\text{NO}_x$ .

## Použité zdroje:

- [1] ZEITHAMMER, Karel. *Vývoj techniky*. Praha : ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02836-4.
- [2] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory*. Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [3] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory*. 3. vyd. Brno : Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2545-8.
- [4] DYK, Antonín. *Paliva a maziva pro automobily*. Praha : SNTL, 1976. ISBN 04-227-76.
- [5] Motorová nafta. *Česká rafinérská*. [online] [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.crc.cz/cz/motorova-nafta.aspx>.
- [6] Nafta motorová. *ČEPRO*. [online] [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <https://www.ceproas.cz/nafta-motorova>.
- [7] Motorová nafta. *Česká asociace petrolejařského průmyslu a obchodu*. [online] [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.cappo.cz/res/archive/000068.pdf?seek=1333112086>.
- [8] MACEK, Jan. *Spalovací motory I*. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1.
- [9] MIKULÁŠEK, Jan. *Emise vozidlových motorů - Diplomová práce*. Brno : Mendelova univerzita v Brně, 2011.
- [10] STEJSKALÍK, Jaromír. *Snižování emisí škodlivin u vznětových motorů - Studijní opora*. Krnov : Střední škola automobilní, mechanizace a podnikání, 2012.
- [11] Nová auta plní limity pro emise CO2 s dvouletým předstihem. *cenia*. [online] [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www1.cenia.cz/www/node/554>.
- [12] BAZALA, Jiří. *Návrh EGR výměníku pro recirkulaci výfukových plynů - Diplomová práce*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2011.
- [13] AMBARISH, Datta, BIJAN Kumar Mandal. *Impact of alcohol addition to diesel on the performance combustion*. Applied Thermal Engineering. 2016, Indian Institute of Engineering Science and Technology, Shibpur, Howrah, West Bengal, India.
- [14] HÖNIG, Vladimír. *Nafta - přednáška k předmětu Paliva a maziva*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013.
- [15] HÖNIG, Vladimír. *Biaonafta - přednáška k předmětu Paliva a maziva*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013.

- [16] JAHNG, Syu-Ruei. CHEN, Kang-Shin. LIN, Sheng-Lun. LIN, Yuan-Chung. CHENG, Way Lee. *Reducing pollutant emissions from a heavy-duty diesel engine by using hydrogen additions*. Fuel, 2016.
- [17] JINDRA, Petr. *Vliv biopaliv na emise spalovacích motorů - Teze disertační práce*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2016.
- [18] Optimal Diesel bez biosložky. ČEPRO. [online] [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <https://www.ceproas.cz/optimal-diesel>.
- [19] ČERVENKA, Jiří. Obsah biosložky v naftě a co z něj vyplývá [Test naft 2013]. *Autorevue*. [online] 30.2.2013. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/obsah-bioslozky-v-nafte-aco-z-nej-vyplyva-test-naft-2013/ch-49476#articleStart>.
- [20] SUPER DIESEL ADITIV letní. VIF. [online] [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.vif.cz/produkty/aditiva-do-nafty/super-diesel-aditiv-letni.html>.
- [21] VACULÍK, Martin. Test dražší nafty: Benzina překvapila, Shell zklamal. *auto.iDnes.cz*. [online] 17.9.2008. [cit.2017-03-15]. Dostupné z: [http://auto.idnes.cz/test-drazsi-nafty-benzina-prekvapila-shell-zklamal-fxl-/automoto.aspx?c=A080915\\_145641\\_automoto\\_fdv](http://auto.idnes.cz/test-drazsi-nafty-benzina-prekvapila-shell-zklamal-fxl-/automoto.aspx?c=A080915_145641_automoto_fdv).
- [22] LÁNÍK, Ondřej. Paliva Verva od Benziny obstála v testu časopisu AutoDiesel. *AUTO.CZ*. [online] 19.4.2010. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/paliva-verva-benzina-obstla-v-testu-tasopisu-autodiesel-23051>.
- [23] LOULA, Václav. Odpověď ředitele jakosti Benzina, s.r.o. pana Ing. Louly na dotaz pana Michala Marosze. [online] 28.4.2013. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <https://cs-cz.facebook.com/Benzina.cz/posts/401259536647859>.

## Seznam obrázků:

Obr.1	Dieselův motor (1897).....	9
Obr.2	p - V diagram ideálního oběhu.....	13
Obr.3	p - $\alpha$ diagram ideálního oběhu.....	13
Obr.4	p – V diagram teoretického oběhu nepřepřítaného vznětového motoru.....	14
Obr.5	p – V diagram skutečného oběhu motoru Avia D432.100.....	14
Obr.6	p - $\alpha$ diagram skutečného oběhu motoru Avia D432.100.....	14
Obr.7	Jmenovitá otáčková charakteristika vznětového motoru.....	15
Obr.8	Celková charakteristika měrné spotřeby paliva motoru Avia D432.100.....	16
Obr.9	Nepřímé vstřikování motorové nafty.....	18
Obr.10	Přímé vstřikování motorové nafty.....	19
Obr.11	Kvalitativní regulace.....	20
Obr.12	Smíšená regulace.....	20
Obr.13	Vstupní a výstupní složky procesu spalování.....	28
Obr.14	Složení výfukových plynů vznětových motorů.....	28
Obr.15	Typické redukované emise škodlivin vznětového motoru v závislosti na přebytku vzduchu.....	30
Obr.16	Vysokotlaký systém EGR.....	32
Obr.17	Nízkotlaký systém EGR.....	32
Obr.18	Systém filtru pevných částic (FAP).....	33
Obr.19	Proces selektivní katalytické redukce.....	34
Obr.20	EEPS.....	44
Obr.21	Zjednodušené schéma EEPS.....	44
Obr.22	Spektrální analyzátor Bruker Matrix – MG5.....	45
Obr.23	Měření emisí výfukových plynů.....	46
Obr.24	Chlazení vozu v průběhu měření.....	46
Obr.25	VIF Super Diesel Aditiv.....	48

## Seznam tabulek:

Tab.1	Tlaky a teploty charakteristických bodů ideálního oběhu.....	13
Tab.2	Motorová nafta – vybrané ukazatele dle ČSN EN 590.....	25
Tab.3	EU standardní limity emisí pro osobní vozidla do 3,5 t.....	31
Tab.4	Porovnání parametrů motorové nafty, MEŘO a řepkového oleje.....	40
Tab.5	Porovnání maximálních hodnot výkonových parametrů pro jednotlivá paliva.....	65

## Seznam grafů:

Graf 1	Jízdní cyklus.....	42
Graf 2	Pevné částice Optimal Diesel.....	51
Graf 3	Pevné částice Optimal Diesel + VIF Super Diesel Aditiv.....	51
Graf 4	Pevné částice Verva Diesel.....	52
Graf 5	Porovnání množství pevných částic pro všechna paliva.....	52
Graf 6	Celkový počet pevných částic během jízdního cyklu.....	53
Graf 7	CO <sub>2</sub> Optimal Diesel.....	54
Graf 8	CO <sub>2</sub> Optimal Diesel + VIF Super Diesel Aditiv.....	54
Graf 9	CO <sub>2</sub> Verva Diesel.....	55
Graf 10	Porovnání množství CO <sub>2</sub> pro všechna paliva.....	55
Graf 11	Porovnání celkového množství CO <sub>2</sub> pro všechna paliva.....	56
Graf 12	CO Optimal Diesel.....	57
Graf 13	CO Optimal Diesel + VIF Super Diesel Aditiv.....	57
Graf 14	CO Verva Diesel.....	58
Graf 15	Porovnání CO pro všechna paliva.....	58
Graf 16	Porovnání celkového množství CO pro všechna paliva.....	59
Graf 17	NO <sub>x</sub> Optimal Diesel.....	60
Graf 18	NO <sub>x</sub> Optimal Diesel + VIF Super Diesel Aditiv.....	60
Graf 19	Porovnání množství NO <sub>x</sub> pro Optimal Diesel Optimal Diesel + VIF Super Diesel Aditiv.....	61
Graf 20	Porovnání celkového množství NO <sub>x</sub> pro Optimal Diesel a Optimal Diesel + VIF Super Diesel Aditiv.....	62
Graf 21	Vnější otáčková charakteristika pro Optimal Diesel.....	63
Graf 22	Vnější otáčková charakteristika pro Optimal Diesel + VIF Super Diesel Aditiv....	63
Graf 23	Vnější otáčková charakteristika pro Verva Diesel.....	64
Graf 24	Porovnání výkonových parametrů pro jednotlivá paliva.....	64