Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Vliv aditiv na provozní parametry vozidla

Diplomová práce

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

Diplomant: Bc. Michal Hrobař

PRAHA 2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Michal Hrobař

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

Název práce

Vliv aditiv na provozní parametry vozidla

Název anglicky

Infuelnce of additives on vehicle operating parameters

Cíle práce

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

Metodika

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

Práce bude strukturovaná dle následující osnovy:

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

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

aditiva, spalovací motor, spotřeba paliva, emise, hluk

Doporučené zdroje informací

HROMÁDKO, J.:Spalovací motory, Grada Publishing a.s., Praha, 2011, 296s, ISBN 978-80-247-3475-0

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

PAPOUŠEK, Miroslav a Pavel ŠTĚRBA. Diagnostika spalovacích motorů. 2., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2007. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN isbn978-80-251-1697-5

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

Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2021

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 27. 01. 2022

Čestné prohlášení

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

V Praze dne …… _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu této diplomové práce panu doc. Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D. za jeho vedení a užitečné rady, které mi poskytl při zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Jakubu Adamovi, který mi byl nápomocen při měření experimentální části této diplomové práce.

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá problematikou aditiv pro motorová vozidla. Teoretická část je zaměřena na druhy provozních kapalin, především na kategorie aditiv a jejich využití. Dále jsou popisovány jednotlivé provozní parametry vozidla, konkrétně se jedná o parametry výkonové charakteristiky, hluk, spotřebu paliva a produkci emisí výfukových plynů spalovacího motoru a s tím spojené jejich měření. Praktická část začíná představením testovaného vozidla, následně jsou popsány použitá měřidla, technické vybavení, nezbytné k provedení měření, a v neposlední řadě postup měření provozních parametrů. Praktická část je zakončena interpretací výsledků a jejich zhodnocením.

Klíčová slova: Aditiva, paliva, spotřeba paliva, emise, hluk, spalovací motor

Infuelnce of additives on vehicle operating parameters

Abstract: This diploma thesis deals with the issue of additives for motor vehicles. The theoretical part is focused on the types of operating fluids, especially the categories of additives and their use. Furthermore, the operating parameters of the vehicle are described, especially the parameters of power characteristics, noise, fuel consumption and production of exhaust emissions of the internal combustion engine and their measurements. The practical part begins with the introduction of the tested vehicle, further describes the procedure for measuring operating parameters and the technical equipment which is needed for measurement. The practical part ends with the interpretation of results and their evaluation.

Keywords: Additives, fuel, fuel consumption, emission, noise, combustion engine

Obsah

1 Úvod 1

2 Cíl práce 2

3 Metodika 3

4 Přehled řešené problematiky 4

4.1 Paliva 4

4.1.1 Automobilový benzín 4

4.1.2 Motorová nafta 6

4.2 Maziva 7

4.2.1 Motorové oleje 8

4.2.2 Převodové oleje 11

4.3 Aditiva 12

4.3.1 Antioxidanty a stabilizátory 14

4.3.2 Deaktivátory kovů 15

4.3.3 Inhibitory koroze 15

4.3.4 Biocidy 16

4.3.5 Antistatická činidla 16

4.3.6 Aditiva proti pěnivosti 17

4.3.7 Barviva a značkovací činidla 17

4.3.8 Aditiva proti zamrzání vody 17

4.3.9 Deemulgátory a odpařovače 18

4.3.10 Detergent – disperzivní (DD) aditiva 18

4.3.11 Aditiva pro úpravu mazivosti a modifikátory tření 19

4.3.12 Aditiva zvyšující oktanové číslo 20

4.3.13 Aditiva zvyšující cetanové číslo 21

4.4 Charakteristiky spalovacích motorů 21

4.4.1 Rychlostní (otáčkové) charakteristiky 22

4.4.2 Zatěžovací charakteristiky 24

4.4.3 Úplné charakteristiky 24

4.5 Spotřeba paliva 25

4.6 Hluk spalovacího motoru 25

4.6.1 Hluk vzniklý procesem spalování 26
4.6.2 Mechanický hluk spalovacího motoru 27
4.6.3 Hluk způsobený prouděním tekutin ve spalovacím motoru 27
4.7 Emise výfukových plynů spalovacích motorů 28
4.7.1 Oxid uhelnatý CO 29
4.7.2 Oxid uhličitý CO_2 30
4.7.3 Nespálené uhlovodíky HC 30
4.7.4 Oxidy dusíku NOx 31
4.7.5 Oxidy síry SO_x 32
4.7.6 Pevné částice PM 32
4.8 Měření produkce emisí 33
4.9 Homologace vozidel do 3,5 t v EU 34
4.9.1 Jízdní cyklus WLTP (WLTC + RDE) 35
5 Praktická část 37
5.1 Testované vozidlo 38
5.2 Přístrojové vybavení a měřidla 38
5.2.1 Válcová zkušebna 39
5.2.2 Regulovatelný ventilátor Filcar AL – 1500/C 40
5.2.3 Ventilátor ALM – 800 – 3 41
5.2.4 Emisní analyzátor Mini – PEMS 41
5.2.5 Částicový analyzátor TSI EEPS 3090 42
5.2.6 Ředička vzduchu 43
5.2.7 Analyzátor hluku CESVA SC310 43
5.3 Softwarové vybavení 44
5.3.1 Control Web 44
5.3.2 CESVA Capture Studio 45
5.4 Použité aditivum 45
5.5 Použitá paliva 46
5.6 Metodika měření 47
5.6.1 Metodika měření emisí výfukových plynů 47
5.6.2 Metodika měření výkonových parametrů 48
5.6.3 Metodika měření hluku 50
6 Výsledky a diskuse 51

6.1 Výsledky měření emisí 51
6.1.1 CO 51
6.1.2 CO_2 52
6.1.3 HC 53
6.2 Pevné částice 53
6.3 Výsledky měření výkonových parametrů 55
6.4 Výsledky měření hluku 56
7 Závěr 57
8 Seznam použitých zdrojů 58
9 Seznam obrázků 61
10 Seznam tabulek 62
11 Seznam grafů 62
12 Seznam použitých zkratek 63

1 Úvod

Automobilová doprava je nedílnou součástí dnešního světa. Nárust velkého počtu vozidel v dopravě, zejména osobních vozů se spalovacím motorem, s sebou přináší mnohá úskalí, především se výrazně zvýšila spotřeba pohonných hmot, což má negativní vlivy na životní prostředí. Z tohoto důvodu došlo k zpřísnění emisních předpisů a vývoji spalovacích motorů s vidinou dosáhnout vyšších výkonů a zároveň snížit produkci emisí výfukových plynů. V současné době jsou motorová vozidla pravidelně měřena na stanicích technické kontroly, aby se prokázalo, zda splňují emisní limity dané normy.

S vývojem hnacích agregátů došlo k inovacím i v oblasti paliv a aditiv. Například snížení obsahu síry v palivech vedlo k potřebě vyvinout mazací přísady na ochranu vstřikovacích čerpadel nafty. Růst poptávky po filtrech pevných částic podnítil vývoj palivových katalyzátorových aditiv, které napomáhají čištění nebo regeneraci filtru. V jiném případě existuje řada multifunkčních aditiv, který umožní snížit spotřebu paliva, zvýšit výkon vozidla a zároveň minimalizovat emise regulovaných výfukových škodlivin.

Nedostatek inovací v oblasti aditiv by mohl mít vážné důsledky. S pokračující snahou o čistší a úspornější motory vývoj motorů postupuje rychle, ale výrobci motorů uznávají, že vývoj aditiv musí tato zlepšení doprovázet a podporovat, má-li být zvýšený výkon zachován po celou dobu životnosti vozidla.

Obecně použití aditiv je velmi diskutované téma, a proto se autor rozhodl zpracovat tuto diplomovou práci, která se zabývá vlivem aditiv, konkrétně kondicionér kovů METALTEC – 1, na provozní parametry zážehového spalovacího motoru. V praktické části budou měřeny výkonové parametry na válcové zkušebně, produkce emisí výfukových plynů a hluk spalovacího motoru. Cílem práce je porovnat výsledky provozních parametrů vozidla Peugeot 206 před a po aplikaci aditiv. Veškeré měření bude probíhat na katedře vozidel a pozemní dopravy na technické fakultě ČZU v Praze.

2 Cíl práce

Tato diplomová práce si klade za cíl zjistit, zda použití vybraného aditiva METALTEC – 1, ovlivní provozní parametry vozidla. Měřeny byly výkonové parametry a emise výfukových plynů produkované zážehovým motorem, konkrétně se jedná o emise oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého, oxidy dusíku a v neposlední řadě nespálené uhlovodíky. Úkolem práce je také změřit hluk motoru před aplikací aditiva a následně výsledky porovnat po užití aditiva METALTEC – 1.

3 Metodika

Teoretická část práce vychází ze studia publikací a odborných článků věnující se problematice paliv, maziv, dále je kladen důraz na informace týkající se aditiv a provozních parametrů jako je výkon, spotřeba paliva, hluk, produkce emisí spalovacích motorů s tím spojené jejich měření a homologace vozidel. Informace obsažené v rešeršní části mají obohatit experimentální část o teoretické poznatky.

V experimentální části bude zkoumáno, zda aditivum METALTEC – 1 ovlivní výkonové parametry, produkci emisí výfukových plynů a hluk zážehového motoru testovaného vozidla Peugeot 206.

Předtím než proběhne první měření je zapotřebí připravit testované vozidlo, vyměnit kompletně olejovou náplň a při té příležitosti veškeré filtry, zahrnující palivový, olejový, kabinový filtr a v neposlední řadě filtr nasávaného vzduchu. V tomto stavu bude automobil připraven na měření emisních složek, výkonových parametrů a hluku.

Následně přijde na řadu měření emisí výfukových plynů na válcové zkušebně, kdy vozidlo absolvuje jízdní cyklus WLTC class 3b, podle zkušebních postupů pro homologaci lehkých vozidel WLTP, který simuluje reálný provoz. Po dokončení testu a zpracování dat vozidlo zůstává na válcové zkušebně a pokračuje se měřením výkonových parametrů. Nakonec se změří hluk pomocí analyzátoru hluku, a to za stavu kdy je kapota motoru zvednutá. Poté se bude měřit hluk i uvnitř kabiny. Při průběhu měření je důležité eliminovat okolní hluk, který by zkreslil výsledky měření.

Po změření se aplikuje aditivum do olejové náplně v poměru, který doporučuje výrobce pro zážehové motory. Aby se efekt aditiva projevil, bude zapotřebí najet alespoň 1000 km s testovaným vozidlem. Splněním požadovaného nájezdu bude vozidlo znovu měřeno stejným způsobem a výsledky zpracovávány programem MS Excel. Výsledky a celá práce bude vypracovaná za pomocí programu MS Word.

4 Přehled řešené problematiky

Tato kapitola popisuje teorii paliv, maziv a velká část je věnována skupině aditiv pro motorová vozidla. Následně jsou blíže popsány provozní parametry, které budou měřeny v experimentální části. Jedná se o výkonové parametry, spotřebu paliva, hluk a emise výfukových plynů produkovány spalovacím motorem. Na závěr je probrána problematika homologace vozidel a s tím související měření emisí.

4.1 Paliva

Pro automobilové spalovací motory existuje široká škála chemických látek požívaných jako paliva. Nejrozšířenější skupinu tvoří kapalná uhlovodíková paliva, vyráběná z ropy za pomocí destilace a rafinace. Mezi výhody spalování uhlovodíkových paliv se řadí velká vnitřní energie, nezanechávají zbytkový popel a bezproblémová skladovatelnost. Podle bodu varu uhlovodíků je lze rozdělit do následujících frakcí:

- Automobilový benzín – obsahující uhlovodíky vroucí při teplotě 30 – 200 °C.
- Petrolej – obsahující uhlovodíky vroucí při teplotě 140 – 250 °C.
- Motorová nafta – obsahující uhlovodíky vroucí při teplotě 150 – 360 °C.

Jelikož ropu není možné zahřát nad teplotu 400 °C, využívá se i dalších výrobních procesů, pro zpracování uhlovodíků s vyšším bodem varu, kdy dochází k přeměně uhlovodíkových složek. Jedná se o krakování a reformování [1].

4.1.1 Automobilový benzín

Automobilový benzín je kapalné palivo ropného původu, které se používá především v zážehových spalovacích motorech. Obsahuje uhlovodíky se 4 – 10 atomů uhlíku. Dále může obsahovat kyslíkaté látky, alkoholy a étery s omezeným obsahem kyslíku 2,7 % hmotnosti paliva. Pro zlepšení jízdních vlastností, výkonu a snížení produkce škodlivých látek se běžné přidávají v nízkém poměru (do 0,2 %) různá aditiva. Veškeré požadavky na složení automobilových benzínů upravuje norma ČSN EN 228 [2].

Mezi základní požadavky motorových benzínů patří odpařování i za nízkých teplot, z důvodu startování motoru za nepříznivých klimatických podmínek. Nesmí obsahovat těžké frakční podíly, jelikož způsobují ředění oleje a tím negativně ovlivňují produkci škodlivých emisí. Dalším požadavkem je čistota paliva, kdy je kladen důraz především na nulový obsah pryskyřice, která vytváří úsady v sacím potrubí, zanáší ventily a karburátor. Nesmí způsobovat korozi funkčních součástí, s čímž souvisí požadavek na nízký obsah síry. Posledním, ale neméně důležitým požadavkem je chemická stabilita, tedy udržení stálého oktanového čísla a možnost dlouhodobého skladování, aniž by došlo ke změně vlastností paliva [1].

Výše zmiňované **oktanové číslo** vyjadřuje odolnost paliva (ve směsi se vzduchem) proti samozápalu při kompresi v motoru, tedy odolnost benzínu proti detonačnímu spalování, které zapříčiňuje klepání motoru. Obecně platí, že čím je toto číslo vyšší, tím má palivo lepší antidetonační vlastnosti. Mezi základní procesní způsoby zvyšování oktanového čísla patří reformování, katalytické krakování, izomerace, alkylace nebo také pyrolýza [2][3].

Cílem je vyrobit složky s vysokým oktanovým číslem, které se pak mezi sebou mísí v předem daných poměrech. Pojem oktanové číslo se objevil už v roce 1927, kdy byl nejpoužívanější benzín maximálně s 60 nebo 70 oktany. V období 80. a 90. let došlo k postupnému snižování obsahu olova v benzínu, kvůli negativnímu vlivu na životní prostředí. Jednotlivé rafinerie byly nuceny vyrobit více složek s velkým oktanovým číslem, nebo zvyšovat oktanové číslo těchto složek [2] [4].

Po roce 1985 naprostá většina vyráběných vozidel je konstruována na benzín s oktanovým číslem 95. V ČR tato kategorie benzínu tvoří více jak 90 % prodejů. Zbytek tvoří automobilové benzíny s oktanovým číslem nad 98, řadící se do kategorie Super plus. Do této skupiny spadají i prémiové (aditivované) automobilové benzíny s oktanovým číslem 100. Současné moderní spalovací motory jsou vybaveny elektronickou regulací oktanového požadavku. Za pomocí regulace předstihu mění tento požadavek a zabezpečují tak klidný

chod bez klepání. Při vyšším oktanovém čísle se zvyšuje výkon a snižuje spotřeba. Při nižším oktanovém čísle je tomu naopak [4].

4.1.2 Motorová nafta

Jedná o směs ropných kapalných uhlovodíků, získávaných z ropy destilací a hydrogenační rafinací s bodem varu v rozmezí 150 – 360 °C. Používá se jako paliva pro vznětové motory v oblasti nákladní, lodní ale i železniční dopravy. Speciální využití lze také aplikovat u některých typů plynových turbín. Velmi často je motorová nafta obohacena aditivy pro zlepšení užitných vlastností, mezi ty nejběžnější patří například depresanty, detergenty, inhibitory koroze a mazivostní přísady. Mezi hlavní výhody motorové nafty patří menší riziko požáru při manipulaci a nižší spotřeba paliva, tedy ekonomický provoz. Požadavky motorové nafty jsou dány normou ČSN EN 590 [1] [5].

Při výrobě se mísí frakce destilované petroleje s frakcí destilované nafty. Jelikož obě složky obsahují sloučeniny síry, musí následovat proces zvaný hydrogenační odsíření, při kterém dochází k odstranění sirných sloučenin spolu se stopovým množství kyslíku a dusíku. Dle ČSN EN 590 musí konečný produkt obsahovat méně než 10 ppm síry [2].

Jedním z jakostních ukazatelů je hustota motorové nafty, která přímo ovlivňuje výhřevnost. Čím je hustota motorové nafty vyšší, tím roste výkon a spolu s ním i škodlivé emisní složky. Zároveň klesá objemová spotřeba paliva [6].

Cetanové číslo lze definovat jako rychlost vznícení paliva po vstřiknutí do spalovacího prostoru. Závisí na složení uhlovodíků: čím více parafinových a nižších aromatických sloučenin je v palivu, tím vyšší je cetanové číslo. S rostoucí hodnotou tohoto čísla roste i rychlost vznícení. Nicméně vazba mezi parametry vznětového motoru a cetanovým číslem je menší, než je tomu u zážehového motoru s oktanovým číslem. Problémy tvrdého chodu jsou řešeny především konstrukcí spalovacího prostoru a většími vstřikovacími tlaky, umožňující lepší rozstřik paliva. Motorové nafty s příliš velkým cetanovým číslem mají tendenci k předčasnému vznícení v oblasti vstřikovací trysky, což vede k nedokonalému spalování. Naopak motorové nafty s nižším cetanovým číslem

způsobují opožděné studené starty, následně vyšší emise, často „bílý kouř“ a hluk motoru způsobený vyššími tlaky ve spalovacím prostoru. U motorové nafty leží cetanové číslo v rozmezí 45 a 55 [1] [6].

Další důležitou vlastností motorové nafty je její chování za nízkých teplot. Od počátku jejího používání byly na trhu k dispozici dva druhy motorové nafty – letní a zimní, které se lišily svým bodem tuhnutí. Nicméně jen tento parametr k popisu chování motorové nafty za nízkých teplot nestačil. V 60. letech vědci přichází s jakostním ukazatelem – bod zákalu. Podstata byla v určení teploty, při které se začnou vylučovat první krystalky pevných parafinů. Nicméně ani tato teplota není kritická, jelikož krystalky jsou natolik malé, že nebrání v průchodnosti paliva. V druhé polovině 70. let byl tento parametr nahrazen bodem filtrovatelnosti, což je nejnižší teplota, při které zkoušená motorová nafta ještě prochází přes sítko s přesně definovanou velikostí. Motorovou naftu lze rozdělit do tříd podle ročního období:

- *Letní motorová nafta – tj. motorová nafta pro mírné klima třídy B v období od 15. 4. do 30. 9. s filtrovatelností nižší než 0 °C.*
- *Přechodová motorová nafta – tj. motorová nafta pro mírné klima třídy D v období od 1. 3. do 14. 4. a od 1. 10. do 15. 11. s filtrovatelností nižší než -10 °C.*
- *Zimní motorová nafta – tj. motorová nafta pro mírné klima třídy F v období 16. 11. do 28. 2. s filtrovatelností nižší než -20 °C [5].*

V oblastech s vyšší nadmořskou výškou, kde je riziko působení silných mrazů, je nabízena speciální arktická motorová nafta s filtrovatelností nižší než -32 °C a bodem zákalu nižším než -22 °C. Stejný typ motorové nafty používají také např. ozbrojené složky [5].

4.2 Maziva

Ve spalovacích motorech se používají především mazací oleje. Jedná se o směsi uhlovodíků s velkými molekulami vyráběné z ropy. K získání této směsi je zapotřebí provést

destilaci ropy za sníženého tlaku, jelikož nedestilují do teploty přibližně 400 °C. Hlavním charakteristickým znakem je jejich viskozita, nikoliv destilační rozmezí, jak je tomu v případě paliv. Mazací oleje jsou obecně lehčí než voda a zároveň nerozpustné ve vodě. Pro dosažení požadovaných vlastností oleje se mohou dodatečně přimíchávat aditiva zabraňující usazování karbonů na součástech, snižující opotřebení motoru nebo neutralizující agresivní kyseliny vzniklé při spalování. Podle původu lze mazací oleje rozdělit na živočišné, rostlinné, minerální a syntetické. Z hlediska použití pak existují oleje motorové a převodové [1] [7].

4.2.1 Motorové oleje

Motorový olej je bezesporu technologicky nejsložitější olejářský výrobek, jehož vlastnosti jsou dány řadou mnohdy protichůdných technických požadavků a parametrů. Motorový olej jsou dlouhodobě vystavován chemickým vlivům při průchodu mazací soustavou. Nejvíce je ovlivňován průchodem vzduchu s nečistotami, spálenými plyny pronikajícími kolem pístu a také vysokými teplotami v horní oblasti pístu a válce. Z tohoto důvodu musí být motorové oleje vysoce jakostní, aby vyhověly i při nejnepříznivějších podmínkách provozu [1] [7].

S postupným vývojem hnacích agregátů se vyvíjely také mazací oleje. Z prvopočátku se k mazání používal řepkový olej, rybí tuk nebo lůj. U dnešních moderních spalovacích motorů olej neslouží pouze k mazání. Požadavky na motorové oleje jsou následující:

- Dostatečné mazání ploch s kluzným třením – ložiska, písty, pístní kroužky, pístní čepy apod.
- Chlazení motoru a odvádění tepla – vana motoru, olejový chladič.
- Dotěsnění spalovacího prostoru a zamezení průniku plynů kolem pístu.
- Zanechání malého množství zbytků při spalování.
- Zanechání ochranného filmu na kovových plochách při odstavení motoru.
- Dlouhá životnost.

Minerální oleje jsou oleje ropného původu získané destilací surové ropy v rafinériích. Jednotlivé frakce se dále upravují rozpouštědly nebo hydrogenací, kdy dochází k odstranění nežádoucích látek. Rafináty a hydrogenáty jsou následně čištěny bělící hlinkou. Výsledným produktem je olej s nízkým bodem tuhnutí, používaný pro výrobu maziv se specifickými vlastnostmi.

Naproti tomu **syntetické oleje** jsou tvořeny úzkou frakcí uhlovodíků získávaných syntézou uhlovodíků, nikoliv z ropy. Nejčastěji jsou složeny z polyolefinů, aromatických sloučenin nebo organických kyselin a alkoholů. Od minerálních olejů se liší především svou vyšší odolností proti vysokým teplotám, mazivostí, vyšším viskozitním indexem a tekutostí při nízkých teplotách. Na trhu se tako objevují **oleje polosyntetické**, které jsou kombinací výše uvedených dvou, s tím že syntetická složka je zde zastoupena z více jak 50 % [7].

Jak již bylo zmíněno velkou roli při výběru motorového oleje hraje viskozita. Jedná se o nejdůležitější vlastnost ovlivňující tečení látek. Je definovaná jako odpor, jimž tekutina působí proti silám snažící se přemístit malé částice tekutiny. Viskozita oleje ovlivňuje nejen třecí plochy, ale celou mazací soustavu včetně olejového čerpadla, průtočné kanálky nebo okrajové ztráty ložisek. Při práci spalovacího motoru se mění teplota a tlak, což zapříčiňuje změnu viskozity oleje. Mírou této závislosti je koeficient viskozity – viskozitní index. Oleje s vyšším viskozitním indexem jsou méně závisle na teplotě. Z tohoto důvodu v roce 1926 Americká společnost **SAE** (Society of Automotive Engineers) vypracovala rozdělení olejů podle viskozitních tříd (viz. Tab. 1).

Tab. 1 Viskozitní klasifikace motorových olejů podle SAE 300 SEP 80 [7].

Viskozitní třída SAE	Dynamická viskozita při teplotě v °C max. (mPa s)	Dynamická viskozita při -18 °C (mPa s) podle SAE J 300d	Kinematická viskozita při 100 °C ($mm^2 s^{-1}$)	
			min.	max.
0W	3250 při -30		3,8	-
5W	3500 při -25	1480	3,8	-
10W	3500 při -20	2700	4,1	-
15W	3500 při -15	5000	5,6	-
20W	4500 při -10	12 000	5,6	-
25W	6000 při -5	24 500	9,3	-
20			5,6	9,3
30			9,3	12,5
40			12,5	16,3
50			16,3	21,9
60			21,9	26,1

Klasifikace obsahuje šest tříd „zimních“ olejů (0W – 25W) a pět tříd letních (20 – 60). Písmeno W vyjadřuje vztah viskozity oleje k teplotám za chladného počasí, přesněji vztah dynamické viskozity při teplotě – 18 °C. Následující číslice za písmenem W označuje kinematickou viskozitu při teplotě 100 °C. Moderní motorové oleje, označované jako celoroční, splňují požadavky i několika viskozitních tříd současně. Například olej s označením SAE 5W – 50 bude vhodný pro provoz motoru v mrazivém počasí a zároveň se nebude přiliš měnit jeho viskozita za vyšších teplot [7].

Postupem času vývojáři zjistili, že pouze viskozitní parametr nestačí, a proto bylo nezbytné vytvořit detailnější klasifikaci olejů zohledňující jejich provozní vlastnosti a také vhodnost olejů pro různé konstrukce a druhy motorů. V roce 1969 vešla v platnost výkonnostní klasifikace motorových olejů **API** (American Petroleum Institute, USA), která rozlišuje motorové oleje pro benzínové motory označené písmenem S a naftové, označené písmenem C. Výkonnost je značená také písmeny od A výše. V podstatě platí, že čím je toto písmeno dále v abecedě, tím je kvalita oleje vyšší. Jako příklad lze uvést motorový olej SH vhodný pro vysokootáčkové a přeplňované zážehové motory [1] [7] [8].

Pro úplnost je vhodné uvést eště klasifikaci ACEA (Association des Constructeurs Européens ďAutomobile, EU, 1996), která je spolu s API nejvíce používanou normou. Klasifikace ACEA dělí motorové oleje do čtyř tříd:

- A – pro osobní vozidla se zážehovými motory.
- B – pro osobní vozidla a lehká užitková vozidel se vznětovými motory.
- C – zážehové a vznětové motory s katalyzátory a DPF filtry.
- E – vznětové motory těžkých užitkových vozidel [8].

4.2.2 Převodové oleje

Převodové oleje se vyznačují svou vysokou přilnavostí k povrchu. Jejich úkolem je zajistit dostatečné mazání styčných ploch u ozubených kol převodovek a rozvodovek. Při odvalování ozubených kol je olej sevřen mezi funkčními plochami zubů, a tak nedochází k přímému kontaktu kov – kov (snížení hluku), tím se zmenší opotřebení spolu zabírajících zubů a zamezí se tak jejich poškození. Z tohoto důvodu se do převodového oleje přidávají aditiva pro vysoké kontaktní tlaky. Dalším požadavkem je snižování třecích ztrát v převodech a odvod tepla. Stejně jako motorové oleje musí i převodové oleje chránit funkční části proti korozi. V praxi se používají jak minerální oleje, tak oleje syntetické. Z hlediska použití je lze rozdělit na:

- Převodové oleje pro manuální převodovky.
- Převodové oleje pro automatické převodovky.
- Převodové oleje určené pro hydraulické měniče [7] [9].

Stejně jako oleje motorové jsou i oleje převodové zařazeny do viskozitních tříd SAE a do výkonnostních tříd podle klasifikace API. V tabulce 2 níže je uvedena viskozitní klasifikace převodových olejů podle normy SAE 306. Obecně platí, že pro provoz za nízkých teplot je lepší převodový olej s nižším číslem před písmenem W, naopak je tomu při použití oleje v tropických oblastech.

Tab. 2 Viskozitní klasifikace převodových olejů podle normy SAE 306 [7].

Viskozitní třída SAE	Max. teplota (°C) pro dynamickou viskozitu 150 Pa s	Kinematická viskozita při 100 °C ($mm^2 s^{-1}$)	
		minimální	maximální
70W	-55	4,1	-
75W	-40	4,1	-
80W	-26	7,0	-
85W	-12	11,0	-
90	-	13,5	24,0
140	-	24,0	41,0
250	-	41,0	-

4.3 Aditiva

Aditiva jsou přísady, které hrají důležitou roli v oblasti použití paliv a maziv ve spalovacích motorech. Jejich výhoda je především ve zlepšení vlastností primárních paliv nebo maziva, které nelze získat rafinačními procesy. V moderních automobilových palivech se používá kombinace několika aditivních složek, aby bylo možné splnit požadavky na výkonnost produktu [6].

S postupným vývojem spalovacích soustav a stále přísnějšími emisními předpisy se zvyšovaly i nároky na úpravu výfukových plynů, což omezilo použití určitých palivových aditiv. Emisní limity musí vozidlo splňovat po celou dobu provozu, a proto je nezbytné minimalizovat tvorbu usazenin. Obecně se aditiva používají z následujících důvodů:

- Zlepšení jízdních vlastností a stability paliva.
- Zlepšení spalovacích vlastností paliva.
- Snížení produkce škodlivých emisí spalováním paliva.
- Poskytnutí ochrany a čistoty motoru.
- Ekonomičnost provozu – snížení spotřeby paliva.

Aditivní složky se do paliv přidávají již při výrobě v rafinériích. Chemické sloučeniny přidávané ve vysokých koncentracích vyšších jak 1 % se nazývají mísící složky

a sloučeniny přidávané v nižších koncentracích jak 1 % se nazývají rafinérské (funkční) aditiva. Existuje eště skupina aditiv výkonnostních, které se přidávají v ještě nižší koncentraci. Kromě těchto aditiv existují směsi prodávané přímo spotřebiteli,nazývané sekundární produkty. Aditiva určená do benzínu a motorové nafty jsou odlišná v chemickém složení a struktuře. Koncentrace aditiva se může měnit v závislosti na chemickém složení paliv a dávkování musí být takové, aby byly splněny normy paliva [2] [6].

Tyto normy se měnily s vývojem spalovacích motorů a přísnějšími ekologickými předpisy. Za nejzásadnější změny lze považovat snížení obsahu síry, aromátů, benzenu, polyaromátů, olefinů, olova a zlepšení výkonnostních parametrů paliva, tedy oktanových čísel, cetanových čísel, oxidační stability a stability při skladování. Kromě toho dnešní paliva jsou ošetřena tak, aby zabraňovala tvorbě usazenin v motorech. Všechny tyto změny, i přes velké investice a vývoj výrobního procesu v rafinériích, nemohou rafinérie splnit bez použití aditiv.

V 70. letech došlo v mnoha zemích ke zvýšení ceny ropy, což poukázalo především na význam úspory paliva a důvodu ke změně. Jednou z nich bylo například použití motorů o menším zdvihovém objemu pracujících s vyšším výkonem. Další změnou ve složení paliva, která zvýšila potřebu aditiv, je použití kyslíkatých látek za účelem dosáhnout požadovaných objemů paliva, splnit nároky na oktanové a cetanové specifikace a snížit výfukové emise CO a HC [10].

Na konci 90. let se celková spotřeba palivových aditiv pohybovala kolem 600 000 tun. Aditiva do benzínu tvořila více než 50 %, aditiva do motorové nafty více než 40 % a aditiva pro letectví kolem 5 %. Mezi aditivy mají největší podíl detergenty a disperzanty (potlačují tvorbu vysokoteplotních úsad), a to přes 50 %. Následují přípravky zlepšující tekutost kolem 13 %, aditiva zlepšující cetanové číslo kolem 8 %, antioxidanty kolem 7 %, přípravky zlepšující oktanové číslo kolem 6 % a přípravky zlepšující mazivostní vlastnosti kolem 5 %. Přísady proti námraze a inhibitory koroze mají 3 %, zbývající podíl tvoří ostatní přísady. Pro indikaci aditiv v palivu se používá řada jednotek. V Evropě se často používá

termín ppm (parts per milion). Ve Spojených státech je obvyklé uvádět libry na tisíc barelů (ptb). Nicméně nejvhodnější je uvádět koncentraci v mg/kg [6].

Aditiva lze klasifikovat mnoha různými způsoby. Níže uvedená aditiva se využívají jak v automobilovém benzínu, tak v motorové naftě nebo motorovém oleji. Jedná se především o antioxidanty, deaktivátory kovů, inhibitory koroze, jejichž funkcí je udržování kvality paliv během skladování a přepravy. Dále budou podrobně popsány aditiva uplatňující se především v rámci motoru nebo palivovém řetězci. Některá z těchto aditiv jsou přidávána již při procesu výroby v rafinérii, aby bylo zajištěno, že palivo splňuje jakostní požadavky [6].

4.3.1 Antioxidanty a stabilizátory

Paliva se velmi často po výrobním procesu skladují a někdy tato doba může být i několik let. Snížení obsahu síry v benzínu a naftě výrazně zlepšilo stabilitu, ale také vytvořilo další problém vyplývající z odstranění přírodního antioxidantu. Při dlouhodobém skladování ropných produktů vzniká jejich degradace – znehodnocení kvality paliva. Z tohoto důvodu se začaly do paliv přidávat antioxidanty (také nazývané inhibitory oxidace), jejichž cílem je zamezit tvorbě kalu a usazenin při skladování, tedy degradaci paliv. Samotná degradace benzínu a motorové nafty se liší [1] [11].

Benzín vyrobený katalytickým krakováním obsahuje olefiny a diolefiny, které mají tendenci vytvářet při skladování gumu. Tato hmota se může usazovat v palivovém systému automobilu, zejména v karburátoru a sání, a tím negativně ovlivní výkon vozidla nebo produkci škodlivých emisí. Antioxidanty v automobilovém benzínu ukončují řetězové reakce volných radikálů, které se účastní nežádoucí oxidace. Volné radikály mohou také vznikat působením světla nebo tepelné energie. Mezi nejčastěji používané antioxidanty v benzínu se řadí aromatické diaminy a alkylfenoly v dávce 5 až 100 ppm [6] [10].

S drastickým snížením limitů síry v motorové naftě, a tedy odstranění přirozeného antioxidantu, došlo k provedení hydrogenační rafinace motorové nafty. Tento proces zlepšuje stabilitu paliva odstraněním dusíkatých, kyslíkatých a olefinických sloučenin.

Tímto procesem dojde k hydrogenačnímu odsiření a již není potřeba motorovou naftu dodatečně upravovat antioxidanty. Pokud však z nějakého důvodu nelze provést hydrogenaci, je zde možnost, v případě uskladnění, použít antioxidanty pro stabilizaci benzínu [10].

4.3.2 Deaktivátory kovů

Kovy obsažené v palivech urychlují oxidaci paliv tím, že katalyzují reakci, čímž se rychleji tvoří gumy a usazeniny. Mezi nejčastější kovy obsažených v palivech se řadí Fe, Cu, Ni, Co a Mn. Motorová nafta obsahuje vyšší množství kovů ve srovnání s benzínem. I malé množství kovu v palivu může mít zásadní vliv na stabilitu a degradaci paliva. Z tohoto důvodu jsou hojně využívány deaktivátory kovů. Obvykle se jedná o chelatační činidla, která tvoří komplex s kovovými ionty, které brání iontům působit jako katalyzátor pro procesy oxidace paliva a chrání palivo před případnou další kontaminací. Obecně se jako deaktivátor kovů používá N,N″-di-salicylidin-1,2-propandiamin.

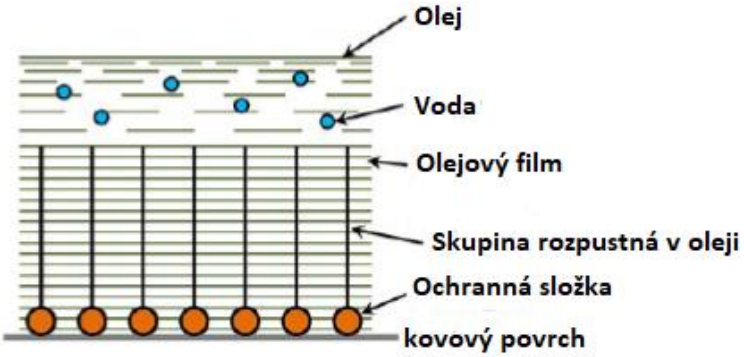
4.3.3 Inhibitory koroze

Vlhkost vyskytující se v atmosféře může napadnout kovové části skladovacích nádržích, potrubích, tankerech a palivových nádržích automobilů, což vede k vážným problémům s korozí. Následně se jednotlivé částice zkorodovaného kovu odlupují a ucpávají palivové filtry, karburátory a otvory vstřikovačů. Koroze je výsledkem reakce kyselých sloučenin, mezi které se řadí organické kyseliny (vznikají oxidací paliv a maziv) síra a její sloučeniny nebo také oxidy dusíku vznikající při zvýšených teplotách. Při volbě vhodného inhibitoru je nezbytné brát v potaz všechny materiály, se kterými přichází inhibitor do kontaktu, protože inhibitor může reagovat s každým kovem odlišně [13] [10].

Typickými příklady inhibitorů koroze jsou alkenyljantarové kyseliny, estery a soli aminů. Používají se v nízkých dávkách kolem 5 – 20 mg/kg. Tento typ látky se skládá ze dvou složek. První polární složka je přitahována ke kovu a tvoří ochrannou vrstvu. Druhá složka je oleofilní/hydrofobní skupina, která vytlačuje vodu směrem od kovového povrchu.

Proces ochrany kovu před korozí za pomocí inhibitoru koroze je znázorněn na obrázku 1 níže.

Obr. 1 Princip ochrany kovového povrchu před korozí [10].



4.3.4 Biocidy

Na dně nádržích se může hromadit voda, což je ideální prostředí pro kontaminaci paliva mikroorganismy v podobě bakterií nebo hub. Při jejich množení vznikají organické vedlejší produkty urychlující korozi palivové nádrže. Při velkém množství těchto bakterií mohou vznikat tzv. „mikrobiologické sliny“, které ucpávají palivové filtry. Tento problém řeší právě biocidy určené k ničení mikroorganismů. Biocidy mohou být cyklické iminy nebo aminové deriváty [6].

4.3.5 Antistatická činidla

Se snížením obsahu síry v naftě se však výrazně zvýšilo riziko statického náboje při čerpání. Motorová nafta s nízkým obsahem síry a aromatických látek má obecně špatnou mazací schopnost a elektrickou vodivost. Vysoce rafinované ropné produkty, mají velmi nízkou elektrickou vodivost, protože indukující iontové částice jsou odstraněny během intenzivních rafinačních procesů. Nebezpečí nastává při čerpání paliv vysokou rychlostí, jelikož by zde mohla vzniknout statická elektřina s jiskrovými výboji, které mohou zapálit

palivové páry. Antistatická činidla se používají převážně u motorové naftě, kde zvyšují vodivost paliv a zabraňují vzniku elektrostatického náboje a vzniku jiskry. Vzhledem k vysoké těkavosti benzínu se používají antistatická činidla zřídka, jelikož páry benzínu jsou příliš bohaté na to, aby explodovaly [6] [10].

4.3.6 Aditiva proti pěnivosti

Při procesu tankování paliva do nádrže, ať už osobního nebo nákladního vozidla, se mohou začít tvořit palivové pěny. Řešením je použití aditiv proti pěnivosti, která svou nízkou povrchovou absorpcí pohlcují bublinky paliva, čímž se kapalné fáze stane stabilní. Mezi tyto přísady patří polysiloxany a kopolymery oxidu křemičitého a polyetheru. Často bývají součástí komplexních aditivních balíčků. Musí tedy existovat rovnováha (kompatibilita) mezi sloučeninou proti pěnění a ostatními sloučeninami v aditivním balení [6].

4.3.7 Barviva a značkovací činidla

Barviva se často používají v ropných palivech pro identifikaci konkrétních produktů s rozdílnou kvalitou a vlastnostmi. Pro použití se nabízí široké spektrum barev, nicméně nejpoužívanější je antrachinon (modrá barva) nebo azosloučeniny (rudá barva). Při použití značkovače se barva nemění, dokud nepřijde daná látka do kontaktu s jiným činidlem. Když je do paliva přidáno adekvátní činidlo, palivo mění svůj odstín [6].

4.3.8 Aditiva proti zamrzání vody

Voda za chladného počasí zamrzá a může ucpat palivové potrubí i filtr, a tím bránit průtoku paliva. Prvotně se jako prevence proti zamrzání přidávaly nízkomolekulární alkoholy nebo glykoly, v pozdějších letech se však používají pouze glykolethery. Tyto látky v kombinaci s vodou mají bod tuhnutí Bod mnohem nižší než pouhá voda, čímž se vytvoří nemrznoucí směs. Existují i povrchově aktivní přísady které vytvářejí monomolekulární vrstvu na kovovém povrchu a zabraňují tak námraze funkčních částí. Jedná se o aminové soli a karboxylové nebo alkenyljantarové kyseliny [6] [10].

4.3.9 Deemulgátory a odpařovače

Při skladování může dojít ke kontaminaci paliva vodou, která může tvořit jakousi emulzi a znehodnotit kvalitu paliva. Při tvorbě emulze roste riziko spojené s ucpáním palivových filtrů, podporuje množení mikroorganismů a vznik koroze. Typickým znakem výskytu vody v palivu je mlhavý vzhled paliva. Odpařovače a deemulgátory jsou komplexní směsi široké škály alkoxylátových chemických látek, které jsou přidávány do paliv a maziv za účelem narušit stabilitu vzniklé emulze, a aby umožnily odstranění vody z paliva. Odpařovače jsou určené pro aplikaci do paliv, zatímco deemulgátory jsou určené pro mazací oleje [6] [11].

4.3.10 Detergent – disperzivní (DD) aditiva

Detergent-disperzivní přísady jsou aditiva zabraňující tvorbě různých usazenin, dále se využívají k čištění palivového systému a spalovacího prostoru motoru. Jejich použití je nevyhnutelné, jelikož žádný stupeň rafinace paliva nebo mazacího oleje v rafinérii nemůže eliminovat tvorbu usazenin v motorech. Usazeniny sazí, kalů, laků a laků se vytvářejí buď v důsledku nedokonalého spalování paliva nebo v důsledku degradace mazacího oleje motoru. Jedná se o nejpoužívanější aditivum přidávané do paliv a maziv [1] [6].

U zážehových motorů jsou nejzásadnější usazeniny v oblasti karburátoru (u starších automobilů) a ve ventilech, jelikož zvyšují poměr paliva a vzduchu ve směsi plynů vstupující do spalovací komory benzínových motorů. V důsledku toho se ve výfukových plynech zvyšuje množství nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého. Častým problémem je také tvorba usazenin v oblasti vstřikovače paliva a na stěnách spalovacího prostoru. Zbývající benzín v tomto bodě je vystaven vysokým teplotám a může podléhat termooxidační degradaci za vzniku gumovitých materiálů, které následně změní tvar rozstřiku paliva. V praxi se používá velké množství detergentních složek, mezi ty nejčastější patří amidy mastných kyselin, ester-aminy, polyaminy nebo fenoly [11].

Co se týká vznětových motorů, tak použité detergenty jsou velmi podobné detergentům využívaných v zážehových motorech. Mezi nejčastější se řadí deriváty kyseliny

polyalkenyljantarové a některé bezpopelové polymerní sloučeniny. Snahou je eliminovat usazeniny v oblasti vstřikovače, jelikož vstřik paliva nejvíce ovlivňuje tvorbu výfukových emisí. Dále se často usazeniny tvoří v systému recirkulace výfukových plynů (EGR). Shromažďování těchto usazenin může snížit průtok EGR, což má za následek klepání motoru a zvýšení emisí NOx u dieselových motorů. Nutno podotknout, že detergentní přísady nesnižují přímo emise výfukových plynů z vozidel, ale spíše snižují usazeniny, které negativně ovlivňují výkon a chod motoru [6].

4.3.11 Aditiva pro úpravu mazivosti a modifikátory tření

Při práci motoru se asi 18 % tepelné energie ztratí vnitřním třením v součástech motoru, přes ložiska, ventilové rozvody, písty, pístní kroužky a pouze 25 % tepelné energie paliva se přemění na užitečnou práci na klikovém hřídeli. Tření, ke kterému dochází na pístních kroužcích a částech ventilového rozvodu, představuje více než 50 % tepelných ztrát. Pro zvýšení účinnosti, tedy snížení těchto ztrát se do paliv a motorových olejů přidávají přísady zlepšující mazivost a modifikátory tření [6].

Aditiva pro zlepšení mazivosti a modifikátory tření vytvářejí na kovovém povrchu film, který snižuje třecí opotřebení a tím snižují spotřebu paliva. Aditiva zlepšující mazací schopnosti oleje jsou určeny k ochraně palivového čerpadla, kdežto modifikátory tření snižují tření mezi pohyblivými částmi motoru. Palivové čerpadlo na naftu je důležitou součástí motoru. Je mazáno palivem a nepoužívá se žádné vnější mazivo, a proto palivo musí mít odpovídající viskozitu a mazací vlastnosti, aby bylo čerpadlo chráněno před opotřebením [6] [10].

Látky zlepšující lubricitu jsou obecně přímé uhlovodíkové řetězce s polární hlavní skupinou zahrnující aminy, amidy a jejich deriváty nebo karboxylové kyseliny a jejich deriváty. Jedná se o povrchově aktivní sloučeniny a koncentrují se na povrchu, přičemž vytvářejí extrémně tenké adsorpční vrstvy. Viskózní odpor v mazacím filmu je redukován tak, že tyto aditivní složky pomáhají kovovým povrchům snadněji klouzat po sobě. Doporučená dávka těchto lubricitů je v rozmezí 50 – 300 mg/kg [11].

4.3.12 Aditiva zvyšující oktanové číslo

Do automobilového benzínu se přidávají tzv. antidetonační aditiva, která snižuje klepání motoru zvýšením oktanového čísla paliva. Klepání benzínového motoru je jev spalování, ke kterému dochází, když směs vzduchu a paliva v benzínovém motoru nehoří plynule nebo rovnoměrně. „Klepání“ je tedy akustický jev, který vzniká při vznícení směsi vzduchu a paliva před horním úvrati pístu motoru. Spalování paliva je vícestupňový oxidační proces, při kterém se zpočátku vytvářejí organické hydroperoxidy. Ty se rozkládají za vzniku volných radikálů, které zahajují reakce větveného řetězce. Tyto řetězové reakce způsobují samovznícení, jinak také detonaci. Tím dochází k náhlému kolísání tlaku za vzniku značného hluku – klepání motoru. Pokud tento jev přetrvává může dojít k poškození součástí motoru, jako jsou ventily a píst. Zároveň dochází ke ztrátě určitého množství tepla a snižuje se palivová účinnost motoru [6].

Olovo a olovnaté sloučeniny, tzv. alkyly olova, mají obecně antidetonační účinek, což vedlo k širokému použití těchto aditiv k vývoji motorů s vyšším výkonem a vyšším kompresním poměrem. Obvykle představují nejekonomičtější způsob, jak dosáhnout požadovaných oktanových čísel. U bezolovnatého benzinu se požadované oktanové číslo obecně dosahuje přísnější rafinací, což však snižuje výtěžnost a zvyšuje provozní náklady. Nevýhodou je, že olovo podporuje tvorbu nežádoucích usazeniny ve spalovacím prostoru a není šetrné k životnímu prostředí, a proto ve většině zemí je z ekologických důvodů použití olova v benzínu jako aditivum zakázáno. [6] [11].

Olovnaté sloučeniny v benzínu tak nahradily sloučeniny na bázi manganu tzv. MMT (Methylcyklopentadienyl-mangan-trikarbonyl) sloučeniny, feroceny na bázi železa nebo bezpopelové antidetonační aditiva složená převážně z uhlíku, vodíku, kyslíku a dusíku. Pro své karcinogení vlastnosti se postupně přešlo na sloučeniny obsahující kyslík s vysokým oktanovým číslem (Bioetanol). Oxygenáty mají nejen vysoké oktanové číslo, ale atomy kyslíku v molekulách zlepšují spalovací proces, což má za následek nižší emise, CO a uhlovodíků. U moderních zážehových motorů se hodnota oktanového čísla pohybuje v rozmezí 90 – 100 [4] [6] [10].

4.3.13 Aditiva zvyšující cetanové číslo

Význam cetanového čísla byl vysvětlen v kapitole 4.1.2 Motorová nafta, nicméně ve zkratce cetan je nerozvětvená molekula alkanu s otevřeným řetězcem s 16 atomy uhlíku. Této molekule bylo přiděleno cetanové číslo 100, zatímco alfa-methylnaftalenu bylo přiděleno cetanové číslo 0. V souladu s tím cetanové číslo měří, jak rychle palivo začne hořet, tedy kdy dojde k samovznícení paliva se vzduchem. Jedná se o časový úsek mezi začátkem vstřikování a začátkem spalování (zapálením) paliva. Motorová nafta s nevhodným cetanovým číslem má za následek špatné startovací vlastnosti (zejména za chladného počasí), vyšší hladinu hluku, zvýšenou spotřebu paliva a vyšší emise výfukových plynů. [6] [11].

Obecně motorová nafta vyráběná z ropy má cetanové číslo v intervalu 40 – 55. Paliva s vyšším cetanovým číslem, která mají kratší zpoždění zážehu, poskytují více času na dokončení procesu spalování paliva. Alkoholy mají mnohem nižší cetanové hodnoty a pro hladký chod motoru vyžadují přidání aditiv zvyšující cetanové číslo [6].

Aditiva zlepšující cetanové číslo jsou převážně alkylnitráty, z nichž nejběžnější je 2-ethylhexylnitrát (EHN), které se snadno rozkládá a poskytuje další kyslík pro lepší spalování. Používá se již více než osmdesát let ke zvýšení cetanového čísla motorové nafty. Dále se používají také peroxidy, dusitany, dusičnany, tetraazoly a thioaldehydy, ale jsou obecně nákladnější než alkylnitráty [11].

4.4 Charakteristiky spalovacích motorů

Charakteristikou pístového spalovacího motoru se rozumí grafické znázornění závislostí mezi hlavními provozními parametry motoru v soustavě pravoúhlých souřadnic. Podle zvoleného parametru motoru lze charakteristiky rozdělit na:

- Rychlostní (otáčková) charakteristiky – kde nezávisle proměnnou jsou otáčky klikového hřídele motoru označené n [min^{-1}].

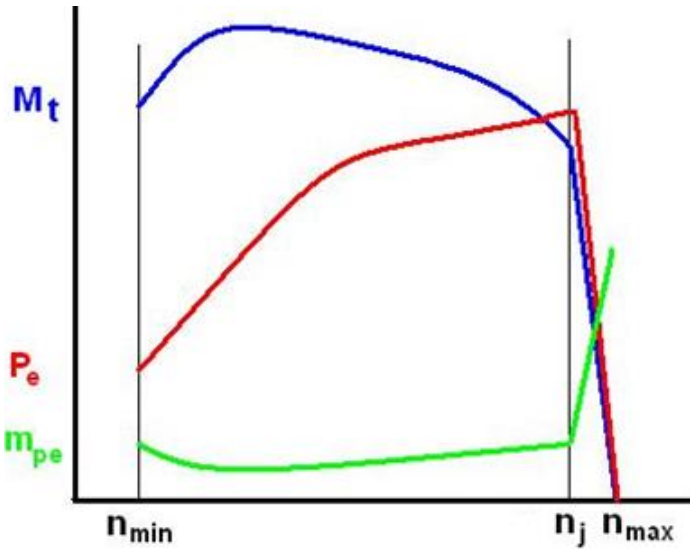
- Zatěžovací charakteristiky – kde nezávisle proměnnou je zatížení motoru vyjádřené za pomocí točivého momentu Mt [Nm], středním efektivním tlakem pe [MPa] popřípadě užitečným výkonem Pe [kW].
- Seřizovací charakteristiky – kde nezávisle proměnnou představuje nejčastěji úhlel záženu α [°] nebo otevírací tlak trysky p [MPa].
- Úplné (univerzální) charakteristiky – od ostatních se liší tím, že je vyjádřena pomocí průsečíkového trojrozměrného diagramu. Proměnná veličina (spotřeba paliva, emise atd.) je závislá na otáčkách n a točivém momentu [13] [14].

4.4.1 Rychlostní (otáčkové) charakteristiky

Otáčková charakteristika znázorňuje závislost nejčastěji užitečného výkonu, točivého momentu, hodinové spotřeby paliva nebo měrné spotřeby na otáčkách motoru. Ovládací prvek motoru, který dodává palivo je nastaven do konstantní polohy.

V případě vznětového motoru se nastavuje páka vstřikovacího čerpadla na maximální dodávku paliva, čimž se dosáhne při jmenovitých otáčkách n_j motoru i jmenovitého výkonu (viz. Obr. 2).

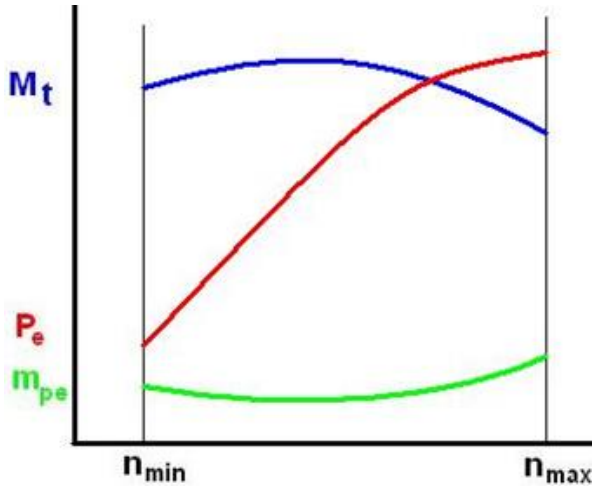
Obr. 2 Jmenovitá otáčková charakteristika vznětového motoru [15].



Za pomocí regulátoru lze tuto dávku paliva omezit. Při snížení dodávky paliva se snižuje i výkon motoru. Takto nastavená páka vstřikovacího čerpadla odpovídá otáčkové charakteristice motoru při částečném zatížení. Pokud se jmenovité otáčky budou rovnat maximálním otáčkám vznětového motoru, množství paliva, vstřikovaného do spalovacího prostoru, bude odpovídat dodávce paliva při volnoběhu. Omezovací regulátor se v osobních a nákladních automobilech se vznětovým motorem používá z důvodu bezpečnosti, jelikož chrání motor před „přetočením“ motoru. Pokud je motoru dodávána maximální dávka paliva a dojde k jeho přetížení, sníží se tak i otáčky motoru. Proto mají vznětové motory momentovou zálohu, které je využíváno při provozu motoru za mimořádných podmínek (například jízda do kopce). Jedná se o tzv. převýšení točivého momentu motoru, které dosahuje hodnot 12 – 14 % u nepřeplňovaných motorů a 17 – 27 % u přeplňovaných motorů [13].

Otáčková charakteristika u zážehových motorů se měří tak, že škrtící klapka karburátoru je celá otevřená. V případě motorů s přímým vstřikování se otevírá vzduchová přívěra. Otáčková charakteristika vznětových motorů je graficky podobná otáčkové charakteristice vznětových motorů. Rozdíl je v omezení maximálních otáček pomocí elektroniky motoru, a tedy charakteristika končí maximálními otáčkami motoru. Z otáčkové charakteristiky zážehového motoru na obrázku 3 je patrné, že s rostoucími otáčkami n značně klesá kroutící moment motoru M_t vlivem špatného plnění válců [13].

Obr. 3 Jmenovitá otáčková charakteristika zážehového motoru [15].



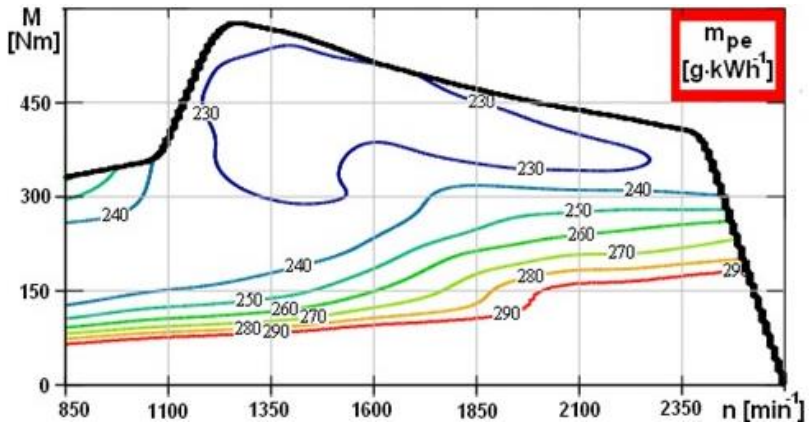
4.4.2 Zatěžovací charakteristiky

Zobrazuje závislost parametrů motoru na jeho zatížení při konstantních otáčkách klikového hřídele. Proměnnými hodnotami jsou výkon motoru, točivý moment nebo efektivní tlak. Nejčastěji se pak sleduje měrná efektivní spotřeba m_{pe} [g . kWh^{-1}], emise a teplota výfukových plynů t_v [K]. Z naměřených hodnot pro zatěžovací charakteristiky se sestavuje úplná charakteristika, někdy označovaná jako vrstevnicová [13] [14].

4.4.3 Úplné charakteristiky

Úplná charakteristika je vynášena v pravoúhlé soustavě a zobrazuje závislost dvou proměnných. Nejčastěji se jedná o závislost točivého momentu motoru M_t a otáček klikového hřídele motoru n. Dále jsou zde vyneseny křivky konstantních hodnot vybraných veličin, jako je měrná efektivní spotřeba paliva m_{pe}, užitečný výkon P_e , teploty výfukových plynů t_v, emisní složky [% ppm] případně kouřivost[m^{-1}]. Na obrázku 4 je znázorněna úplná charakteristika měrné spotřeby paliva motoru Avia D432.100.

Obr. 4 Úplná charakteristika měrné spotřeby paliva motoru Avia D432.100 [15].



Úplná charakteristika se neměří přímou metodou, jelikož vynesené veličiny jsou převzaty z otáčkové nebo zatěžovací charakteristiky. Cílem je zobrazit rozmezí provozní oblasti motoru s nejvyšší účinností a stanovit tak optimální pracovní režim motoru. Obecně je snaha dosáhnout určitého výkonu při nejmenší měrné efektivní spotřeby paliva a zlepšení jízdního komfortu [13] [14].

4.5 Spotřeba paliva

Mezi důležité provozní parametry motoru patří spotřeba paliva, která je hlavním ukazatelem hospodárnosti provozu vozidla a zároveň ukazatelem jeho technického stavu. V praxi je nejčastěji vyjádřena jako spotřeba paliva v litrech na 100 km, kterou vozidlo spálí při provozu. Spotřeba paliva je přímo měřena při jízdních zkouškách (za provozu) nebo v laboratorních podmínkách na válcové zkušebně. Pro homologaci vozidel o hmotnosti do 3,5 t se využívá nepřímá metoda výpočtu spotřeby paliva z emisních složek při známém objemovém průtoku spalin [13] [16] [17].

Z úplné charakteristiky lze určit měrnou spotřebu paliva m_{pe}, určující přeměnu tepelné energie paliva na mechanickou práci motoru. Čím je hodnota hodnota m_{pe} nižší, tím se zvyšuje celková účinnost motoru η_c. Měrnou spotřebu paliva je možné určit i výpočtem ze změřené spotřeby paliva na zkušebně motoru [14].

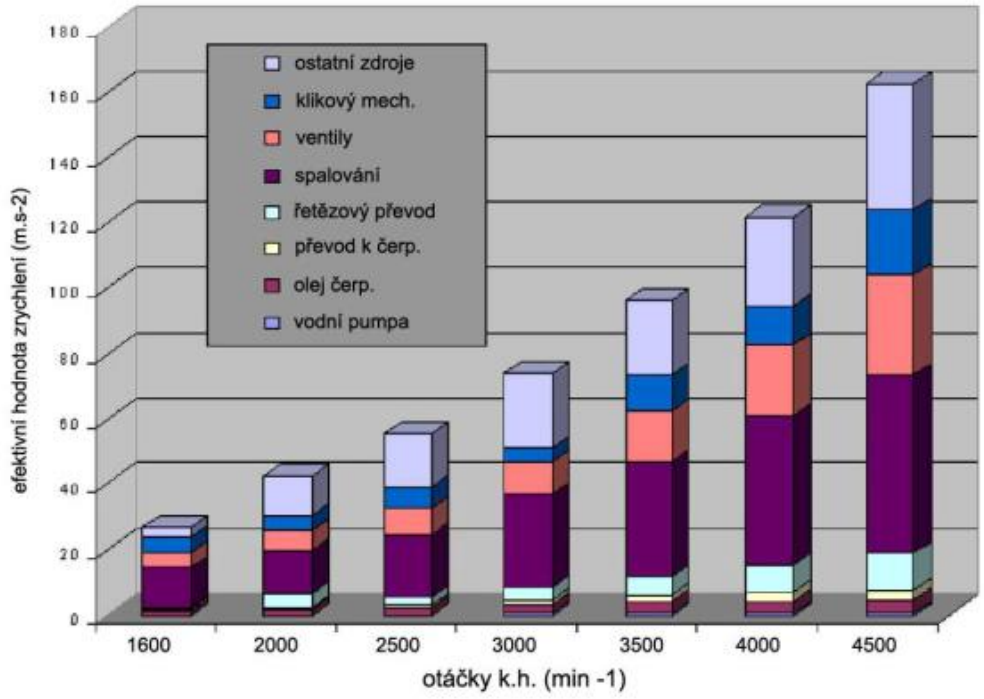
4.6 Hluk spalovacího motoru

Spalovací motor se skládá z několika na sobě závislých systémů, které jsou zdrojem hluku a vibrací. Zdroje hluku spalovacího motoru lze podle vzniku rozdělit do tří skupin:

- Hluk vzniklý procesem spalování.
- Mechanický hluk spalovacího motoru.
- Hluk způsobený prouděním tekutin ve spalovacím motoru [18].

Na následujícím obrázku je zobrazen podíl jednotlivých složek vibrací způsobující hluk spalovacího motoru. Ze sloupcového grafu na obrázku 5 je patrné že s rostoucími otáčkami motoru se vibrace a hluk zvyšují, a zároveň v každém otáčkovém režimu největší podíl vibrací byl tvořen procesem spalování.

Obr. 5 Podíl vibrací spalovacího motoru v závislosti na otáčkách [19].



4.6.1 Hluk vzniklý procesem spalování

Při procesu spalování dochází ve spalovacím prostoru ke vznícení směsi paliva se vzduchem, čímž se prudce zvýší tlak. Rychlost spalování této směsi přímo ovlivňuje hluk motoru za provozu. Pokud tato rychlost spalování roste, dochází k hlučnějšímu chodu motoru. V extrémním případě může dojít k detonační spalování, kdy vzniklé plameny dosahují velmi vysokých rychlostí a dochází k velmi výraznému „bouchání“ motoru. Pakliže je motor v tomto stavu provozován dlouhodobě, může dojít k zapečení písních kroužků a zadření motoru. Prudké nárazy pístu na dno válce se šíří spalovacím prostorem a přenášení se dále na klikový mechanismus [18].

4.6.2 Mechanický hluk spalovacího motoru

Při provozu spalovacího motoru dochází ke vzájemnému kontaktu kovových ploch, což vede ke vzniku vibrací rozšiřující se do bloku motoru a hlavy válců. Nejčastějším zdrojem hluku a vibrací je:

- *Dosednutí ventilů do sedel při jejich zavírání.*
- *Vymezování vůle ventilového rozvodu při otevírání ventilů.*
- *Pohyb pístních kroužků v dráze pístu.*
- *Klopení pístů v úvratích vratného pohybu.*
- *Vymezování vůle v uložení pístního čepu.*
- *Vymezování vůle v uložení hlavního ojničního ložiska.*
- *Tření vačky po kontaktní ploše ventilového zdvihátka.*
- *Hluk kluzných ložisek (hlavní ložiska klikového hřídele).*
- *Olejové čerpadlo.*
- *U vznětových motorů palivové čerpadlo.*
- *Vstřikovače paliva [19].*

Jednotlivé součásti spalovacího motoru mění své rozměry v závislosti na změně teploty při spalování. S rostoucí teplotou se součásti motoru roztahují a zmenšují tak vůle mezi pohyblivými díly. Obecně tedy platí, že hluk studeného motoru bude dosahovat vyšších hodnot než hluk motoru zahřátého.

4.6.3 Hluk způsobený prouděním tekutin ve spalovacím motoru

Pro klidný chod motoru je třeba zajistit dostatečné chlazení a mazání jednotlivých součástí. Proudění chladicí kapaliny a motorového oleje způsobuje také hluk a vibrace, nicméně hodnoty jsou tak nízké, až zanedbatelné. Značný hluk ve spalovacím motoru vytváří

především proudění vzduchu v sacím potrubí a proudění spalin v potrubí výfukovém. Hluk v sacím potrubí je z velké míry ovlivněn konstrukcí sacího traktu a objemem nasávaného vzduchu. Prudký pokles tlaku ve spalovacím prostoru po otevření výfukového ventilu a odvodu spalin způsobí značný nárust hluku. Tento problém řeší tlumiče hluku umístěné ve výfukovém potrubí [19].

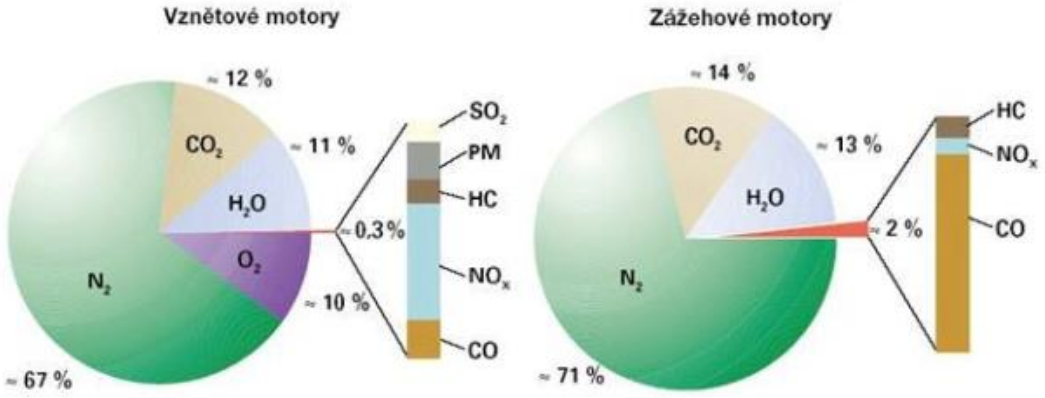
4.7 Emise výfukových plynů spalovacích motorů

Ve 21. století se vývoj motorů a hnacích agregátů ubíral směrem snížení emisí motorových vozidel. Motory osobních automobilů a vozidla, jsou definovány především svou „emisní čistotou“ než jejich jmenovitým výkonem. Legislativa týkající se výfukových emisí spalovacích motorů všech kategorií se postupně zpřísnila a opakovaně vedla k vývoji analytických a testovacích přístrojů, na kterých je založena. První významné snížení všech vypouštěných znečišťujících látek bylo dosaženo elektronickou optimalizací spalovacího procesu, čímž se snížil především podíl složek oxidu uhelnatého (CO) u benzínových motorů. U motorů dieselových byl kladen důraz na snížení emisí nespálených uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO_x) a pevných částic (PM) [20].

Činnost spalovacího motoru je založena na spalování směsi paliva se vzduchem, kdy ve spalovacím prostoru dochází k prudké změně teplot a tlaků, v důsledku oxidace hořlavých složek paliva s kyslíkem obsaženým ve vzduchu. Průběh spalování je ovlivněn především tepelnými, tvarovými a vírovými vlastnostmi spalovacího prostoru a také způsobem a kvalitou vstřikovaného paliva. V případě dokonalého oxidačního hoření vzniká oxid uhličitý (CO_2) a voda (H_2O) případně kyslík (O_2), pokud by byl u zážehového motoru v přebytku. U vznětového motoru se objevuje vždy, jelikož vznětový motor pracuje s přebytkem vzduchu neustále. Emisní plyny a částice, na které se vztahuje legislativa, jsou produkovány nedokonalým spalováním. Patří sem oxid uhelnatý (CO), uhlovodíky (HC) nebo celkové uhlovodíky (THC), tvořené nespálenými frakcemi kapalného paliva, dále oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO_2) a oxid dusny (N_2O), společně označovány jako NO_x. Tyto sloučeniny dusíku vznikají oxidací vzdušného dusíku (N) za vysokých teplot. Za nepřístupu

vzduchu může vznikat i pevný uhlík (C) ve formě kouře a sazí. Důležitou limitní složkou jsou také pevné částice (PM) tvořeny z olejů, prachu, popela, částice rzi a další. Procentuální zastoupení všech limitujících složek zážehového a vznětového motoru je zobrazeno na obrázku 6 [13] [20].

Obr. 6 Složení výfukových plynů vznětového a zážehového motoru v % [13].



4.7.1 Oxid uhelnatý CO

Jedná se o vedlejší produkt nedokonalého spalování při nedostatku kyslíku ve spalované směsi nebo se také může jednat o lokální nedostatek kyslíku ve spalovacím prostoru. Při procesu dokonalého spalování vzniká, pokud teplota hoření přesáhne teplotu 2000°C. Pokud je součinitel přebytku vzduchu $\lambda < 1$, vzniká tak bohatá směs bez nedostatku kyslíku s velkým obsahem CO.

Tento problém se týká především zážehových motorů. Motory vznětové pracují s výrazným přebytkem vzduchu, kdy součinitel přebytku vzduchu je $\lambda > 1$ a CO během spalovacího procesu oxiduje CO_2, čímž je koncentrace ve spalinách oproti zážehovým motorům řádově menší [13].

Oxid uhelnatý je nejjedovatější složkou výfukových plynů, a tedy škodlivý pro lidský organismus. S krevním barvivem vytváří boxyhemoglobin, který vytěsňuje z krve kyslík a

dochází k poškozování orgánů vlivem nedostatečného množství kyslíku. Oxid uhelnatý nelze identifikovat snadno, jelikož se jedná o bezbarvý plyn bez chuti a zápachu [13] [21].

4.7.2 Oxid uhličitý CO_2

Emise oxidu uhličitého nejsou regulovány v Evropě, nicméně v určitých státech USA již regulaci podléhají. Jak již bylo řečeno, vzniká v důsledku oxidace při dokonalém spalování. Podobně jako oxid uhelnatý je také bezbarvý a bez zápachu. Jeho charakteristickým znakem je nízká reaktivita a dobrá stabilita.

Pro lidský život je oxid uhličitý neškodný, pokud ho ve vzduchu není tolik, že dochází k vytěsnění kyslíku. Jediný, ale zásadní problém, který oxid uhličitý vytváří, je rozrušování ozonové vrstvy a vznik radiačních clon, což má za následek omezení sdílení tepla země s okolím. Tento jev se nazývá skleníkový efekt, kdy dochází k ohřívání celé země a zvyšující teplota způsobuje tání ledovců a změny hladiny oceánů. Spalovací motory svým provozem tvoří asi 10 % celkových emise CO_2 v globálním měřítku [13] [21].

4.7.3 Nespálené uhlovodíky HC

Jedná se o směs různých skupin uhlovodíků, které vstupují jako palivo do oxidačního procesu nebo vznikají v průběhu nepříznivého spalování ve válci motoru. Nejméně škodlivé jsou původní uhlovodíky z paliva, větší škodlivost pak představují uhlovodíky polycyklické armoatické (PAH), které vytvářejí vazby na povrchu emitovaných pevných částic. Vznik nespálených uhlovodíků ovlivňuje do značné míry teplotní režim motoru, konstrukce spalovacího prostoru a válce, v neposlední řadě bohatost směsi. Obecně motory s přímým vstřikem produkují vyšší množství HC než motory komůrkové.

Nespálené nebo částečně zoxidované uhlovodíky dodávají výfukovým plynům charakteristický zápach. V lidském organismu agresivním způsobem napadají živou tkáň (sliznici), způsobují poruchy podmíněných reflexů a poškozují dýchací cesty.

Nejnižší produkce nespálených uhlovodíků dosahují motory pracující v oblasti chudé směsi s přebytkem vzduchu λ= 1,1 - 1,2. V případě vyššího nebo nižšího součinitele přebytku vzduchu koncentrace HC ve výfukových plynech roste [13] [14] [21].

4.7.4 Oxidy dusíku NOx

Oxidy dusíku vznikají oxidací dusíku dopravovaného do spalovacího prostoru, obsaženého ve vzduchu společně s kyslíkem určeným pro oxidaci paliva nebo kyslíkem nacházející se v palivu. Pro vznik NO_x sloučenin je zapotřebí dodat velké množství energie, a proto jejich koncentrace je závislá na teplotě a tlaku ve spalovacím prostoru. Největší zastoupení, zhruba z 95 %, má oxid dusnatý (NO) který vzniká vazbou dusíku s molekulárním, ale i atomárním kyslíkem. Tvorbu tohoto plynu popisuje Zeldvičova řetězová reakce:

$$N_2 + O \leftrightarrow NO + N \tag{4.1}$$

$$O_2 + N \leftrightarrow NO + O$$

$$OH + N \leftrightarrow NO + H$$

Pro uskutečnění reakce je třeba dosáhnout teploty asi 2000 °C a setrvat v tomto stavu dostatečnou dobu. Vysokých teplot se snáze dosahuje při mírně bohaté směsi a dostatečným množství kyslíku při procesu spalování. V zážehových motorech je spalována většinou homogenní směs paliva a vzduchu. Emise těchto směsí jsou význačné svou vysokou koncentrací NO a nízkou koncentrací NO_2. V porovnání se zážehovými motory je produkce NO_x nižší, jelikož vznětové motory pracují s vyšším přebytkem vzduchu. Platí tedy, že s rostoucím přebytkem vzduchu klesá koncentrace NO_x. Rozhodující je i rychlost hoření, a proto komůrkové motory produkují menší množství NO_x než motory s přímým vstřikováním, jelikož hoření v komůrce probíhá v delším čase. [13] [21].

Samotný NO není toxický, nicméně jeho oxidací vzniká NO_2, který poškozuje sliznice, snižuje odolnost proti infekcím a je velmi nebezpečný při chronickém působení. Na lidský organismus má negativní dopad, jelikož omezuje přístup vzduchu do plic a způsobuje

tím dušnost. V letních období nepříznivě působí na vzduch, kdy působením chemických a zejména fotochemických reakcí se přeměňuje na smog. Kromě podílu na fotochemických reakcích se oxidy dusíku podílejí velkou mírou na poškozování vegetace [14].

4.7.5 Oxidy síry SO_x

Oxidy síry se vyskytují ve výfukových plynech především vznětových motorů, nicméně i tak je jejich produkce ve velmi malá, až zanedbatelná. Protože obsah síry v motorové naftě podléhá stále tvrdším legislativním předpisům a sulfátové emise tak klesají. Tvorba sulfátů je závislá na výše zmiňovaném obsahu síry v palivu, ale také na druhu mazacího oleje. Většinu sulfátových emisních složek tvoří oxid siřičitý (SO_2), který se pak přeměňuje na oxid sírový (SO_3).

Nicméně tato přeměna tvoří pouze 2 – 3 % z celkového množství SO_2. Pokud je vozidlo vybaveno oxidačním katalyzátorem, dochází tak k mnohonásobně vyšší přeměně (až 70 %) SO_2 na SO_3, což nese jistá rizika při použití motorové nafty s vyšším obsahem síry. Literatura dokonce uvádí, že automobil s oxidačním katalyzátorem, který používá motorovou naftu s obsahem síry do 5 ppm, vyprodukuje dvojnásobné množství sulfátových emisí v porovnání s motorovem bez oxidačního katalyzátoru, provozovaný s naftou o obsahu 50 ppm síry [13].

4.7.6 Pevné částice PM

Pevné částice vznikají především u vznětových motorů ve formě kapalné, ale i v plynném stavu. Nejčastěji se jedná o formu sazí, karbonu, popele, otěrových částic atd. Jejich vznik je spojen především se spalovacím procesem, ale velkou roli hraje také konstrukční řešení motoru, s tím souvisí kvalita rozprášení paliva, spotřeba mazacího oleje, technický stav a v neposlední řadě použité palivo.

Jádro pevných částic je ze 75 % tvořeno pevným uhlíkem a popelem, zbytek tvoří organické a sulfátové směsi. Největší množství sazí je produkováno při spalování za nepřístupu dostatečného množství kyslíku při okolní teplotě vyšší než 1400°C. Množství

sazí tedy klesá, pokud roste součinitel přebytku vzduchu. Organické složky pevných částic, jinak také nazývané SOF – Soluble organic fraction, jsou produkty nespáleného paliva a motorového oleje. Tyto škodlivé látky vznikají v chladných bodech a štěrbinách válce, kde je oxidace paliva a oleje omezená. Tento stav odpovídá provozu motoru při nízkém zatížení a vysokých otáčkách. Konstrukční úpravy ke snížení spotřeby mazacího oleje a omezování obsahu síry v palivu, společně s filtrem pevných částic kladně přispívá ke snížení emisí PM. Ve většině případů se rozměr škodlivých částic pohybuje v rozsahu 0,3 ÷ 1 μm, nicméně některé mohou být i menší než 0,1 μm [13] [21].

Právě malá velikost těchto částic představuje nebezpečí pro lidský organismus. Velké částice jsou většinou zachyceny v horní části dýchacích cest. Ty nejmenší částice se dostanou až do plicních sklípků nebo přes lymfatický systém přímo do krve. Poškozují mechanickým působením povrch živé tkáně, usnadňují následnou desorbci dalších škodlivin, jejichž chemické působení může vést až k poruchám metabolismu a mutagenitě. Z tohoto důvodu patří pevné částice spolu s polycyklickými aromatickými uhlovodíky (PAH) mezi hygienicky nejškodlivější složky výfukových plynů [13] [14].

4.8 Měření produkce emisí

Emise lze charakterizovat, regulovat nebo řídit pouze tehdy, pokud je lze přesně měřit. Obecně lze měření emisí rozdělit do dvou skupin:

- Homologační test – určený pro schvalování nových vozidel nebo u vozidel uváděných poprvé do provozu.
- Emisní kontrola – jedná se o pravidelnou emisní a technickou kontrolu, prováděnou u všech provozovaných vozidel [13].

Homologační testy se od emisních kontrol liší jak v legislativních předpisech, tak v metodice a přesnosti měření, technické úrovni měřící techniky a v neposlední řadě emisními limity. Emisní předpis udává podrobný popis nastavení měření, typu zařízení a zkušebních postupů pro danou normu. Standartně se měří znečišťující látky popsané v předešlé kapitole – CO, HC, NO_x a PM.

Emise se měří během zkušebního cyklu motoru nebo vozidla, který je důležitou součástí každé emisní normy. Zkušebním cyklus udává rychlostní režimy a zatížení prováděných na dynamometru motoru nebo podvozku. Emise měřené na dynamometrech jsou obvykle vyjádřeny v gramech znečišťující látky na jednotku ujeté vzdálenosti.

Podle rychlostních režimů a zatížení lze cykly rozdělit na cykly v ustáleném stavu a cykly přechodné. Jak již z názvu vyplývá, tak ustálený cyklus odpovídá zatížení motoru při konstantních otáčkách. Kdežto v přechodném cyklu se motor řídí předepsaným jízdním vzorem, který zahrnuje zrychlení, zpomalení, změny rychlosti a zatížení.

Tyto testovací cykly mají vytvořit opakovatelné podmínky měření emisí a zároveň simulovat skutečné jízdní podmínky dané aplikace. Norma upravuje i početní metody používané k měření jednotlivých emisí [22] [23].

4.9 Homologace vozidel do 3,5 t v EU

V roce 1971 byl v Evropě zaveden první předpis EHK 15. Obsahem byly 4 městské cykly, přičemž se měřil obsah oxidu uhelnatého (CO) a nespálené uhlovodíky (HC). V pozdějších verzí přibylo měření oxidů dusíku (NO_x). Koncem 80. let tuto směrnici nahradila vyhláška EHK 83. Kromě přísnějších emisních limitů, přinesla také simulaci provozu nejen v městské části, ale i mimoměstský provoz. Zároveň také rozděluje hodnocení produkce emisních složek podle typu konstrukce motoru. Typ A byl určen pro hodnocení vozidel se zážehovým motorem bez dodatečné úpravy spalin. Pokud vozidlo bylo vybaveno katalyzátorem, hodnotilo se podle předpisu EHK 83 typu B. Podle typu C byly pak hodnoceny motory vznětové. Postupem času došlo k přejmenování emisního předpisu EHK 83 podle zvyklostí EU, a to na dnes již známé EURO normy. V současné době podléhají všechna vozidla uváděná poprvé do provozu emisní normě EURO 6d. V tabulce 3 níže je zobrazen přehled emisních limitů normy EURO, vztahující se na kategorii vozidel M1 [13].

Tab. 3 Emisní limity pro vozidla do 3,5 t [24].

Etapa	Začátek platnosti	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km					#/km
Vozidla se zážehovými motory (ZM)							
Euro 1	1992.07	2.72	-	0.97	-	-	-
Euro 2	1996.01	2.2	-	0.5	-	-	-
Euro 3	2000.01	2.3	0.2	-	0.15	-	-
Euro 4	2005.01	1	0.1	-	0.08	-	-
Euro 5	2009.09	1	0.1	-	0.06	0.005	-
Euro 6	2014.09	1	0.1	-	0.06	0.005	$6.0 \cdot 10^{11}$
Vozidla se vznětovými motory (VM)							
Euro 1	1992.07	2.72	-	0.97	-	0.14	-
Euro 2	1996.01	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 5a	2009.09	0.5	-	0.23	0.18	0.005	-
Euro 5b	2011.09	0.5	-	0.23	0.18	0.005	$6.0 \cdot 10^{11}$
Euro 6	2014.09	0.5	-	0.17	0.08	0.005	$6.0 \cdot 10^{11}$

4.9.1 Jízdní cyklus WLTP (WLTC + RDE)

Jedná se o celosvětový harmonizovaný testovací postup pro měření úrovní emisních látek znečišťujících ovzduší a spotřeby paliva. Postupy jsou vztažen na vozidla konvenčních, hybridních a plně elektrických pohonů. Byl vyvinut Hospodářskou komisí OSN pro Evropu, aby nahradil zastaralý testovací cyklus NEDC. Modernější postup má ve srovnání se svým předchůdcem řadu výhod. Jedná se o jízdní cyklus pro osobní automobily na válcové zkušebně prováděný za účelem měření emisí a spotřeby paliva vozidel. Nový dynamický cyklus WLTC představuje jízdu, která více odpovídá skutečným podmínkám na vozovce. Zkratky WLTP a WLTC se někdy používají zaměnitelně. Cyklus WLTC jsou součástí celosvětově harmonizovaných zkušebních postupů pro lehká vozidla (WLTP), kdežto WLTP definují řadu dalších postupů, které jsou potřebné pro schválení typu vozidla [26] [27].

Vzdálenost testu WLTC je oproti staršímu NEDC dvakrát delší a celý cyklus zahrnuje 4 fáze (místo původních dvou). Podstatnou změnou bylo také rozdělení vozidel podle výkonové hmotnosti do 3 tříd (viz tabulka 4). Vozidla jsou v každé třídě testována odlišným způsobem, kdy zohledňují nejen maximální rychlosti testovaného vozidla, ale

klade důraz i na hmotnostní výkon testovaného vozidla, který se může měnit v závislosti na modelu a jeho výbavě.

Tab. 4 Rozdělení vozidel podle výkonové hmotnosti [27].

Kategorie	Výkonová hmotnost W/kg	maximální rychlost km/h	Rychlostní fáze sekvence
Třída 3b	PMR > 34	≥ 120	Nízká 3 + Střední 3-2 + Vysoká 3-2 + Extra vysoká 3
Třída 3a		< 120	Nízká 3 + Střední 3-1 + Vysoká 3-1 + Extra vysoká 3
Třída 2	34 ≥ PMR > 22		Nízká 2 + Střední 2 + Vysoká 2 + Extra vysoká 2
Třída 1	PMR ≤ 22		Nízká 1 + Střední 1 + Nízká 1

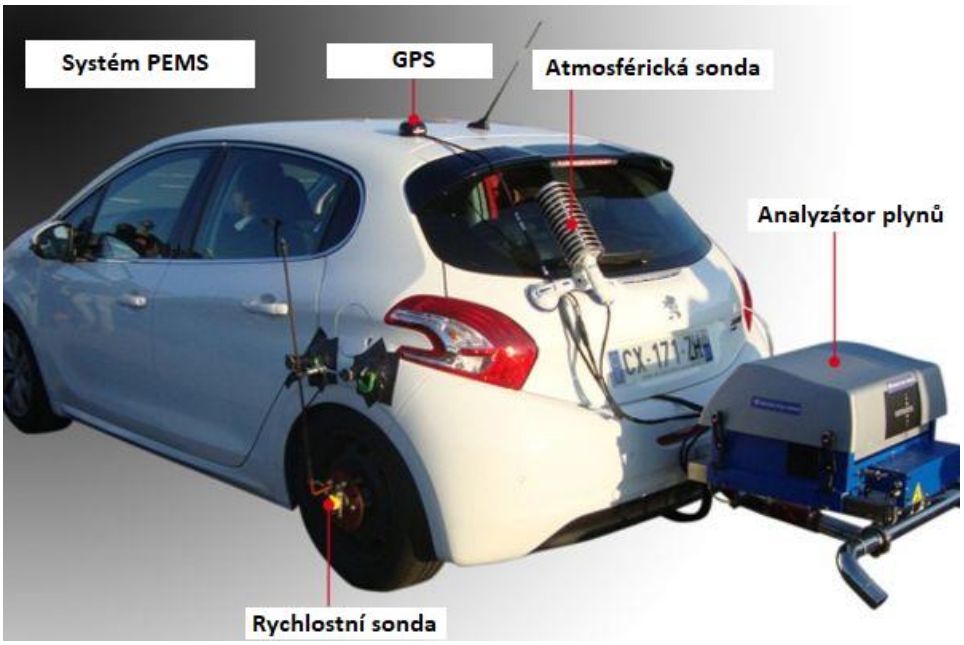
Cyklus WLTC je stejně jako cyklus NEDC prováděn v laboratorních podmínkách na válcovém dynamometru. To znamená, že v reálných podmínkách se budou hodnoty lišit v závislosti na technickém stavu silnici, počasí atd. [26].

Z tohoto důvodu se provádí i cyklus RDE (Real Driving Emissions), který probíhá v reálném provozu a tvoří korekci odchylky emisí NO_x a pevných částic oproti laboratorním měřením. Test RDE byl poprvé představený v roce 2017 ve fázi Euro 6d-TEMP a povinnost absolvovat test platila pro všechna nová vozidla registrovaná od září 2018. Při testování RDE se vozidla testují na pozemních komunikací v různých podmínkách. Ty zahrnují změny nadmořské výšky, teploty a zatížení nebo jízdu do kopce a z kopce. Podobně jako u laboratorního měření je vozidlo testováno na komunikaci v městské části, na pozemních komunikací mimo město a na dálnici. Celý test trvá přibližně 90 – 120 minut a vnější teplota musí být v intervalu od - 7 do + 35 °C. Rychlosti vozidla jsou předem určeny intervaly. Průměrná rychlost ve městě je stanovena v intervalu 15 – 40 km/h, v mimoměstské části 60 – 90 km/h a na dálnicích 145 – 160 km/h. [26].

Pro měření emisí výfukových plynů za reálného provozu, je vozidlo vybaveno přenosnými měřícími systémy PEMS – Portable Emissions Measurment Systém (viz. Obr. 7). Jedná se o komplexní zařízení s pokročilými analyzátory plynů, měřiči hmotnostního průtoku výfukových plynů, meteorologickou stanicí, satelitní lokalizací a

síťovým připojení. Zjištěné hodnoty se dále analyzují a kontroluje se, zda nepřekračují definované limity aktuálního emisního předpisu [28].

Obr. 7 Měřící systém emisí výfukových plynů PEMS [29].



5 Praktická část

Praktická část se zabývá vlivem aditiv na změnu provozních parametrů vozidla. Konkrétně bylo požito aditivum aplikované do motorového oleje. Pro projevení změny provozních parametrů bylo třeba najet alespoň 1000 km. Následně přišlo na řadu měření vnější otáčková charakteristiky na válcovém dynamometru, společně s projetím jízdního cyklu, při kterém proběhlo měření emisních složek výfukových plynů spalovacího motoru. Jelikož se jedná o aditivum, které má ošetřující účinky a zlepšuje třecí vlastnosti, proběhlo i měření hluku spalovacího motoru. Měření probíhalo v prostorách Katedry vozidel a pozemní dopravy na Technické fakultě ČZU s podporou přístrojového a softwarového vybavení katedry.

5.1 Testované vozidlo

Veškerá měření byla prováděna na osobním automobilu značky Peugeot 206 rok výroby 2002 (viz. Obr. 8). Automobil je poháněn zážehovým motorem o zdvihovém objemu 1360 cm^3 s výkonem 54 kW při 5500 min^{-1}. Před prvním měřením kilometrový nájezd činil 253 286 km. V průběhu času mezi intervalem měření došlo k opotřebení některých součástí a bylo zapotřebí vyměnit výfuk a dále obě ramena přední nápravy.

Obr. 8 Testované vozidlo Peugeot 206 [Vlastní zdroj].

5.2 Přístrojové vybavení a měřidla

Tato kapitola obsahuje popis přístrojů a měřidel, které byly použity pro zpracování této diplomové práce. Měření probíhalo na Katedře vozidel a pozemní dopravy, stejně tak veškerá použitá technika se nachází na KVPD.

5.2.1 Válcová zkušebna

Válcová zkušebna na KVPD je určená pro homologaci vozidel do 3,5 t. Skládá se ze 2 válců, spojených ozubeným řetězem, které tvoří valivou vazbu mezi koly vozidla a válcovou zkušebnou. Pro zvýšení adhezivního účinku má jeden válec povrch z protiskluzového materiálu. Válce jsou také spojeny se setrvačníky, které simulují setrvačnou hmotnost vozidla (viz. Obr. 9). Vždy je aktivní setrvačník o hmotnosti 680 kg a podle potřeby je možné připojit až 5 přídavných setrvačníků o různé hmotnosti (112.5; 120; 225; 450; 900 kg). Pro vytvoření brzdného účinku je z druhé strany na hlavním hřídeli připojen o výkonu 56 kW a druhý válec je dodatečné brzděn vířivým dynamometrem, chlazeným vodou, o výkonu 125 kW. Stejnosměrný elektrický motor má za úkol simulovat odporu vzduchu, zatímco vířivá brzda slouží pro statické měření výkonu [30].

Obr. 9 Kontrukce válcové zkušebny na KVPD [30].

Ovládání a obsluha válcové zkušebny probíhá přes ovládací program Control Web (více popsáno v následující kapitole 5.3 Softwarové vybavení). Jednoduše s využitím výpočetní techniky je možné měnit buzení vířivé brzdy a regulovat elektromotor nebo také měnit otáčky ventilátoru pro náporové chlazení motoru. Aby bylo možné vozidla testovat v uzavřeném prostoru je válcová zkušebna vybavena systémem odsávání výfukových plynů ven do ovzduší.

Pro připojování setrvačníků slouží ovládací panel, který je možné vidět na obrázku 10 níže. Nachází se zde také ovládání pro zvednutí plošiny mezi válci, které zajišťuje snadnější najíždění a vyjíždění vozidla na válcovou zkušebnu. Elektromotor je pak ovládán z hlavní rozvodové skříně tlačítkem ON/OFF.

Obr. 10 Ovládací panel pro ovládání setrvačníků a válcové plošiny [vlastní zdroj].

5.2.2 Regulovatelný ventilátor Filcar AL – 1500/C

Vozidlo se na válcové zkušebně při měření provozních parametrů nepohybuje a mohlo by dojít k přehřívání motoru a dalších agregátů. Z tohoto důvodu byl použit radiální ventilátor Filcar AL – 1500/C o maximálním výkonu sacím výkonu 12 000 m^3/h, který simuluje nápor vzduchu, ochlazující motor v reálných podmínkách. Ventilátor je regulovatelný až do maximálních otáček (2800 min^{-1}) pomocí frekvenčního měniče STARVERT S100, ovládaným systémem Control Web.

5.2.3 Ventilátor ALM – 800 – 3

Motor při měření otáčkové charakteristiky je značně zatěžován a je třeba ho dostatečně chladit, a proto byl použit v kombinaci s ventilátorem Filcar AL – 1500/C navíc i ventilátor ALM-800-3 o maximálním sacím výkonu 32 000 m^3/h, který nelze regulovat. Tímto způsobem bylo zajištěno dostatečné náporové chlazení motorového vozidla při měření výkonu vozidla.

5.2.4 Emisní analyzátor Mini – PEMS

Emisní analyzátor Mini – PEMS byl speciálně navržen na Technické univerzitě v Liberci pro měření emisních složek motocyklů a mopedů v reálném provozu, kdy dokáže analyzovat emise CO, CO_2, HC, NO_x a O_2. Analyzátor odebírá vzorky surových výfukových plynů, které jsou následně přirozeně chlazeny před kondenzační nádobou. Následně proběhne opětovné zahřátí vzorku v měděné trubici na teplotu asi 60°C. Dále je vzorek putuje do nedisperzního infračerveného analyzátoru (NDIR), kde je filtrován a měří koncentrace CO CO_2 a HC. Koncentrace oxidu dusnatého (NO), oxidu dusičitého (NO_2) a kyslíku (O_2), je měřena pomoci tří elektrochemických článků [31].

Obr. 11 Emisní analyzátor Mini – PEMS [Vlastní zdroj].

Kromě toho přístroj dokáže zjistit otáčky motoru, tlak v potrubí, teplotu sání a výfukových plynů, geolokalizaci a rychlost vozidla. Hmotnostní průtok výfukových plynů se vypočítá z údajů motoru a emisí [31].

5.2.5 Částicový analyzátor TSI EEPS 3090

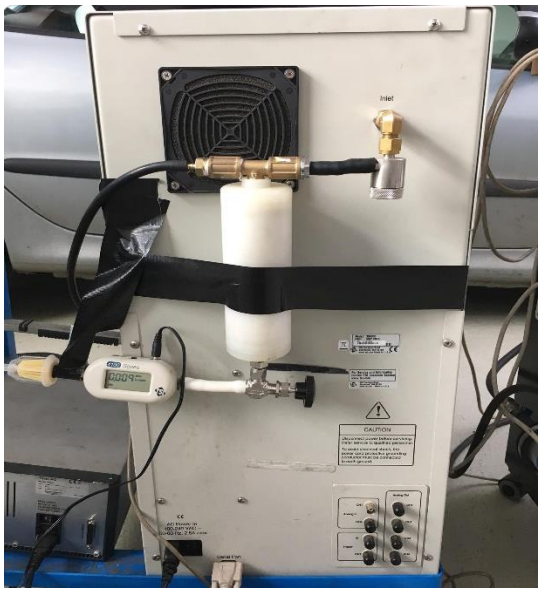
Částicový analyzátor EEPS 3090 od firmy je určen pro měření pevných částic ve výfukových plynech. Pro detekci pevných částic je využíváno jejich magnetických vlastností. Analyzátor odebírá surový vzorek výfukových plynů a v rotační ředičce jej ředí stavitelným ředícím poměrem. Částice vstupují do analyzátoru, kde získají elektrostatický náboj v nabíjecí komoře, následně reagují s nabitými elektrodami, kdy kladně nabité částice jsou odpuzovány shodně nabitou elektrodou a naopak. Částice jsou pak odhazovány k stěnám komory, kde jsou zachycovány a měřeny za pomocí 22 elektrometrů. Velikost elektrostatického náboje je závislá na velikosti částice, což napomáhá k detekci nejen počtu emitovaných pevných částic, ale lze zjistit i jejich velikostní spektrum. Analyzátor je schopný zachytit částice o rozměru 5,6 - 560 nm s frekvencí 10 Hz.

Obr. 12 Částicový analyzátor TSI EEPS 3090 [Vlastní zdroj].

5.2.6 Ředička vzduchu

Úkolem ředičky vzduchu je zředit výfukové plyny v případě, že se do analyzátoru nedostává dostatečné množství výfukových plynů a tím dochází k šumu a nepřesnostem. Ředička vzduchu ředí nasávaný plyn stavitelným ředícím poměrem. V tomto případě byl odebíraný vzorek ředěn 4 l vzduchu, který je navíc čištěn HEPA filtrem, aby nedošlo ke znečištění plynů částicemi z cizích zdrojů. Celou sestavu částicového analyzátoru TSI EEPS 3090 s řídícím modulem TESTO AG a ředičkou vzduchu s HEPA filtrem je možné vidět na obrázku 13.

Obr. 13 Částicový analyzátor s řidičkou vzduchu [Vlastní zdroj].



5.2.7 Analyzátor hluku CESVA SC310

Analyzátor hluku SC310 od firmy CESVA přístroj pro akustická měření, který odpovídá mezinárodnímu standardu IEC 61672 a EU EN 61672. V této práci byl použit pro zjištění hladiny hluku motoru při otevřené kapotě a hluku uvnitř kabiny automobilu. Analyzátor hluku měří hladiny hluku v reálném čase, které lze uložit do vnitřní paměti a následně přes kabel USB nahrát do PC. Za pomocí programu CESVA Capture Studio je možné se zaznamenanými hodnotami dále pracovat a analyzovat.

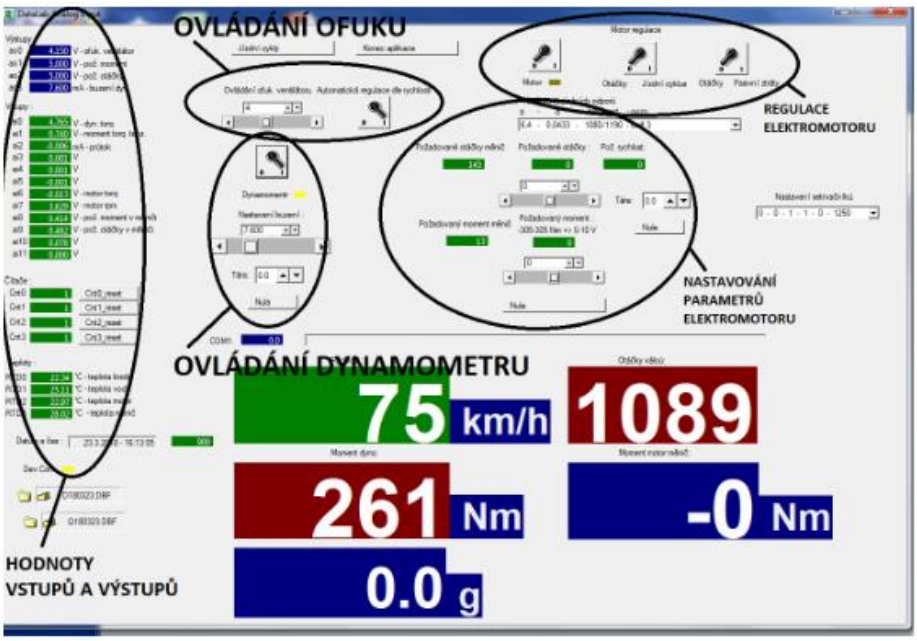
5.3 Softwarové vybavení

Tato kapitola popisuje použité softwarové vybavení k měření a zpracování výsledků. Pro naměření otáčkových charakteristik a emisních složek výfukových plynů, bylo využíváno především programu Control Web. K měření hluku posloužil software CESVA Capture Studio.

5.3.1 Control Web

Pomocí programu Control Web je ovládána válcová zkušebna s veškerým příslušenstvím. Rozhraní aplikace umožňuje ovládat brzdný moment dynamometru, nastavovat otáčky ofukovacího ventilátoru nebo ovládat elektromotor, který je využíván jako dodatečná brzda válců. Pro měření výkonových křivek bylo zapotřebí měnit úroveň buzení dynamometru a zapnout regulovaný ventilátor. Všechny veličiny lze měnit v programu za pomocí akčních tlačítek nebo je možné veličinu přímo vepsat do buňky (viz. Obr. 14). V levém části programu Control Web jsou zaznamenávány všechny vstupní i výstupní signály, zachyceny při měření.

Obr. 14 Rozhraní programu Control Web [30].



5.3.2 CESVA Capture Studio

Program CESVA Capture Studio je kompatibilní s analyzátorem hluku CESVA SC310 a umožňuje získaná data dále upravovat. Mezi hlavní nástroje patří eliminace nežádoucího hluku (štěkající psi, projíždějící auta atd.), dynamický výběr nahraných úseků a jejich další úpravy související s výpočtem extrémních hodnot, případně dokáže provádět statistické operace. Pro náš případ bylo zásadní převést datové soubory do grafické nebo numerické podoby do formátů .xls, aby bylo možné výsledky zpracovat v prostředí Microsoft Excel.

5.4 Použité aditivum

Jako aditivum byl použit kondicionér kovů METALTEC - 1, který je primárně určen pro motory a převodovky motorových vozidel, nicméně je možné aplikovat toto aditivum i do strojů v oblasti průmyslové výroby nebo v pneumatických a hydralických zařízení. Produkt lze míchat s motorovou naftou, benzínem, hydraulickými tekutinami, všemi převodovými oleji a oleji syntetickými či minerálními. Je nerozpustný ve vodě a charakteristický svou vysokou chemickou a termickou stabilitou. Výhodou je, že neobsahuje žádné pevné částice teflonu, olova, mědi a ani jiných dalších příměsí a přísad kovů. V důsledku toho se snižuje riziko ucpávání olejových filtrů a kanálků.

Obr. 15 Kondicionér kovů METALTEC – 1 [Vlastní zdroj].

Kondicionér kovu METALTEC - 1 působí na bázi syntetických derivátů uhlovodíků a chrání kovy stálou syntetickou molekulární vazbou a obsahem inhibitoru koroze. Po aplikaci do olejové náplně se váže na kov, kde vytvoří mikromolekulární vnitřní a vnější ochranný film, který eliminuje opotřebení motoru a chrání motor proti působení nadměrného zatížení a teplotě. Doporučené dávkování pro zážehové spalovací motory je 250 ml na plnou olejovou náplň.

Výrobce udává, že produkt konducionér kovů METALTEC - 1 po aplikaci:

- snižuje tření kovových ploch
- snižuje teplotu
- snižuje riziko vzniku koroze a usazování karbonu
- snižuje spotřebu paliva
- zvyšuje životnost dílů
- zvyšuje výkon motoru

Výrobce také doporučuje před aplikací aditiva nejdříve vyměnit olejovou náplň včetně filtrů a poté aplikovat aditivum METALTEC-1. Pokud by stará olejová náplň obsahovala stopy teflonu nebo jiné směsi kovů jako měď a olovo, účinnost kondicionéru by se rapidně snížila [32].

5.5 Použitá paliva

Jelikož testované vozidlo je poháněno zážehovým motorem, který spaluje automobilový benzín odpovídající normě ČSN EN 228 (65 6505), tak snahou také bylo tankovat benzín o stejné oktanové hladině (Natural 95) na stejné čerpací stanici EuroOil ve Chvaleticích. Tankování prémiových paliv s přidanými aditivy by mohlo ovlivnit výsledky měření.

5.6 Metodika měření

Před měřením byly vyměněny všechny filtry (palivový, olejový, kabinový a vzduchový filtr) a olejová náplň, aby byla splněna podmínka čistoty oleje bez jakýkoliv nežádoucích přísad. Pro pohodlnější najetí vozidla na válcovou zkušebnu, bylo třeba zvednou plošinu mezi válci a následně opět zapustit, aby kola přední nápravy byly v kontaktu s protiskluzovými válci. Pro zvýšení bezpečnosti se testované vozidlo upevnilo upínací soupravou s ráčnou za tažné oko vpředu i vzadu (viz. Obr. 16). Důležité také bylo zkontrolovat, zda je vozidlo uprostřed válců, aby nedošlo ke kolizi. Po zatáhnutí ruční brzdy bylo vozidlo připraveno k měření.

Obr. 16 Měření testovaného vozidla na válcové zkušebně [Vlastní zdroj].

5.6.1 Metodika měření emisí výfukových plynů

První přišlo na řadu měření emisí výfukových plynů na válcové zkušebně. Do výfuku byla zavedena sonda pro odběr vzorků výfukových plynů. Jednotlivé emisní složky byly měřeny pomocí emisního analyzátoru Mini – PEMS. Pro zjištění počtu emitovaných

pevných částic ve výfukových plynech byl použit částicový analyzátor TSI EEPS 3090 v kombinaci s řidičkou plynů.

Veškeré emisní složky byly měřeny během projíždění jízdního cyklu WLTC třídy 3b, podle homologačního postupu WLTP. Jelikož projetí jednoho cyklu WLTC trvá dohromady 1800 sekund, bylo zapotřebí zapnout systém odsávání výfukových plynů, který přebytečné plynné škodliviny odsál z laboratoře ven do ovzduší. Naměřená data byla graficky zpracována v programu MS Excel a následně vložena do textového editoru MS Word.

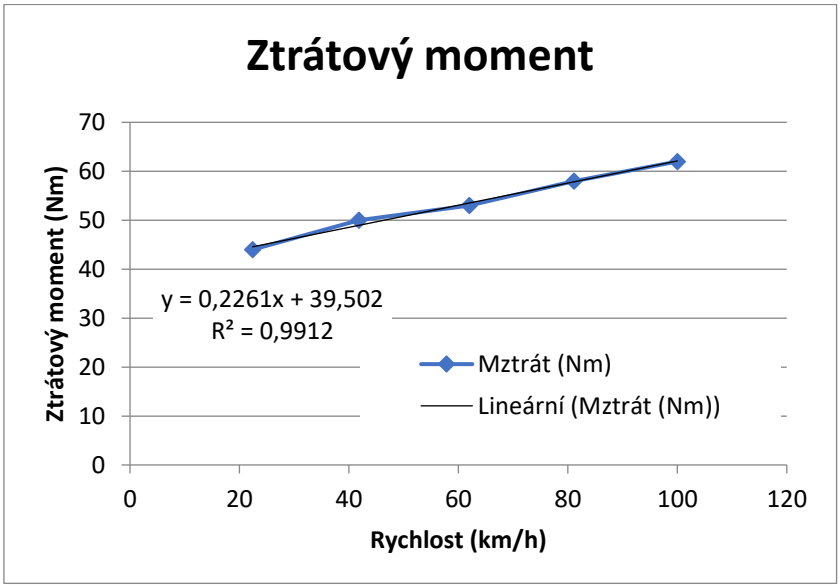
5.6.2 Metodika měření výkonových parametrů

Pro změření výkonu a točivého momentu motoru byla využita válcová zkušebna. Před měřením výkonu je třeba zkontrolovat tlak nahuštění pneumatik, kdy je vhodné pneumatiky lehce přehustit. Aby byl motor dostatečně chlazený, byl použit jak regulovatelný ventilátor Filcar AL – 1500/C tak ventilátor ALM – 800 – 3. Je třeba otevřít i ventil chladicí kapaliny pro chlazení dynamometru, aby nedošlo k přehřátí zařízení.

Nejdříve je třeba motor vytočit do maximálních otáček, následně se v aplikaci Control Web postupně navyšuje buzení dynamometru, což má za následek brzdění motoru. Současně je zapotřebí přidávat plyn, aby motor setrval v maximálních otáčkách. V tomto stavu začíná měření výkonové charakteristiky, kdy je akcelerační pedál sešlápnutý na maximum a brzdný moment na dynamometru se stále zvyšuje, čímž dochází k brzdění motoru až do minimální hodnoty kolem 1500 min^{-1}. Poté se vypíná buzení dynamometru a nechá se dochladit společně s testovaným vozidlem.

Pro vypočtení přesných hodnot bylo zapotřebí zjistit převodový poměr (otáčky motoru : otáčky válců) a pasivní ztráty zahrnující valivý odpor mezi válci a pneumatikami, samotný odpor válců a pasivní odpory vozidla. Pro zjištění hodnot bylo využito elektromotoru, který poháněl válce zkušebny a tenzometrem se měřil hnací moment. Software Control Web následně vypočítal pasivní odpory. Pomocí softwaru MS Excel byl zjištěn ztrátový moment v závislosti na rychlosti a rovnice ztrátového momentu, která byla uplatněna při výpočtech a vynesení vnější výkonové charakteristiky (viz. Graf 1).

Graf 1 Ztrátový moment [Vlastní zdroj].



. Převodový poměr mezi otáčkami motoru a otáčkami válců byl zjištěn tak, že se zaznamenala hodnota otáček motoru při konstantní rychlosti z OBD diagnostiky a následně se tato hodnota porovnala s otáčkami zaznamenanými v softwaru Control Web. Pro větší přesnost se měření opakovalo třikrát, a to vždy za rozdílné konstantní rychlosti. Vypočtené převodové poměry jsou zobrazeny v tabulce.

Tab. 5 Převodový poměr motor : válce [Vlastní zdroj].

převodový poměr motor / válce		
otáčky motoru	otáčky válců	převod
24058	1156	2,1263
3278	1549	2,1162
3589	1684	2,1312
průměrný převod		**2,1246**

5.6.3 Metodika měření hluku

Hluk byl měřen za pomocí analyzátoru hluku CESVA SC310. Nejdříve proběhlo měření hluku motoru při otevřené kapotě, a to ve dvou otáčkových režimech. Měřen byl hluk, kdy motor běžel ve stavu volnoběhu a následně při zvýšených otáčkách (2000 min^{-1}). Stejným způsobem proběhlo měření uvnitř kabiny. Hodnoty bylo možné nahrát do vnitřní paměti hlukoměru a následně je přes kabel odeslat do PC. Pro zpracování dat byl použit program MS Excel a export byl proveden přes aplikaci CESVA Capture Studio.

Měření se uskutečnilo na katedře vozidel a pozemní dopravy, konkrétně v místě před válcovou zkušebnou, které je pro tyto účely přizpůsobené. Na podlaze katedry se nacházely značky pro přesné umístění stativu s analyzátorem hluku (viz. Obr. 17). Pokud by se stativ při opakovaném měření nacházel mimo vyznačené místo, mohlo by dojít k naměření chybné hodnoty kvůli rozdílné vzdálenosti zdroje hluku. Při průběhu měření byl kladen důraz na odstranění veškerých vnějších rušivých elementů (hluk klimatizace, hluk systému odsávání výfukových plynů atd.).

Obr. 17 Měření hluku spalovacího motoru [Vlastní zdroj].

6 Výsledky a diskuse

Tato kapitola uvádí výsledky měření emisí, výkonových parametrů a hluku. Bohužel z důvodu dlouhodobé závady na válcové zkušebně, nebylo možné provést porovnávací měření emisí a výkonových parametrů po aplikaci aditiv.

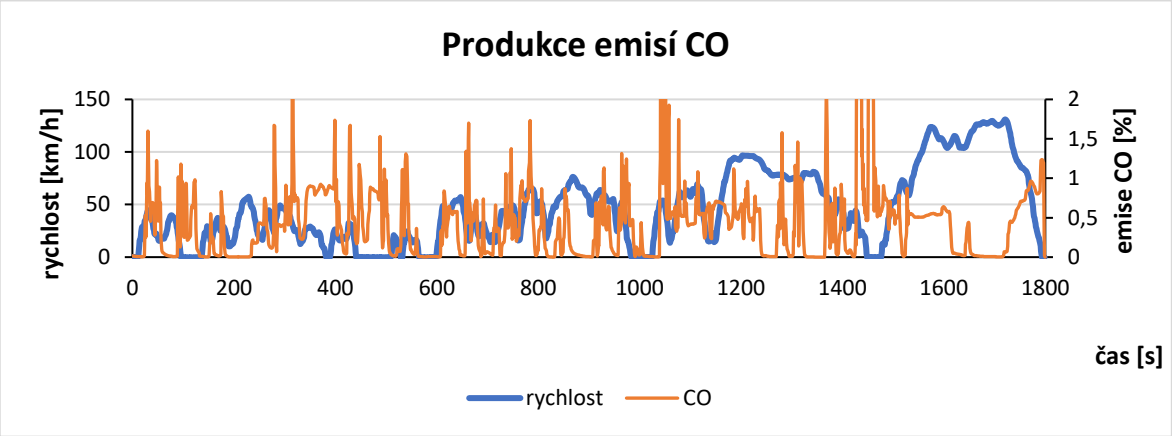
6.1 Výsledky měření emisí

Povedlo se naměřit emisní složky CO, CO_2, HC a pevné částice produkované během jízdního cyklu WLTC. Emise NO se nepodařilo naměřit. Po exportu dat do programu MS Excel byly veškeré emise NO nulové. Je téměř jisté, že chyba nastala při měření nebo byla způsobena závadou na zařízení.

6.1.1 CO

Produkce emisí CO je zobrazena na grafu 2. Správně by se množství emisí CO mělo zvyšovat s rostoucím zatížením motoru a klesat při brzdění, či volnoběhu. V tomto případě tomu tak není a některé maximální hodnoty dosahují až 5 % CO ve výfukových plynech. Příčinnou by mohl být vadný katalyzátor, jehož úkolem je vyčistit výfukové plyny za pomocí chemické reakce hoření probíhající ve spalinách při jejich průtoku vrstvami drahých kovů za přístupu kyslíku, kdy se CO mění na CO_2.Tato fakta nasvědčují tomu, že katalyzátor nefunguje správně a bylo by třeba ho vyměnit za nový.

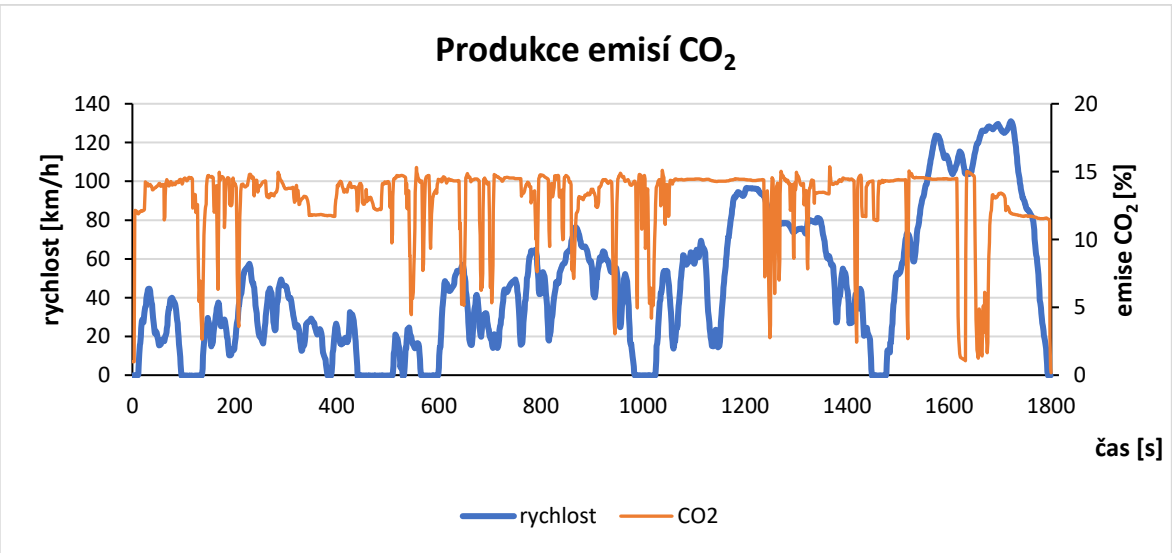
Graf 2 Produkce CO během jízdního cyklus WLTC [Vlastní zdroj].



6.1.2 CO_2

Další sledovanou složkou byl CO_2. Průběh produkce emisí CO2 v závislosti na čase a rychlosti při jízdním cyklu WLTC je možné vidět na grafu 3. Z grafu je patrné, že produkce CO_2 je poměrně konstantní a pohybuje se v rozmezí 13 – 15 %, bez ohledu na zatížení motoru. Podobně jako v předchozím případě je tato skutečnost přisuzována nefunkčnímu katalyzátoru.

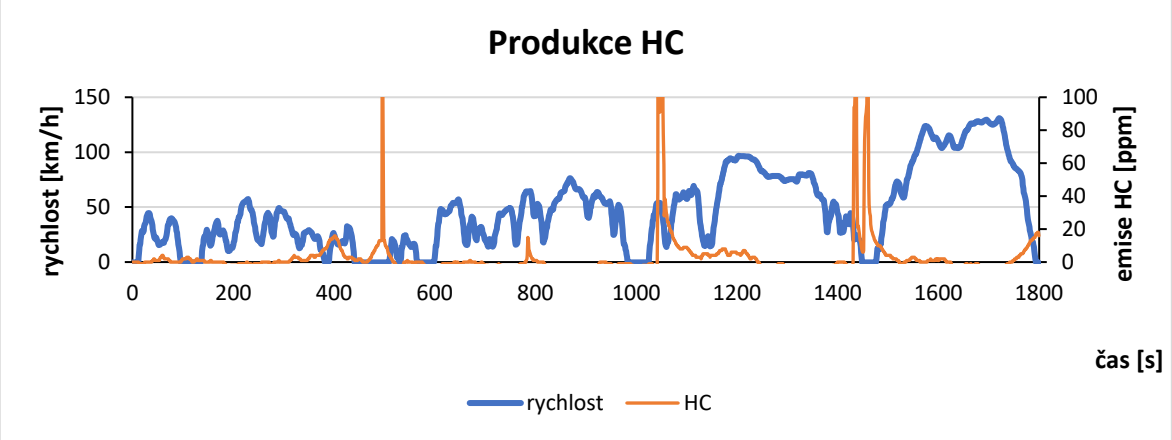
Graf 3 Produkce CO_2 během jízdního cyklus WLTC [Vlastní zdroj].



6.1.3 HC

Výsledky měření emisí HC při jízdním cyklu WLTC jsou zobrazeny na grafu 4. průměrná naměřená hodnota HC ve výfukových plynech byla 3,7 ppm.

Graf 4 Produkce HC během jízdního cyklus WLTC [Vlastní zdroj].

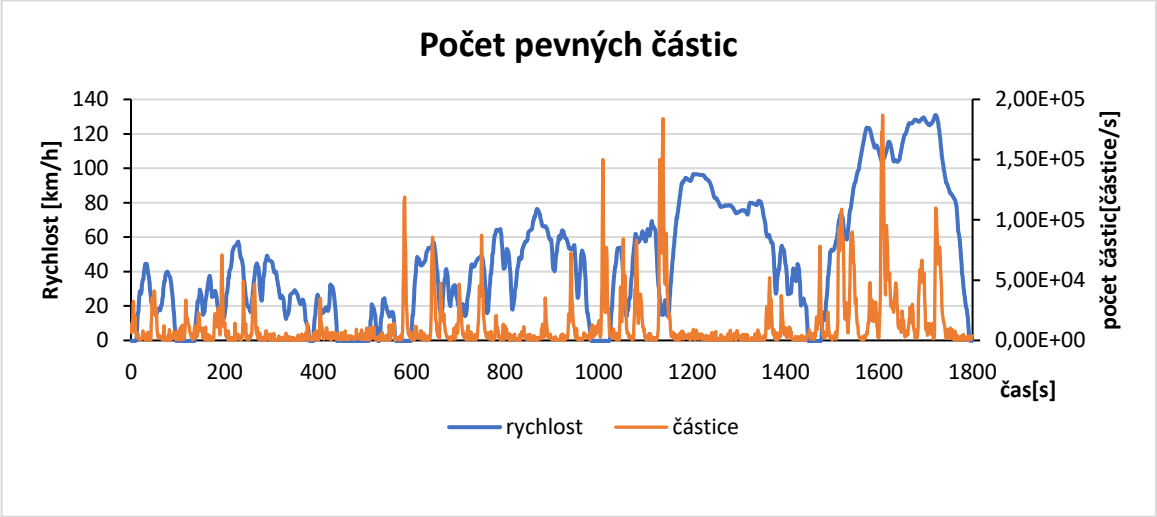


6.2 Pevné částice

Graf 5 zobrazuje na vedlejší ose množství pevných částic, v závislosti na čase a na hlavní ose rychlost vozidla na čase. Veškerá data byla naměřena pomocí analyzátoru pevných částic EEPS 3090 během jízdního cyklu WLTC.

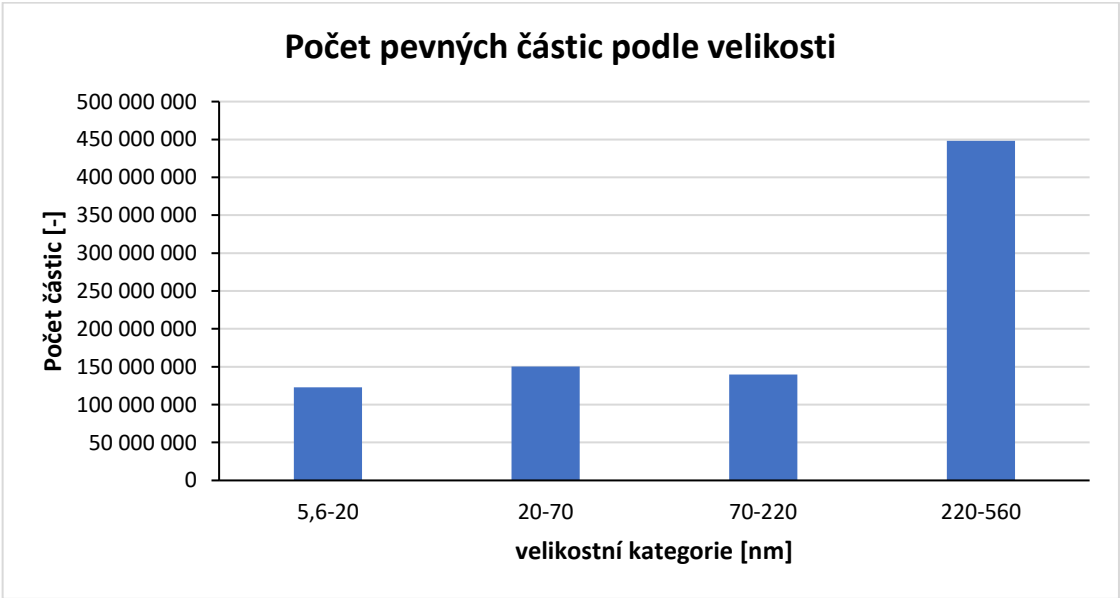
Z grafu 5 je patrné že při akceleraci motoru počet částic rapidně stoupá, zatímco při brzdění je počet produkovaných částic nižší. Nejmenší počet částic je produkován při volnoběhu, jelikož motor není nijak zatěžován, a i množství vstřikovaného paliva je menší. Největší naměřená hodnota byla 187 000 částic za sekundu, kdežto průměrná hodnota je pouze 12100 částic za sekundu.

Graf 5 Produkce pevných částic během jízdního cyklus WLTC [Vlastní zdroj].



Částicový analyzátor EEPS 3090 je schopný zachycovat částice o rozměru 5,6 – 560 nm. Na grafu 6 níže je zobrazen počet pevných částic, které byly obsaženy ve výfukových plynech během jízdního cyklu WLTC, podle velikostních kategorií. Největší částic v intervalu 220 – 560 nm bylo vyprodukováno skoro 450 milionů. Naopak nejmíň bylo částic v intervalu 5,6 – 20 nm. Právě malá velikost těchto částic představuje nebezpečí pro lidský organismus.

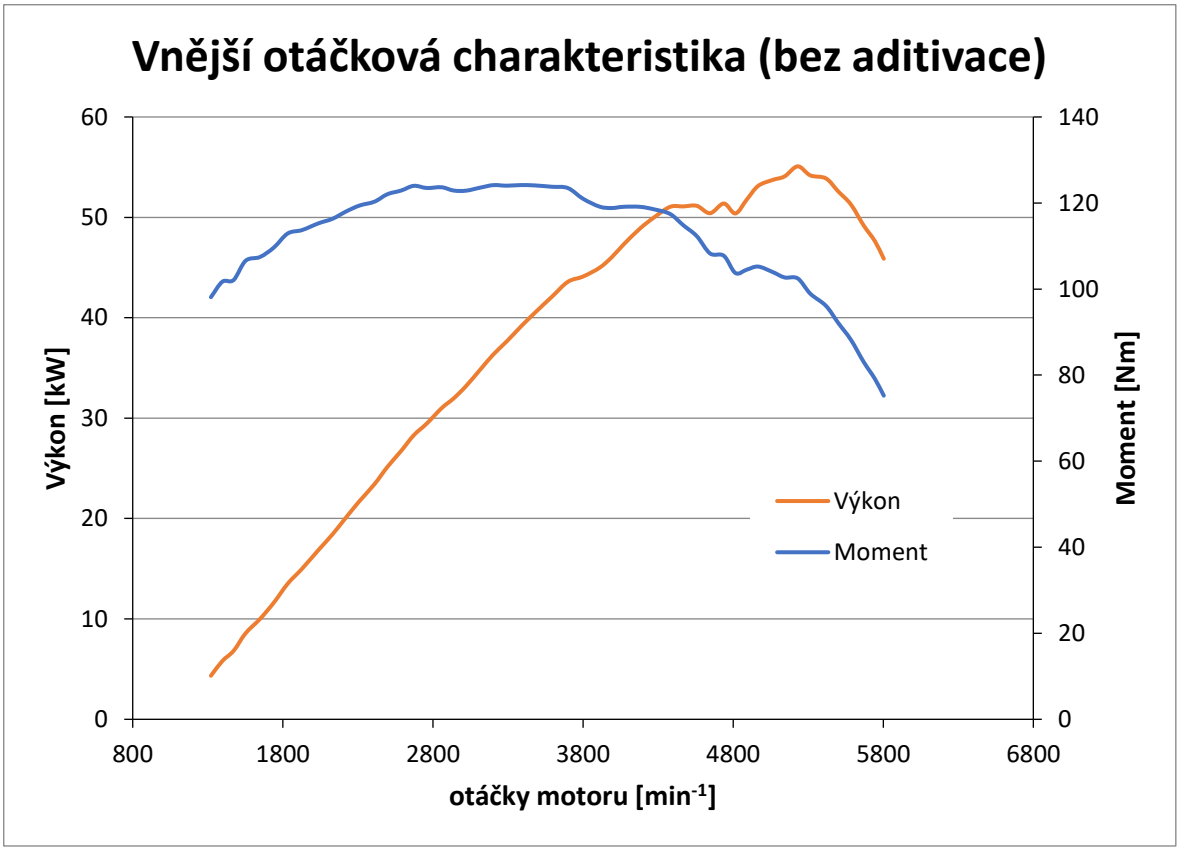
Graf 6 Produkce pevných částic podle velikosti [Vlastní zdroj].



6.3 Výsledky měření výkonových parametrů

Na grafu 7 je možné vidět vnější otáčkovou charakteristiku testovaného vozidla předtím, než byla aplikovaná aditiva METALTEC – 1 do olejové náplně. Nejvyšší naměřená hodnota výkonu (oranžová křivka) byla 56 kW při 5230 min^{-1}. Nejvyšší točivý moment (modrá křivka) dosahoval 124 Nm při 3200 min^{-1}. Jak u výkonové, tak momentové křivky je vidět skoková změna, která může být způsobena chybou měření při brždění. Naměřené hodnoty jsou srovnatelné s hodnotami udávané výrobci automobilu.

Graf 7 Otáčková charakteristika vozidla Peugeot 206 [Vlastní zdroj].



6.4 Výsledky měření hluku

Obsahem kapitoly jsou výsledky měření hluku při otevřené kapotě a uvnitř kabiny vozidla. Každý záznam měření trval 20 vteřin. Naměřená data byla vyfiltrována a zbavena extrémních hodnot, které vznikly při akceleraci na 2000 min^{-1}, aby nezkreslily výsledek měření. Průměrné naměřené hodnoty je možné vidět v tabulce 6 a 7.

Tab. 6 Hluk motoru před použitím aditiv [Vlastní zdroj].

Měření hluku (bez aditivace)	Volnoběh [dB]	při 2000 min^{-1} [dB]
vnější hluk při otevřené kapotě	67,2	79,1
uvnitř kabiny	52,9	56,4

Tab. 7 Hluk motoru po použitím aditiv [Vlastní zdroj].

Měření hluku (po aditivaci)	Volnoběh [dB]	při 2000 min^{-1} [dB]
vnější hluk při otevřené kapotě	66,4	79,2
uvnitř kabiny	52,1	55,7

Při porovnání výsledků před a po aplikaci aditiv je možné vidět nepatrné zlepšení o necelý 1 dB. Nicméně především výsledek měření hluku při 2000 min^{-1} je velmi závislí na citlivosti sešlápnutí pedálu. Při měření volnoběhu uvnitř kabiny často docházelo ke skokovým změnám z 51 dB na 53 dB, což může být způsobeno rozvodovým mechanismem.

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zjistit, zda aditivum METALTEC – 1 ovlivní provozní parametry zážehového motoru, především emise výfukových plynů, výkon a hluk. Teoretická část diplomové práce si kladla za cíl, obohatit čtenáře o teoretické poznatky v problematice paliv, maziv a především aditiv. Rešerše pokračuje popisem provozních parametrů, které je možné na vozidle měřit. Následně práce přináší informace týkající se emisní výfukových plynů spalovacích motorů, emisní normy a s tím spojené měření emisí. Závěr teoretické části je zakončen procesem homologace osobních vozidel do 3,5 t platný pro Evropskou unii. Představen je aktuálně používaný homologační jízdní cyklus WLTC třídy 3b, podle kterého byly měřeny produkované škodliviny v praktické části.

Následovala část praktická, kde bylo prokazováno, jestli aditivace METALTEC – 1 ovlivní provozní parametry či nikoliv. Pro provedení experimentu bylo použito osobní vozidlo Peugeot 206 1.4 o výkonu 54kW. Praktická část obsahuje popis testovaného vozidla a technického vybavení, které bylo použito při měření. Dále byla popsána metodika měření emisí výfukových plynů, výkonových parametrů a hluku. Měření produkce emisí a výkonových parametrů proběhlo na válcové zkušebně v prostorách Katedry vozidel a pozemní dopravy TF ČZU. Dále byl měřen hluk motoru při volnoběhu a následně vytočeném motoru do 2000 ot/min. Měřeny byly parametry hluku uvnitř kabiny vozidla a mimo ni se zvednutou kapotou motoru.

Bohužel z důvodu dlouhodobé závady na válcové zkušebně, nebylo možné provést více měření a výsledky porovnat. Výsledky měření emisí ukázaly nadměrnou produkci emisí CO, což muže být přisuzováno nefunkčnímu katalyzátoru. Tento fakt potvrzuje i graf produkce CO_2, kdy hodnoty nebyly do jisté míry závislé na zatížení. Dále mohla chyba měření nastat z důvodu kontaminace měřidla kondenzátem ve výfukových plynech. Výsledky měření výkonových parametrů se shodují s údaji od výrobce vozidla. Jediné měření, které lze porovnat před a po použití aditiva, je hluk motoru. Z výsledků měření hluku lze usuzovat, že aditivum METALTEC – 1 nemá zásadní vliv na hladinu hluku spalovacího motoru. Změna by mohla nastat při dlouhodobém užívání aditiva.

8 Seznam použitých zdrojů

[1] DYK, A. *Paliva a maziva pro automobily: Knižnice motoristy*. 2. Praha: SUTL, 1976.

[2] MATĚJOVSKÝ, V. *Automobilová paliva.* Praha: Grada Publishing, 2005. ISBN 80-247-0350-5.

[3] NOVÁČEK, J. Co ve skutečnosti vyjadřuje oktanové číslo u benzínu?. *Autozive.cz* [online]. 2021 [cit. 5.1.2022]. Dostupné z: https://www.autozive.cz/co-ve-skutecnosti-vyjadruje-oktanove-cislo-u-benzinu/.

[4] Oktanová čísla automobilových benzinů. *Cappo.cz* [online]. [cit. 5.1.2022]. Dostupné z: https://www.cappo.cz/caste-dotazy/dotazy/oktanova-cisla-automobilovych-benzinu.

[5] Cepro nafta motorová. *Ceproas.cz* [online]. [cit. 5.1.2022]. Dostupné z: https://www.ceproas.cz/public/files/userfiles/EuroOil/Cepro_nafta_motorova.pdf.

[6] SRIVASTAVA, S. P. HANCSÓK J. *Fuels and fuel-additives*. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2013. ISBN 9780470901861.

[7] HRDLIČKA, Z. *Automobilové kapaliny*. B.m.: Grada Publishing, 1996. ISBN 80-7169-332-4.

[8] Výkonostní specifikace olejů. *Oleje-pema.cz* [online]. [cit. 10.1.2022]. Dostupné z: https://oleje-pema.cz/clanek/vykonostni-specifikace-oleju-514773305262087.

[9] NĚMEC, V. Převodové mazací oleje. Spszengrova.cz [online]. 2013 [cit. 10.1.2022]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/P%C5%99evodov%C3%A9-mazac%C3%AD-oleje-UT.pdf.

[10] RICHARDS, P. COLEY, T. *Automotive Fuels Reference Book - Third Edition*, SAE International, 2005. ISBN 978-0-7680-0638-4.

[11] Fuel adittives: Use and benefits. *Atc-europe.org* [online]. [cit. 28.1.2022]. Dostupné z: https://www.atc-europe.org/public/Doc113%202013-11-20.pdf.

[12] MATĚJOVSKÝ, L. PLEYER, O. MACÁK, J. Koroze a ochrana materiálu. *Sciendo.com* [online]. 2019 [cit. 30.1.2022]. Dostupné z: doi:10.2478/kom-2019-0016

[13] HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

[14] BEROUN, S. Vozidlové motory: *Studijní materiály k předmětu „Motorová vozidla*“.Technická univerzita v Liberci, fakulta strojní, katedra strojů průmyslové dopravy. [online] 2005 [cit. 15. 2. 2022] dostupné z: http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1733.

[15] HROMÁDKO, J. *Prezentace – Spalovací motory: Charakteristiky, regulace a měření spalovacích motorů* [online]. [cit. 15.2.2022]. Dostupné z: https://slideplayer.cz/slide/11254205/.

[16] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory, hnací charakteristika, brzdění, odpruženost, řiditelnost, ovladatelnost, stabilita.* Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5273-6.

[17] VLK, František. *Diagnostika motorových vozidel: diagnostické testery, motortestery, brzdové soustavy, geometrie řízení, tlumiče, kontrola podvozku, diagnostické linky*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-7064-X.

[18] GAŠPAR, D. *Měření vibrací a hluku pohonných jednotek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Šopík.

[19] RASCH, F. *Lokalizace hlavních zdrojů hluku spalovacích motoru s využitím akustické emise*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. Vedoucí doktorské práce Prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

[20] MARTYR, A. J. PLINT, M.A. *Engine Testing: The Design, Building, Modification and Use of Powertrain Test Facilities*. 2012. ISBN 978-0080969497.

[21] ŠMERDA, T, ČUPERA J. a M. FAJMAN. *Vznětové motory vozidel: biopaliva, emise, traktory*. Brno: CPress, 2013. Auto-moto-profi. ISBN 978-80-264-0160-5.

[22] MAJEWSKI, W.A. a H. BURTSCHER. Measurement of Emissions. *Dieselnet.com* [online]. [cit. 2.3.2022]. Dostupné z: https://dieselnet.com/tech/measure.php#test.

[23] How Emissions Are Regulated. *Dieselnet.com* [online]. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z:https://dieselnet.com/standards/intro.html.

[24] PECHOUT, M. *Spalovací motory – základní přehled.* Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019. ISBN 978-80-213-2984-3.

[25] ECE 15 + EUDC / NEDC. *Dieselnet.com* [online]. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z: https://dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php.

[26] STOYANOVA, D. Testing cycles for European emission standards. *Auto-data.net* [online]. 2020 [cit. 8.3.2022]. Dostupné z: https://www.auto-data.net/en/testing-cycles-for-european-emission-standards-document-262.

[27] Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC). *Dieselnet.com* [online]. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z: https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php.

[28] WLTP a RDE: nové testy pro certifikaci spotřeby paliva, emisí CO_2 a znečišťujících látek. *Fiat.cz* [online]. [cit. 8.3.2022]. Dostupné z: https://www.fiat.cz/test-wltp.

[29] Le PEMS en détails. *Industrie-techno.com* [online]. 2015 [cit. 12.3.2022]. Dostupné z: https://www.industrie-techno.com/article/le-pems-en-details.40185.

[30] KOTEK, M. *Výuková skripta k předmětu Diagnostika motorových vozidel*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2020. ISBN 978-80-213-3065-8.

[31] VOJTÍŠEK, M, A ZARDINI a M PECHOUT. A miniature Portable Emissions Measurement System (PEMS) for real-driving monitoring of motorcycles. *amt.copernicus.org* [online]. 2020 [cit.18.3.2022]. Dostupné z: https://doi.org/10.5194/amt-13-5827-2020.

[32] Kondicionér kovů METALTEC-1 1000 ml Original [online]. [cit. 23.3.2022]. Dostupné z: https://www.setrice.eu/metaltec-1litr#detail-anchor-description.

9 Seznam obrázků

Obr. 1 Princip ochrany kovového povrchu před korozí [10]. 16

Obr. 2 Jmenovitá otáčková charakteristika vznětového motoru [15]. 22

Obr. 3 Jmenovitá otáčková charakteristika zážehového motoru [15]. 23

Obr. 4 Úplná charakteristika měrné spotřeby paliva motoru Avia D432.100 [15]. 24

Obr. 5 Podíl vibrací spalovacího motoru v závislosti na otáčkách [19]. 26

Obr. 6 Složení výfukových plynů vznětového a zážehového motoru v % [13]. 29

Obr. 7 Měřící systém emisí výfukových plynů PEMS [29]. 37

Obr. 8 Testované vozidlo Peugeot 206 [Vlastní zdroj]. 38

Obr. 9 Kontrukce válcové zkušebny na KVPD [30]. 39

Obr. 10 Ovládací panel pro ovládání setrvačníků a válcové plošiny [vlastní zdroj]. 40

Obr. 11 Emisní analyzátor Mini – PEMS [Vlastní zdroj]. 41

Obr. 12 Částicový analyzátor TSI EEPS 3090 [Vlastní zdroj]. 42

Obr. 13 Částicový analyzátor s řidičkou vzduchu [Vlastní zdroj]. 43

Obr. 14 Rozhraní programu Control Web [30]. 44

Obr. 15 Kondicionér kovů METALTEC – 1 [Vlastní zdroj]. 45

Obr. 16 Měření testovaného vozidla na válcové zkušebně [Vlastní zdroj]. 47

Obr. 17 Měření hluku spalovacího motoru [Vlastní zdroj]. 50

10 Seznam tabulek

Tab. 1 Viskozitní klasifikace motorových olejů podle SAE 300 SEP 80 [7]. 10

Tab. 2 Viskozitní klasifikace převodových olejů podle normy SAE 306 [7]. 12

Tab. 3 Emisní limity pro vozidla do 3,5 t [24]. 35

Tab. 4 Rozdělení vozidel podle výkonové hmotnosti [27]. 36

Tab. 5 Převodový poměr motor : válce [Vlastní zdroj]. 49

Tab. 6 Hluk motoru před použitím aditiv [Vlastní zdroj]. 56

Tab. 7 Hluk motoru po použitím aditiv [Vlastní zdroj]. 56

11 Seznam grafů

Graf 1 Ztrátový moment [Vlastní zdroj]. 49

Graf 2 Produkce CO během jízdního cyklus WLTC [Vlastní zdroj]. 52

Graf 3 Produkce CO_2 během jízdního cyklus WLTC [Vlastní zdroj]. 52

Graf 4 Produkce HC během jízdního cyklus WLTC [Vlastní zdroj]. 53

Graf 5 Produkce pevných částic během jízdního cyklus WLTC [Vlastní zdroj]. 54

Graf 6 Produkce pevných částic podle velikosti [Vlastní zdroj]. 54

Graf 7 Otáčková charakteristika vozidla Peugeot 206 [Vlastní zdroj]. 55

12 Seznam použitých zkratek

α	Úhel záţehu
λ	Součinitel přebytku vzduchu
ηc	Celková účinnost
μm	mikrometr
%	Procento
°	Stupeň
°C	Stupeň Celsia
API	American Petroleum Institute
ACEA	Association des Constructeurs Européens ďAutomobile
C	Uhlík
cm^3	Centimetr krychlový
Co	Kobalt
CO	Oxid uhelnatý
CO2	Oxid uhličitý
ČR	Česká republika
ČSN	Státní technická norma ČR
Cu	Měď
ČZU	Česká zemědělská univerzita
dB	Decibel
DPF	Filtr pevných částic – Diesel Particulate Filter
EEPS	Klasifikátor částic výfukových plynů – Engine Exhaust Particel Sizer
EGR	Systém recirkulace výfukových plynů – Exhaust Gas Recirculation
EHK	Evropská hospodářská komise
EHN	2-ethylhexylnitrát
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
EURO	Evropská emisní norma
Fe	Železo
g	Gram

g/km	Gram na kilometr
g . kWh^{-1}	Gram na kilowatt hodinu
GPS	Globální polohový systém – Global Positioning Systém
H	Vodík
h	Hodina
H_2	Molekula vodíku
H_2O	Voda
HC	Nespálené uhlovodíky
Hz	Hertz
K	Kelvin
Kg	Kilogram
km	Kilometr
km/h	Kilometr za hodinu
KVPD	Katedra vozidel a pozemní dopravy
kW	Kilowatt
m	Hmotnost
m	Metr
M1	Kategorie osobních vozidel do 3,5 t
mg	Miligram
mg/kg	Miligram na kilogram
m^3/h	Metr krychlový za hodinu
min^{-1}	Otáčky za minutu
mm^2	Milimetr čtverečný
mm^2 . s^{-1}	Milimetr čtverečný za sekundu
MMT	Methylcyklopentadienyl-mangan-trikarbonyl
Mn	Mangan
MPa	Megapascal
mPa	Milipascal
mPa . s	Milipascal krát sekunda
mpe	Měrná efektivní spotřeba paliva
$m.s^{-2}$	Metr za sekundu na druhou

MS Excel	Microsoft Excel – tabulkový editor
MS Word	Microsoft Word – textový editor
M_t	Točivý moment motoru
N	Dusík
N	Otáčky
N_2O	Oxid dusný
NDIRA	bezdispersivní infračervené analyzátory – Non Dispersive Infrea Red Analyzator
NEDC	Nový evropský harmonizační cyklus – European Driving Cycle
Ni	Nikl
n_j	Jmenovité otáčky
Nm	Newtonmetr
nm	Nanometr
nmax	Maximální otáčky motoru
nmin	Minimální otáčky motoru
NO	Oxid dusnatý
NO_2	Oxid dusičitý
NOx	Oxidy dusíku
O	Kyslík
O_2	Molekula kyslíku
OBD	Palubní diagnostika – On Board Diagnostic
OH	Hydroxylový radikál
OSN	Organizace spojených národů
p	Otevírací tlak trysky
Pa	Pascal
PAH	Polyaromatické uhlovodíky
Pa . s	Pascal krát sekundu
PC	Počítač
Pe	Užitečný výkon
PEMS	Přenosný emisní analyzátor – Portable Emissions Masurment Systém
PM	Pevné částice

PMR	Výkonová hmotnost – Power Mass Ratio
ppm	Částic z milionu – Parts Per Milion
R^2	Koeficient determinace
RDE	Měření emisí za reálného provozu Real Driving Emissions
s	Sekunda
SAE	Society of Automotive Engineers
SO_2	Oxid siřičitý
SO_3	Oxid sírový
SOF	Organické složky pevných částic – Soluble organic fraction
SOx	Oxidy síry
T	Tuna
t_v	Teplota výfukových plynů
TF	Technická fakulta
THC	Celkové uhlovodíky
USA	Spojené státy americké
USB	Univerzální sériová sběrnice – Universal Serial Bus
VM	Vznětový motor
W	Watt
W/kg	Watt na kilogram
WLTC	Celosvětový harmonizovaný cyklus vozidla do 3,5 t – Worldwide harmonized Light Vehicles Test Cycle
WLTP	Celosvětový harmonizovaný postup pro testování vozidel do 3,5 t – Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure
ZM	Zážehový motor