

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Vliv prémiových paliv na provozní parametry
zážehového spalovacího motoru**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Autor práce: Bc. Oldřich Matzek

PRAHA 2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Oldřich Matzek

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

Název práce

Vliv prémiových paliv na provozní parametry zážehového spalovacího motoru

Název anglicky

Impact of premium fuels on operating parameters of spark ignition engine

Cíle práce

Cílem práce je posoudit vliv prémiových paliv na provozní parametry zážehového motoru.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Přehled řešené problematiky
5. Vlastní zpracování
6. Výsledky a diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

Doporučený rozsah práce

50 stran včetně obrázků a tabulek

Klíčová slova

motor, prémiové palivo, benzín

Doporučené zdroje informací

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STROJNÍ FAKULTA, – REMEK, B. Experimentální měření v dopravní technice. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03057-1.

HROMÁDKO, J. Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

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

VLK, F. Dynamika motorových vozidel : jízdní odpory, hnací charakteristika, brzdění, odpružení, říditelnost, ovladatelnost, stabilita. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 80-238-5273-6.

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2020

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 31. 01. 2021

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: **Vliv prémiových paliv na provozní parametry zážehového spalovacího motoru** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne:

Jméno Příjmení

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu této diplomové práce panu Ing. Jakobovi Maříkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, rady a čas, jenž mi poskytl při zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval technickému pracovníkovi Jakobovi Adamovi za jeho pomoc a ochotu při pořizování dat, použitých v této diplomové práci. V neposlední řadě bych rád poděkoval všem, kteří mě při psaní této diplomové práce podporovali.

Vliv prémiových paliv na provozní parametry zážehového spalovacího motoru

Abstrakt: Hlavním cílem diplomové práce je zjistit, zda mají prémiově aditivované benzíny vliv na provozní parametry zážehového spalovacího motoru osobního automobilu. Provozními parametry jsou v této práci myšleny produkce emisí, spotřeby paliva a výkonové parametry motoru. Teoretická část práce má za úkol blíže seznámit čtenáře s problematikou škodlivých emisí a jejich měření, emisními normami a měřícími homologačními cykly, způsoby měření výkonových parametrů a automobilovým benzínem jako palivem. V praktické části této práce je popsán postup měření vybraných parametrů, měřící technika a jsou zde prezentovány výstupy měření, které jsou shrnuty v závěru práce.

Klíčová slova: motor, prémiové palivo, benzín

Impact of premium fuels to operating parameters of spark ignition engine

Summary: The main goal of the diploma theses is to verify whether premium additive gasoline have effect in the operating parameters of SI engines. The operating parameters means the productions of emissions, fuel consumptions and engine performance parameters. The theoretical part of the theses aims to acquaint with issue of harmful emissions ant their measurements, emission standards and measuring homologation cycles, methods of measuring performance and gasoline as a fuel. The practical part of theses describes the procedures of measuring selected parameters, measuring techniques and presents the measurement outputs, which are summarized in conclusion.

Key words: engine, premium fuel, gasoline

Obsah:

1 Úvod	1
2 Cíl práce	3
3 Metodika práce	4
4 Přehled řešené problematiky	5
4.1 Emise výfukových plynů spalovacích motorů	5
4.1.1 Oxid uhelnatý (CO)	5
4.1.2 Oxid uhličitý (CO ₂).....	6
4.1.3 Oxidy síry (SO _x).....	6
4.1.4 Oxidy dusíku (NO _x).....	6
4.1.5 Nespálené Uhlovodíky (HC).....	7
4.1.6 Pevné částice (PM).....	7
4.2 Emisní normy EU pro vozy do 3,5 tuny	8
4.2.1 Metodika měření NEDC	9
4.2.2 Metodika měření CADC	10
4.2.3 Metodika měření WLTP	11
4.2.3.1 Metodika měření WLTC	12
4.2.3.2 Metodika měření RDE.....	13
4.3 Snižování produkce emisí výfukových plynů u zážehových motorů	14
4.3.1 Opatření před motorem.....	14
4.3.1.1 Volba směšovacího poměru.....	15
4.3.1.2 Přímé vstřikování	15
4.3.2 Opatření u motoru.....	16
4.3.2.1 Předstih a energie zážehu	16
4.3.2.2 Kompresní a expanzní poměr	17
4.3.2.2.1 Atkinsonův cyklus a Millerův cyklus.....	18

4.3.2.3	Proměnné časování ventilů	18
4.3.2.4	Metoda deaktivace válců (CDA -Cylinder Deactivation)	19
4.3.2.5	Start/stop systém	20
4.3.2.6	Recirkulace výfukových plynů	20
4.3.3	Opatření za motorem	21
4.3.3.1	Třícestný katalyzátor	21
4.3.3.2	Sběrný (zásobníkový) katalyzátor.....	23
4.3.3.3	Filtr pevných částic	24
4.4	Automobilové benzíny.....	25
4.4.1	Oktanové číslo (OČ).....	26
4.4.2	Destilační zkouška.....	28
4.4.3	Další vlastnosti automobilových benzínů	30
4.4.4	Příspěvky přidávané do automobilových benzínů.....	30
4.5	Měření produkce emisí, výkonových parametrů a spotřeby paliva.....	31
4.5.1	Měření emisí.....	31
4.5.1.1	Metody měření koncentrace plynných emisních složek.....	31
4.5.1.1.1	Bezdisperzní infračervené analyzátory (NDIRA).....	31
4.5.1.1.2	UV analyzátory	32
4.5.1.1.3	Chemiluminiscenční analyzátory (CLA).....	32
4.5.1.1.4	Plamenoionizační detektory (FID).....	33
4.5.1.1.5	Magnetické analyzátory	33
4.5.1.2	Metody měření emisí pevných částic	34
4.5.1.2.1	Filtrační metoda.....	34
4.5.1.2.2	Hmotnostní měření koncentrace částic.....	34

4.5.1.2.3	Opacimetrie.....	34
4.5.2	Měření výkonových parametrů vozidla	35
4.5.2.1	Měření výkonových parametrů při stacionárním měření	35
4.5.2.1.1	Měření na zkušebním stanovišti.....	35
4.5.2.1.2	Měření na válcové zkušebně	36
4.5.2.2	Měření výkonových parametrů při dynamickém zatížení	38
4.5.2.2.1	Měření na válcové zkušebně	39
4.5.2.2.2	Měření při volné akceleraci motoru	39
4.5.3	Měření spotřeby paliva	39
4.6	Jízdní odpory	40
4.7	Vnější otáčková charakteristika.....	40
5	Vlastní zpracování	42
5.1	Popis testovacího vozidla.....	42
5.2	Přístrojové vybavení	42
5.2.1	Válcová zkušebna	42
5.2.2	Laboratorní váha VIBRA AJ-6200CE.....	43
5.2.3	Emisní analyzátor VMK	43
5.2.4	Částicový analyzátor TSI EEPS 3090	43
5.2.5	Ředička vzduchu	44
5.2.6	Ventilátor FILVAR AL-1500/C.....	44
5.3	Softwarové vybavení	44
5.3.1	Diagnostický software VAG-COM VDSC Standard	44
5.3.2	ControlWEB.....	44
5.4	Použitá paliva	45
5.5	Metodika měření.....	45
5.5.1	Metodika měření emisí	46
5.5.2	Metodika měření spotřeby	46

5.5.3 Metodika měření výkonových parametrů	46
5.6 Výsledky a diskuze	48
5.6.1 Výsledky emisních měření	48
5.6.1.1 Emise CO	48
5.6.1.2 Emise CO ₂	49
5.6.1.3 Emise HC	50
5.6.1.4 Emise NO	50
5.6.1.5 Emise pevných částic	51
5.6.2 Výsledky měření spotřeby	51
5.6.3 Výsledky měření výkonových parametrů	52
6 Závěr	55
7 Seznam použitých zdrojů	57
8 Seznam obrázků	61
9 Seznam tabulek	62
10 Seznam vzorců	63
11 Seznam zkratk	64
12 Seznam příloh	68

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá vlivem prémiových paliv na provozní parametry zážehového motoru osobního automobilu a produkcí emisí z hlediska krátkodobého užívání. Praktická měření probíhala na území laboratoří Katedry vozidel a pozemní dopravy Technické fakulty ČZU v Praze, na osobním automobilu Škoda Karoq 1,5 TSI 110 kW. Měření produkce emisí probíhalo pomocí laboratorního testovacího cyklu WLTC, který je v současné době používán jako součást homologační procedury WLTP, používané pro schvalování nových emisních typů na území EU.

Automobilová doprava je fenoménem 20. a 21. století. Její prudký rozmach v posledních desetiletích uplynulého tisíciletí výrazným způsobem ovlivnil a neustále ovlivňuje ekonomický, technologický i sociální rozvoj lidské společnosti. Avšak tento rozmach je doprovázen i nárůstem environmentální zátěže, kterou je třeba v rámci udržitelného rozvoje legislativně regulovat a snižovat. Právě díky neustále se zvyšujícím a zpřísňujícím legislativním opatřením ze strany Evropské unie můžeme zaznamenávat neustálý vývoj trendu snižování emisí vznikajících v automobilové dopravě. Prudkou změnu tohoto trendu bylo možné zaznamenat především v posledních letech, kdy byli výrobci automobilů nuceni během velice krátké doby kompletně změnit postoj k produkci emisí jimi vyráběnými vozy a přistoupit k novým možnostem a technologiím snižování emisí výfukových plynů. Tyto změny přinesly kromě jiných i rozmach nových typů alternativních pohonů a značné zvýšení nároků na nově vyráběné spalovací motory.

Vlivem neustále se zvyšujících nároků na spalovací motory jsou kladeny i vysoké nároky na kvalitu paliv. Koncový spotřebitel má dnes velké množství čerpacích stanic s širokým sortimentem nabízených paliv. Jednotlivá paliva se v rámci své kategorie liší v závislosti na distributorovi kvalitou i cenou, což přivádí spotřebitele k otázce, které palivo zvolit pro získání co nejlepší kvality za rozumnou cenu. Tato diplomová práce se na tuto otázku snaží odpovědět v praktické části práce, kdy je porovnáván vliv vybraných zástupců běžných a prémiově aditivovaných 95 oktanových benzínů na provozní parametry a emise zážehového motoru z hlediska krátkodobého vlivu.

V první části jsou specifikovány cíle práce. Ve druhé části je popsána metodika prováděných měření a vyhodnocování dat. V rešeršní části je čtenář seznámen s jednotlivými emisními složkami výfukových plynů, s emisními normami EU pro vozidla do 3,5 t a homologačními cykly. Dále jsou popsány konstrukční řešení určená k omezování produkce emisí výfukových plynů, automobilové benzíny jako palivo, provozní parametry a metody jejich stanovení.

V praktické části je popsáno testované vozidlo, měřící technika a metodika měření. Dále jsou porovnávána vlastní měření spotřeby paliva, produkce emisí výfukových plynů, výkonu a točivého momentu motoru vozidla. Následuje vyhodnocení vlivu prémiových paliv na provozní parametry testovaného vozu.

2 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je zjistit, zda má z krátkodobého hlediska užívání prémiově aditivovaných automobilových benzinů vliv na provozní parametry zážehového spalovacího motoru. Sledovány byly konkrétně produkce emisí výfukových plynů, spotřeba paliva, průběh a hodnoty výkonových parametrů motoru. Zároveň si tato práce klade za úkol zjistit, zda je pro běžného provozovatele zajímavější z krátkodobého hlediska čerpat spíše dražší prémiové benzíny, popřípadě vyhledávat konkrétní značku tankovaného paliva.

3 Metodika práce

Rešeršní část práce vychází především z odborných článků a publikací, které se zabývají problematikou emisí spalovacích motorů, emisními normami na území Evropské unie, homologačními cykly pro schvalování emisního typu, měřením produkcí emisí, výkonu a točivého momentu motoru vozidla a benzínem jako palivem.

V praktické části práce je prokazováno, zda prémiově aditivované benzíny z hlediska krátkodobého vlivu zlepšují, v porovnání s běžnými benzíny, spotřebu paliva, hodnoty a koncentrace produkovaných emisních složek, průběh a hodnoty výkonových parametrů testovaného vozidla. Krátkodobý vliv byl autorem zvolen především z důvodu časové náročnosti zkoumání dlouhodobých vlivů paliva na provozní parametry zážehového motoru, přičemž by tak nebylo možné porovnat větší množství vzorků.

K posouzení vlivu prémiových benzínů na produkci emisí a spotřebu paliva byl zvolen měřicí cyklus WLTC class 3b, dle homologační procedury WLTP, která je využívána pro schvalování nových emisních typů, homologovaných na území Evropské unie a v současné době podléhá emisní normě EURO 6d-temp.

Pro komparaci bylo vybráno pět prémiově aditivovaných benzínů a tři základní automobilové benzíny. Všechna porovnávaná paliva byla porovnána v rámci jedné kategorie, a to 95 oktanových benzínů. Za účelem zvýšení přesnosti a eliminace rizika chyby při měření byla provedena všechna měření v rámci jednotlivých vzorků třikrát. Prezentované hodnoty byly získány jako aritmetický průměr výsledných hodnot ze všech tří měření. Zároveň byl na válcové zkušebně měřen průběh a hodnoty výkonových parametrů testovaného vozidla.

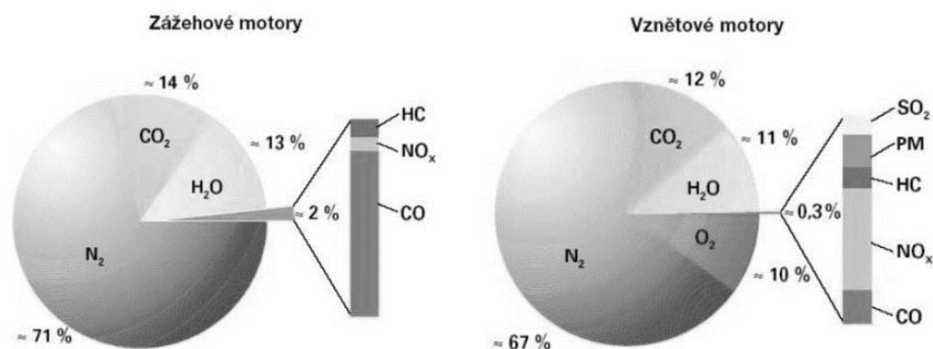
4 Přehled řešené problematiky

Tato kapitola popisuje emisní složky výfukových plynů, produkovaných zážehovými spalovacími motory. Dále se zabývá popisem emisních norem Evropské unie a homologačními cykly, které jsou užívány pro schvalování emisních typů na území EU. Zároveň jsou v této kapitole popsány automobilové benzíny, způsoby jejich výroby, požadavky pro automobilové benzíny na území ČR a způsoby aditivace.

4.1 Emise výfukových plynů spalovacích motorů

Výfukové plyny spalovacích motorů jsou výsledným produktem spalovacího procesu, vznikající jako produkty oxidace paliva na bázi uhlovodíků. Při dokonalém spalování dochází k rozkladu uhlovodíkového paliva na oxid uhličitý (CO_2) a vodu (H_2O). Avšak vlivem ztrát při spalování dochází k nedokonalé oxidaci a vzniku meziproductů, které mohou mít ve spoustě případů škodlivý vliv na lidský organismus. Z Obrázku 1 je patrné zastoupení jednotlivých látek, vzniklých spalováním uhlovodíkového paliva v zážehovém a vznětovém motoru.

Obrázek 1 Složení výfukových plynů [1]



4.1.1 Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý je zdraví škodlivý plyn. Primární příčinou vzniku emisí CO je u zážehových motorů především nedostatek kyslíku během spalovacího procesu, což zapříčiňuje pouze částečnou oxidaci molekul uhlíku obsaženého v palivu. Sekundární příčinou pak může být například spalování při vysokých teplotách. [1]

Příčinou škodlivosti oxidu uhelnatého na lidský organismus je jeho hemofilní chování, přičemž jeho afinita je až 200x větší než afinita molekul kyslíku. Karboxihemoglobin (COHb), vzniklý spojením hemoglobinu s oxidem uhelnatým, zabraňuje okysličování krve a uvolňování kyslíku v těle. Bolesti hlavy, závratě a ztráta vědomí nastávají obvykle při koncentracích COHb mezi 25-40 %. Trvalé poškození mozku a smrt nastávají při koncentracích vyšších než 45 % COHb. [2]

Dalším důvodem regulace oxidu uhelnatého ve výfukových plynech je jeho podíl na tvorbě tzv. letního smogu. Letní smog je tvořen oxidy dusíku a uhlovodíků, které reagují spolu se slunečním zářením a vytváří tzv. přízemní ozon. Ten působí na lidský organismus nepříznivě, a to především v oblasti plicní tkáně a sliznic. Při delší expozici vyšších koncentrací nastávají bolesti hlavy, pocit tlaku na hrudi, kašel, pálení očí a nosu. [3][4]

4.1.2 Oxid uhličitý (CO₂)

Oxid uhličitý je stabilní, nedýchatelný plyn, který není zdraví škodlivý. Zdravotní riziko představuje pouze v případech, kdy jeho koncentrace překročí stav, ve kterém by vytěsňoval kyslík. Oxid uhličitý je produktem dokonalé oxidace paliva a jeho dokonalého hoření. Množství CO₂ ve spalinách je přímo závislé na spotřebě paliva a dokonalosti jeho hoření. Produkce CO₂ je v současné době již regulována legislativními opatřeními. [1]

Hlavním negativním vlivem CO₂ je jeho podíl na tvorbě skleníkového efektu. Skleníkové plyny vytvářejí radioaktivní clonu, která znemožňuje sdílení tepla Země s okolím. V důsledku toho dochází ke zvyšování teploty na zemském povrchu a posouvání klimatických poměrů, což způsobuje tání ledovců a zvyšování hladiny oceánů. [1]

4.1.3 Oxidy síry (SO_x)

Oxidy síry jsou produkty spalování především vznětových motorů. Množství emisí produkované spalovacími motory je v celkové produkci zanedbatelné z důvodu neustále se snižujícího obsahu síry v motorové naftě.

4.1.4 Oxidy dusíku (NO_x)

Oxidy dusíku jsou zastoupeny především oxidem dusnatým (NO) a v menší míře oxidem dusičitým (NO₂) a oxidem dusným (N₂O). Ke vzniku NO_x je zapotřebí především vysokých teplot a dostatek času. V případě prudkého poklesu teploty dochází k zamrznutí a tvorba NO_x neproběhne. Pro tvorbu NO_x je také důležitý obsah kyslíku, který je při velkém množství schopný převládnout nad klesající teplotou a díky tomu mohou vznikat NO_x i při nižších teplotách. To je také důvodem vzniku NO_x u motorů pracujících s velkým přebytkem vzduchu. [1]

Přímá škodlivost NO na lidský organismus je velice nízká, avšak při jeho delším pobytu v atmosféře dochází k jeho oxidaci na NO₂, u kterého je škodlivost závažnější. Při vdechování NO₂ se na stěnách sliznic vytváří kyselina dusičitá (HNO₃), na kterou organismus reaguje jako na začínající hoření a dochází tak ke snížení přívodu vzduchu do plic. To má za následek dušení a nucení ke kašli. Tento jev je patrný při velké koncentraci již během krátké expozice. [1]

Oxidy dusíku se také dále významně podílejí na tvorbě letního smogu a kyselých dešťů. Příčinou kyselých dešťů jsou emise oxidů síry a oxidů dusíku, které v atmosféře oxidují za vzniku kyseliny sírové a kyseliny dusičité. Kyseliny snižují pH srážkové vody a tyto srážky způsobují okyselení půdy a povrchových vod. [5]

4.1.5 Nespálené Uhlovodíky (HC)

Nespálené uhlovodíky jsou produktem nedokonalého spalovacího procesu, během kterého nedošlo k jejich dokonalému spálení. Jedná se o různé směsi uhlovodíků vstupujících do procesu ve formě paliva. Hlavní parametr jejich škodlivosti je míra oxidace během spalovacího procesu. Nejmenší škodlivost je vykazována některými původními skupinami uhlovodíkového paliva. Naproti tomu vykazují mnohem větší zdravotní riziko především částečně zoxidované uhlovodíky, které vznikly jako meziprodukty oxidace původních molekul paliva a u kterých proběhl proces oxidace pouze částečně (například vlivem ochlazení v blízkosti stěn válce). Důsledkem částečné oxidace pak vznikají i extrémně škodlivé uhlovodíky, spadající do skupiny karcinogenních látek. Škodlivost těchto látek se zvyšuje ve spojení s dalšími škodlivými složkami výfukových plynů, nebo pevnými částicemi (HC jsou zachycovány na povrchu emitovaných pevných částic a vdechováním se dostávají do lidského organismu). [1]

Do skupiny nejnebezpečnějších nespálených nebo částečně zoxidovaných uhlovodíků se řadí především polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH). Samotná škodlivost těchto látek se pak zvyšuje v kombinaci s již zmiňovanými pevnými částicemi. Dále se do této skupiny řadí skupiny aldehydů R-CHO, které vznikají při procesu předoxidačních reakcí. Vznik těchto aldehydů je často spojován s nízkými teplotními režimy motorů (například během nízkých zatížení, studených startů nebo při provozu s velkým přebytkem vzduchu). [1]

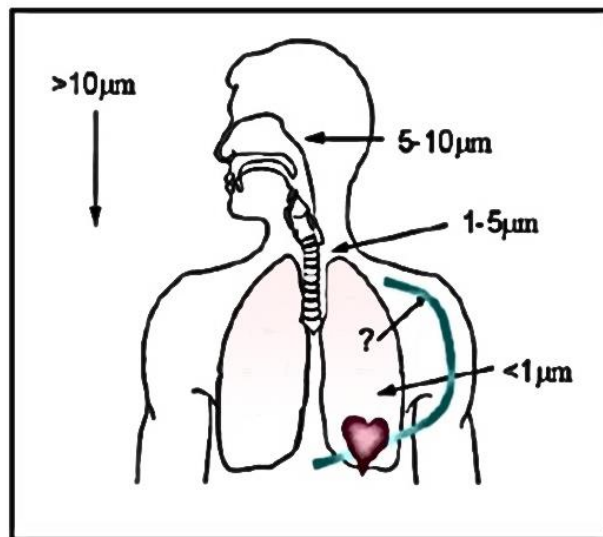
V lidském těle působí HC negativně na sliznice, způsobují poškození dýchacích cest a vedou k poruchám přirozených reflexů. Vzhledem ke škodlivosti některých nespálených uhlovodíků bude možné zřejmě očekávat jejich samostatné zařazení na seznam škodlivin výfukových plynů. [1]

4.1.6 Pevné částice (PM)

Pevné částice jsou částice složené především z primárního a organického uhlíku, dále pak z malého množství sulfátu, dusíku, vody a dalších neidentifikovaných složek. Jejich jádro je tvořeno pevným uhlíkem (obsah základního uhlíku v jádru pevných částic se blíží 75 %) a popelem, na kterém následně ulpívají organické a sulfátové směsi spolu s dalšími prvky. Složení se liší v závislosti na druhu motoru a použité technologii následné úpravy výfukových plynů (například filtry pevných částic). [1]

Během krátké expozice pevných částic může dojít k podráždění oka, jícnu a průdušek anebo se mohou u postiženého začít vyskytovat neurofyziologické příznaky, jako jsou potíže s dýcháním nebo pocity dávení. Při opakovaném vystavování může docházet k zánětům a histopatologickým změnám v plicích. Odhadovaná referenční koncentrace, která by nezpůsobovala zmiňované symptomy a neměla karcinogenní efekt je stanovena na $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. PM mají velký povrch s potenciálem absorbovat různé směsi, které mohou mít na lidský organismus karcinogenní, mutagenní nebo toxický vliv (např. polycyklické aromatické uhlovodíky nebo R-CHO aldehydy). Průnik depozic pevných částic do lidského organismu se odvíjí od jejich velikostí, což je patrné z Obrázku 2. Částice menší, než $1 \mu\text{m}$ pak pronikají skrze plicní stěnu do krevního řečiště, odkud mohou toxikovat organismus přenášenými škodlivinami. [1]

Obrázek 2 Průnik depozic PM do lidského organismu [1]



4.2 Emisní normy EU pro vozy do 3,5 tuny

První platný předpis byl tvořen směrnicí EHK 15 zavedený v roce 1971. Směrnice z počátku obsahovala 4 městské cykly a zaměřovala se na měření obsahu nespálených uhlovodíků (HC), oxidu uhelnatého (CO) a oxidů dusíku (NO_x) ve výfukových plynech. Do roku 1989 procházela směrnice mnohými změnami a v tomto roce byla nahrazena vyhláškou EHK 83. Vyhláška byla opět od roku 1989 několikrát upravována, především za účelem zpřísnění emisních limitů a začátkem devadesátých let utvořila základ pro nové emisní předpisy známé jako EURO (viz. Tabulka 1). Za účelem sjednocení legislativy jsou tyto předpisy přijímány i ve státech mimo území Evropské unie. V těchto zemích je platný emisní předpis, označován jako příslušná revize EHK 83. Emisní limity HC, CO, NO_x a PM jsou stanoveny specificky pro každou kategorii vozidel. [1]

Tabulka 1 Standardní limity emisí pro osobní vozidla do 3,5 t v EU [1]

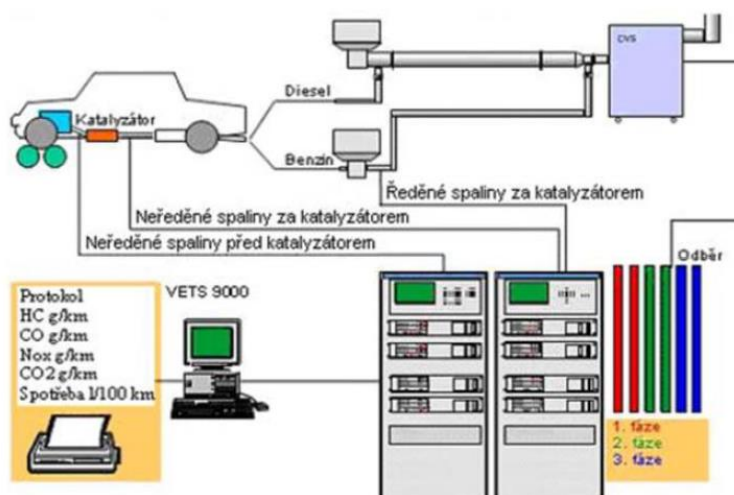
předpis	platnost	CO	HC	HC + NOx	NOx	PM
Diesel		g.km ⁻¹				
Euro 1	1992	2,72	-	0,97	-	0,14
Euro 2 -IDI	1996	1	-	0,7	-	0,08
Euro 2 -DI	1999	1	-	0,9	-	0,1
Euro 3	2000.01	0,64	-	0,56	0,5	0,05
Euro 4	2005.01	0,5	-	0,3	0,25	0,025
Euro 5	2009.09	0,5	-	0,23	0,18	0,005
Euro 6	2014.09	0,5	-	0,17	0,08	0,005
Petrol (Gasoline)		g.km ⁻¹				
Euro 1	1992.07	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	-
Euro 2	1996.01	2,2	-	0,5	-	-
Euro 3	2000.01	1,2	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

V současné době podléhají všechny nové automobily emisní normě EURO 6-d-ISC-FCM, platné od ledna 2021, ve které je již zakomponován přechod z metody NEDC na metodu WLTP, zavedený v normě EURO 6-c a doplněný o měření emisí metodou RDE zavedené v normě EURO 6-d-TEMP. Avšak oproti normě EURO 6-d-TEMP se již měření emisí NO_x při metodě RDE, smí lišit oproti metodě WLTP jen o chybu v měření samotného přístroje a nikoliv o 2,1násobek, jak bylo stanoveno v normě EURO 6-d-TEMP.

4.2.1 Metodika měření NEDC

NEDC (New European Driving Cycle) je bývalou metodou homologačních měření vozidel do 3,5 t. Metoda se sestává ze dvou bezprostředně za sebou jdoucích cyklů UDC a EUDC. Cyklus UDC byl složen ze 4 cyklů ECE 15, které měly za úkol simulovat městský provoz. Cyklus EUDC byl pak složen pouze z jednoho cyklu, který simuloval provoz mimo město. Celý průběh zkušebního cyklu je patrný z Obrázku 3. Parametry zkušebního cyklu jsou zobrazeny v Tabulce 2. [1]

Obrázek 3 Schéma metody CVS pro homologační měření vozidel [1]



Metoda NEDC je již v současnosti nahrazena metodou WLTP (od roku 2018), nicméně v Evropě byla využívána až do ledna 2021 pro korelaci spotřeby paliva a emisí CO₂, za pomoci CO₂MPAS, aby bylo možné kontrolovat stanovené emisní cíle EU, stanovené pro metodu NEDC. V současnosti již byla metoda NEDC zcela nahrazena metodou WLTP.

4.2.2 Metodika měření CADC

CACD (Common Artemis Driving Cycles) jsou postupy dynamických měření, vyvinutých společností INRETS-France, v rámci projektu ARTEMIS (Assesment and Raliability of Transport Emissions Models and Inventory Systems). Data pro sestavení jízdních cyklů pocházejí z měření jízdních vzorců v reálném provozu. Celková data zahrnují 2 650 hodin jízdy, s více než 80 vozy v Německu, Francii, Velké Británii, Švýcarsku a Řecku, s ujetou vzdáleností přesahující 110 000 km pro analýzu a následné uplatnění při tvorbě CADC. [6][7]

Samotné měření probíhá ve 3 cyklech [7]:

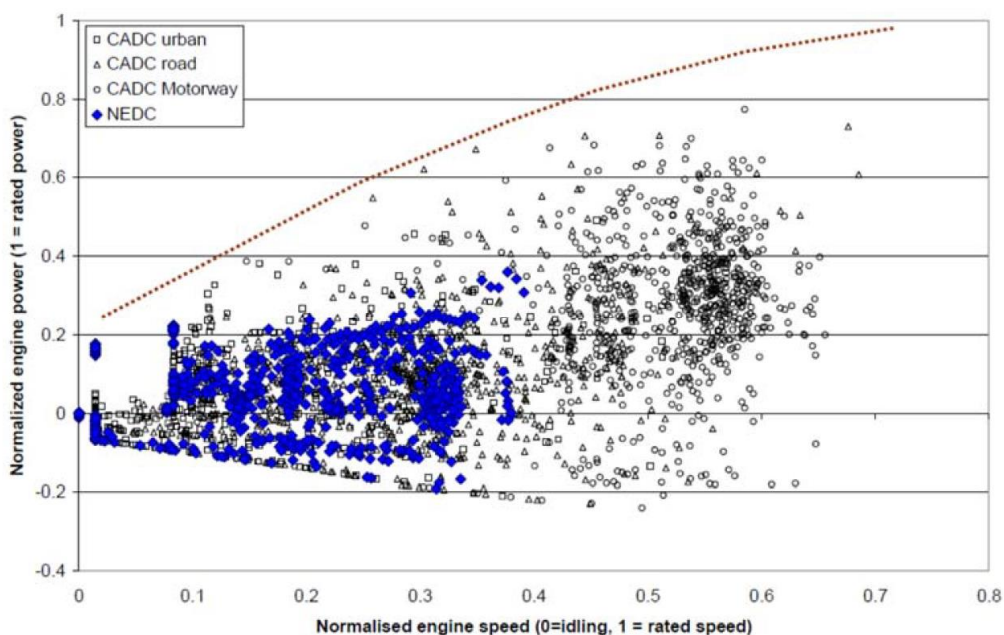
1. Městský cyklus.
2. Mimoměstský cyklus.
3. Dálniční cyklus.

Tabulka 2 Vybrané parametry CADC [7]

Cyklus	Doba jízdy [s]	Vzdálenost [km]	Průměrná rychlost [km.h ⁻¹]	Maximální rychlost [km.h ⁻¹]
Město	993	4,874	17,7	57,3
Mimo město	1082	17,275	57,5	111,1
Dálnice při 130 km.h ⁻¹	1068	28,737	96,9	131,4
Dálnice při 150 km.h ⁻¹	1068	29,547	99,6	150,5

CADC je, ve srovnání s bývalým jízdním cyklem NEDC, značně dynamičtější s vyššími rychlostmi vozidla a širším rozsahem zrychlení, jak je patrné z Přílohy 1, kde můžeme pozorovat značný rozdíl v rozsahu pokrytí jízdy po dálnici, který je v případě NEDC o poznání kratší, oproti CADC. Dalším specifickým CADC jsou v porovnání s NEDC časy řazení, které jsou určovány na základě hmotnosti vozidla, otáček a výkonu motoru. Tím je docíleno mnohem vyšších požadavků na výkon motoru v porovnání s NEDC, což je patrné z Obrázku 4. [6][8]

Obrázek 4 Porovnání výkonových požadavků NEDC a CADC [6]



Samotní tvůrci cyklu CADC již velmi dlouhou dobu poukazovali na nedostatečnou přesnost měření NEDC. Tyto nedostatky byly také mnohdy zmiňovány i v souvislosti například s aférou Dieseldgate, a to především v souvislosti s emisemi NO_x u vznětových motorů. To podpořil i fakt, že výsledky při porovnání obou testů vykazovaly značné rozdíly v naměřených hodnotách. Avšak CADC se nikdy nepodařilo NEDC nahradit, a to především vzhledem k povaze testu určeného primárně pro soupis emisí a nevhodnost pro postupy schvalování emisního typu. [9]

4.2.3 Metodika měření WLTP

WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) je harmonizovaná norma určena ke schvalování množství emisí výfukových plynů, spotřeby paliva nebo energie a akčního rádia elektrických pohonů u vozidel do 3,5 t. Vývoj normy byl zahájen v roce 2007, Organizací spojených národů a její finální verze byla představena v roce 2015. Hlavními důvody vývoje WLTP byla především unifikace normy pro homologaci vozidel na území členských států a neustále se zvětšující rozdíly laboratorních hodnot, získaných za pomoci NEDC a hodnot získaných v reálném provozu (v roce 2013 se například rozdíl hodnot spotřeby paliva pohyboval okolo 30 %). [10][11]

WLTP definuje kompletní rámec zkušební postupu, zkušebních podmínek a zkušební cykly. Zároveň jsou často v souvislosti s touto procedurou také zmiňovány pojmy WLTC a RDE. V případě WLTC se jedná o specificky identifikovaný cyklus v rámci procedury WLTP a je blíže popsán v následující kapitole. RDE je cyklus měření emisí v reálném provozu,

doplňen k WLTP v rámci emisní normy EURO 6-d-TEMP, který je zaměřen na kontrolu odchylky emisí NO_x a pevných částic oproti laboratorním měřením. [10][12]

Metodika WLTP byla v minulých letech zaváděna dle následujícího harmonogramu:

- 2017 povinné WLTC + RDE pro všechny nové emisní typy v rámci normy EURO 6-d-TEMP.
- 2018 povinné WLTC pro všechna nově registrovaná vozidla v rámci normy EURO 6-c.
- 2019 povinné WLTC + RDE pro všechny nově registrované vozy v rámci normy EURO 6-d-TEMP.
- 2020 snížen rozdíl RDE oproti WLTC na 1,5násobek v rámci normy EURO 6-d-TEMP-EVAP-ISC.
- 2021 rozdíl RDE oproti WLTC pouze v rámci chyby měřícího přístroje v rámci normy EURO 6-d-ISC-FCM.

4.2.3.1 Metodika měření WLTC

WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Cycle) je dynamometrický test pro stanovení emisí a spotřeby paliva u vozidel do 3,5t. Tento test rozděluje vozy do kategorií dle výkonové hmotnosti (viz. Tabulka 3), kdy každá kategorie má určené své specifické testovací režimy. Výkonová hmotnost je stanovena jako podíl výkonu ku pohotovostní hmotnosti vozu. Ta je stanovována dle původního předpisu bez hmotnosti řidiče, jak je definováno v ECE R83. Avšak metodika používaná na území EU je v tomto směru odlišná a stanovuje pohotovostní hmotnost vozu s řidičem, čímž dojde ke zvýšení hmotnosti vozu o 75 kg. [13][10] Samotný výčet vybraných parametrů pro jednotlivé testovací režimy a průběhy WLTC pro jednotlivé třídy jsou zobrazeny v Příloze 2. [13][10]

Tabulka 3 Kategorie vozidel dle výkonové hmotnosti [13]

Kategorie	W.kg ⁻¹	max. rychlost km.h ⁻¹	Rychlostní fáze sekvence
Třída 3b	PMR >35	≥120	Nízka 3 + Střední 3.2 + Vysoká 3.2 + Extra Vysoká 3
Třída 3a		<120	Nízka 3 + Střední 3.1 + Vysoká 3.1 + Extra Vysoká 3
Třída 2	34 ≥ PMR >22		Nízka 2 + Střední 2 + Vysoká 2 + Extra Vysoká 2
Třída 1	PMR ≤ 22		Nízka 1 + Střední 1 + Nízka 1

**PMR=power to mass ratio [výkonová hmotnost]*

Hlavní rozdíly mezi cykly NEDC a WLTC jsou tvořeny nejen rozdílnou náročností obou cyklů (viz. Tabulka 4), ale také právě již zmíněných kategorií, do kterých jsou vozy při testování WLTC řazeny. Zatímco cyklus NEDC pracoval pouze s jedním testovacím cyklem pro všechny vozy, WLTC bere v potaz nejen maximální rychlost testovaného vozu, ale klade důraz i na právě zmiňovaný hmotnostní výkon testovaného vozu. A právě pohotovostní hmotnost, která má vliv na hmotnostní výkon hraje důležitou roli v rámci cyklu WLTC, protože hmotnost vozu se liší v závislosti na modelu a jeho výbavě. To v důsledku způsobuje nutnost provést cyklus pro každou výbavovou konfiguraci daného modelu samostatně, což v konečném důsledku zvyšuje i časovou a finanční náročnost samotného procesu schvalování emisního typu.

Tabulka 4 Srovnání vybraných parametrů NEDC a WLTC pro kategorii 3b [10]

	NEDC	WLTC
Teplota startu	studený	studený
Doba testu [s]	1180	1800
Vzdálenost [km]	11,03	23,27
Průměrná rychlost [km.h ⁻¹]	33,60	46,50
Max. rychlost [km.h ⁻¹]	120	131,3
Fáze stání	14	9
Doba fáze:		
Stání [s]	280	226
Konstantní jízda [s]	475	66
Akcelerace [s]	247	789
Decelerace [s]	178	719
Podíl akcí:		
Stání [%]	23,70	12,60
Konstantní jízda [%]	40,30	3,70
Akcelerace [%]	20,90	43,80
Decelerace [%]	15,10	39,90
Průměrný nárůst akcelerace [m.s ⁻²]	0,59	0,41
Max. akcelerace [m.s ⁻²]	1,04	1,67
Průměrná decelerace [m.s ⁻²]	-0,82	-0,45
Min. decelerace [m.s ⁻²]	-1,39	-1,50

4.2.3.2 Metodika měření RDE

RDE (Real Driving Emissions) je zkouška sloužící k porovnání a doplnění hodnot naměřených během WLTC s reálným provozem na pozemních komunikacích. S vývojem RDE začala Evropská komise v roce 2011 a samotné zavedení testu přišlo o šest let později v roce 2017, jako součást normy EURO 6-d-TEMP. Tímto krokem získala Evropská unie celosvětové prvenství a přičinila se tak o významný pokrok v testování emisí silničních vozidel. [12][14]

Během samotného testu RDE se automobil pohybuje na veřejných komunikacích, kde je vystavován širokému spektru různých vnějších vlivů. O měření a zaznamenávání hodnot emisí vozu se stará speciální zařízení PEMS (Portable Emissions Measurement System).

Nashromážděné údaje pak slouží k prověření dodržování emisních limitů pro znečišťující látky PM a NO_x. [14][15]

Podmínky jízdy zahrnují [14]:

- celoroční teploty,
- jízdu do kopce a z kopce,
- nízké i vysoké nadmořské výšky,
- městské silnice (nízké rychlosti),
- meziměstské silnice (střední rychlosti),
- dálnice (vysoké rychlosti),
- a další užité zatížení vozu.

Měření prováděna u testovaného vozidla jsou zatížena určitou nepřesností, která je legislativou zohledněna v rámci faktoru konformity. Ten má za úkol vyrovnat nejistotu v měření systému PEMS. V rámci prvního stupně faktoru konformity (EURO 6-d-TEMP) nesmělo množství NO_x překročit 2,1násobek hodnot získaných během WLTC. Druhý stupeň snížil faktor konformity (EURO 6-d-TEMP-EVAP-ISC) pro emise NO_x na 1,5násobek hodnot získaných během WLTC. Nicméně i tato hodnota byla nahrazena v roce 2021 třetí fází faktoru konformity (EURO 6-d-ISC-FCM), která snížila koeficient na nula, tudíž od roku 2021 se smí hodnoty NO_x získané za pomoci testu RDE lišit od hodnot získaných při WLTC pouze o nejistotu v měření samotného přístroje PEMS. [15][16]

4.3 Snižování produkce emisí výfukových plynů u zážehových motorů

V této kapitole budou popsány konstrukční řešení a úpravy určené ke snížení produkce emisních složek výfukových plynů zážehových motorů. Obecně je možné rozdělit tato technická opatření do třech základních skupin [1]:

- **Opatření před motorem** – ovlivňují tvorbu směsi a směšovací poměr.
- **Opatření u motoru** – ovlivňují průběh spalování směsi.
- **Opatření za motorem** – způsobují dodatečnou redukci škodlivin po dokončení spalovacího procesu ve válci.

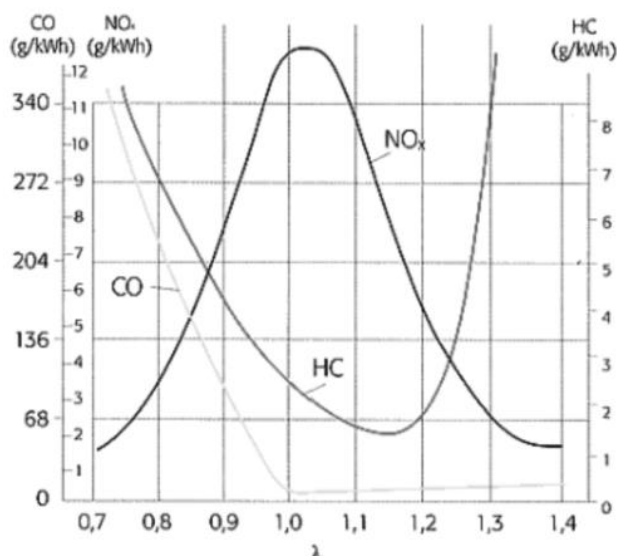
4.3.1 Opatření před motorem

V této kapitole budou popsány možnosti snížení emisí výfukových plynů zážehových motorů, ještě před samotným spalovacím procesem.

4.3.1.1 Volba směšovacího poměru

Tvorba emisí výfukových plynů zážehového motoru je silně závislá na směšovacím poměru, a to především u emisí HC, CO a NO_x. Avšak je nutné brát v potaz, že neexistuje vhodný poměr, který by snížil všechny emise současně. Při spalování chudé směsi ($\lambda > 1$) dochází ke snižování emisí CO a HC díky dostatečné oxidaci uhlovodíků během spalovacího procesu, nicméně vlivem přítomnosti velkého množství vzduchu ve spalovacím prostoru dochází ke zvýšení produkce emisí NO_x. Na druhé straně při spalování bohatých směsí ($\lambda < 1$) dochází sice ke snížení produkce NO_x, avšak vlivem nedostatečné oxidace paliva narůstá tvorba HC a CO (viz. Obrázek 5). Pro zajištění co nejlepších výsledků u zážehových motorů je tedy nutné zajistit dokonalé rozprášení paliva a promíchání jeho optimálního množství se vzduchem, tak aby byl zajištěn optimální stechiometrický poměr směsi ($\lambda = 1$). Při dodržení stechiometrického poměru směsi je možné dosahovat nejvyšší účinnosti a zároveň nejvyšší teploty spalování. Zároveň je vhodná volba směšovacího poměru důležitá u zážehových motorů z hlediska dodatečné termochemické úpravy výfukových plynů. [1][17][18]

Obrázek 5 Produkce škodlivých emisí v závislosti na λ [1]



4.3.1.2 Přímé vstřikování

Dnes již velmi oblíbenou a často využívanou metodou snižování emisí výfukových plynů je přímé vstřikování paliva. Na rozdíl od motorů s nepřímým vstřikováním je u motorů s přímým vstřikováním vstřikované palivo vstřikováno přímo do spalovacího prostoru, kde je také vytvářena i směs paliva se vzduchem. Díky tomu tato technologie umožňuje vstřikování paliva do spalovacího prostoru při nízkých zatíženích těsně před zážehem do okolí zapalovací svíčky a spalovat tak chudou směs. [1][19]

Obecně rozlišujeme při přímém vstřikování následující druhy provozu [1]:

- homogenní provoz,
- homogenní provoz s chudou směsí,
- homogenní provoz s vrstveným plněním,
- homogenní provoz chránící před klepáním,
- provoz s vrstveným plněním,
- provoz s vrstveným plněním a zahříváním katalyzátoru.

Díky těmto druhům je možné přizpůsobení tvorby směsi každému druhu provozu motoru, přičemž změny mezi jednotlivými druhy provozu probíhají bez skokových změn točivého momentu motoru. Při použití přímého vstřikování lze dosáhnout snížení spotřeby paliva (v závislosti na otáčkách a zatížení) o 10 – 16 %, což vede k trvalému snížení emisí CO₂. [1][19]

Hlavní nevýhodou přímého vstřikování u zážehových motorů je kromě složitosti samotného systému vstřikování paliva také nárůst emisí NO_x v důsledku spalování chudých a vrstvených směsí. Tento nárůst je částečně eliminován pomocí zpětného vedení výfukových plynů, nicméně za účelem splnění emisních požadavků je nutné dovybavit systém výfukových plynů o zásobníkový katalyzátor. Dále je dnes přímé vstřikování doprovázeno vysokými vstřikovacími tlaky pohybujícími se okolo 180 až 220 MPa. Díky tomu je možné rozdělit dávky paliva do více vstříků, zlepšuje se rozprášení paliva a díky tomu se zároveň snižuje množství emisí PM ve výfukových plynech. [1][19]

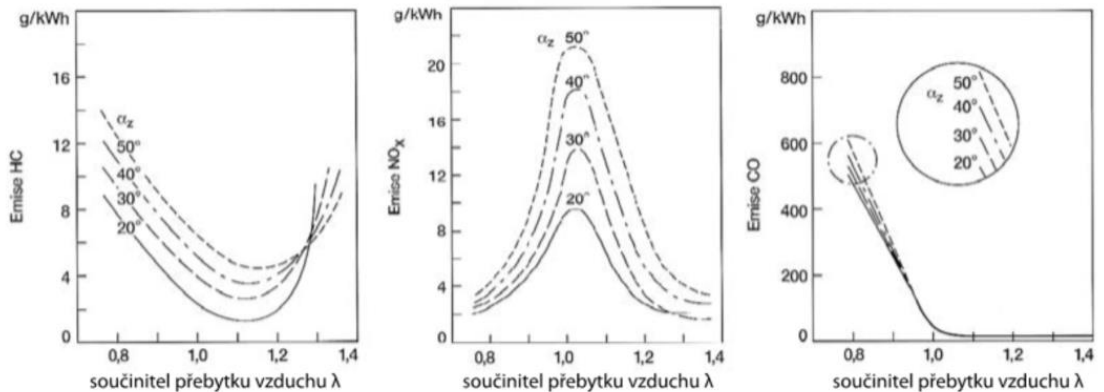
4.3.2 Opatření u motoru

V této kapitole budou popsána technická řešení ovlivňujících průběh spalování směsi, kterými můžeme ovlivňovat hlavně emise NO_x a HC. Pro snížení tvorby CO je zapotřebí především zajistit přiměřené spalovací teploty a přebytek kyslíku.

4.3.2.1 Předstih a energie zážehu

U zážehových motorů můžeme kromě vhodné volby směšovacího poměru ovlivnit tvorbu škodlivých emisí především vhodnou volbou předstihu a energie zážehu. Snižováním předstihu zážehu směsi lze docílit poklesu maximální teploty při spalování a nárůstu teploty výfukových plynů. Pozitivním výsledkem snižování předstihu je pokles emisí NO_x a HC, nicméně tento pokles je doprovázen nárůstem spotřeby, vlivem kterého narůstá množství emisí CO₂. [1][19] Vliv úhlu předstihu (α_z) a přebytku vzduchu (λ) na emise HC, NO_x a CO je zobrazen na Obrázku 6.

Obrázek 6 Vliv přebytku vzduchu λ a úhlu předstihu α_z na emise škodlivin [1]



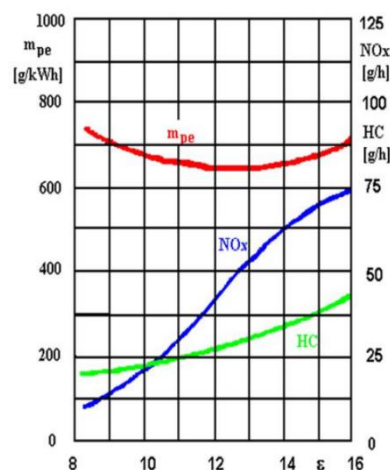
Samotný bod zažehnutí směsi je nutné volit tak, aby byly splněny požadavky na nízkou spotřebu, maximální moment motoru, nízké emise výfukových plynů a nedocházelo ke klepání motoru. Nicméně všechny zmíněné požadavky není možné splnit současně, a proto je nutné vždy volit kompromis při návrhu spalovacího procesu. [1][19]

Zvyšováním energie zážehu můžeme dosáhnout vyšší jistoty zapálení směsi a tím potlačit vznikání emisí HC. [1]

4.3.2.2 Kompresní a expanzní poměr

Jednou z možností, jak snižovat emise u zážehových motorů během spalovacího procesu je kompresní poměr. Snižováním kompresního poměru je doprovázeno snižováním maximální teploty, což má za následek redukcí emisí NO_x. Dále je doprovázeno snižováním kompresního poměru při spalování stechiometrické směsi poklesem produkce emisí HC. Závislost měrné spotřeby paliva (m_{pe}) a emisí NO_x a HC na kompresním poměru je zobrazena v Obrázku 7. Na druhou stranu bývá snižování kompresního poměru doprovázeno i snížením expanzního poměru, což vede ke zhoršené tepelné účinnosti, snížení výkonu motoru a zvýšení měrné spotřeby paliva.

Obrázek 7 Závislost m_{pe} , NO_x a HC na

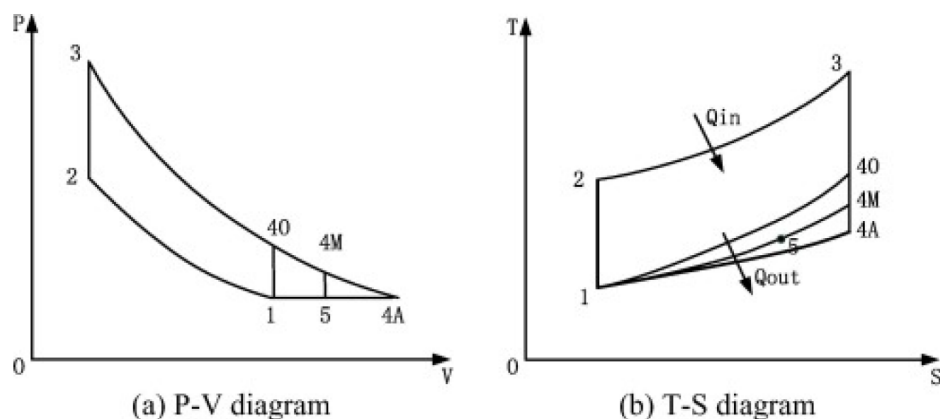


4.3.2.2.1 Atkinsonův cyklus a Millerův cyklus

Atkinsonův cyklus se řadí k moderním metodám snižování emisí výfukových plynů. Cyklus je aplikován na konstrukce zážehových motorů a dnes je především využíván ve spojení s elektrickými pohony (vlivem jeho zážehových charakteristik). Samotný cyklus pracuje na podobném principu jako Ottův cyklus, nicméně Atkinsonův cyklus pracuje oproti Ottovu cyklu s větším expanzním poměrem. Tento cyklus je specifický především vyšším expanzním poměrem oproti kompresnímu. Díky tomuto nepoměru lze použitím Atkinsonova cyklu docílit vyšší výstupní energie a vyšší teplotní účinnosti v porovnání s Ottovým cyklem při stejném kompresním poměru. Toho je docíleno u Atkinsonova cyklu pomocí změny průběhu komprese díky zpoždění uzavírání sacího ventilu za účelem regulace efektivního kompresního poměru. Všechny tyto změny jsou koncipovány tak, aby nedocházelo ke změnám struktury tradičního zážehového motoru. Použitím Atkinsonova cyklu je možné docílit při 30 – 40% zatížení snížení spotřeby o 10 % a nárůst tepelné účinnosti téměř na 75 % (což je o 10 % více, než u Ottova cyklu). [20][21] Dále je snižování kompresního poměru doprovázeno poklesem produkce emisí NO_x a HC, jak bylo již popsáno v předchozí kapitole.

Millerův cyklus pracuje na podobném principu jako Atkinsonův s tím rozdílem, že je doplněn o přeplňování turbodmychadlem. To umožňuje posunutí celého cyklu na konci kompresního zdvihu do nižších teplot, díky čemuž je umožněna práce s vyššími tlaky. [21] Samotné porovnání Ottova cyklu (1-2-3-4O-1), Atkinsonova cyklu (1-2-3-4A-1) a Millerova cyklu (1-2-3-4M-5-1) v P-V a T-S diagramu je zobrazeno na Obrázku 8.

Obrázek 8 P-V a T-S diagram pro ideální Ottův, Atkinsonův a Millerův cyklus [21]



4.3.2.3 Proměnné časování ventilů

Proměnné časování ventilů je technologie umožňující optimalizaci řízení otevírání a uzavírání ventilů v závislosti na zatížení a otáčkách motoru. Samotné řízení ventilů probíhá z hlediska počátku otevření a doby otevření ventilu. Pomocí této technologie je možné zlepšit plnění válců v širokém rozsahu otáček a provozních podmínek motoru. Tím je dosahováno

vyššího výkonu a průběhu točivého momentu motoru, poklesu spotřeby paliva a poklesu emisí výfukových plynů. [1][19]

Pro řízení časování můžeme využít [19]:

- proměnné časování sacích ventilů,
- variabilní ovládání vačkových hřídelů,
- plně variabilní ventilové rozvody.

Jednou z nekonvenčních metod ovládání ventilů je elektrohydraulické ovládání, které umožňuje absenci vačkové hřídele. Samotný princip ovládání tkví v přepouštění kapaliny pod a nad píst umístěný na dřívku ventilu, což umožňuje velice rychlé otevření a uzavření ventilu, zlepšení plnění válce a zároveň proměnlivý zdvih. Zároveň je možné řídit plnění motoru podobně, jako škrťací klapkou. [19]

4.3.2.4 Metoda deaktivace válců (CDA -Cylinder Deactivation)

Tato metoda aplikovaná u zážehových motorů umožňuje deaktivaci válců během částečného zatížení motoru, tj, při snížených požadavcích na točivý moment, např. během jízdy na mimoměstských komunikacích nebo na dálnici při konstantní rychlosti. Samotná deaktivace válců je realizována pomocí uzavření všech ventilů daného válce a odříznutí přívodu paliva do všech deaktivovaných válců současně pro všechny cykly. Díky deaktivaci válců dochází ke snížení zdvihového objemu, namísto snižování náplně směsi pomocí ovládání sacích ventilů. Zároveň fungují deaktivované válce jako vzduchová pružina, která je periodicky stlačována a uvolňována. Dále je přechod z režimu všech válců do režimu s deaktivovanými válci doprovázen nárůstem plnění, díky čemuž mohou aktivní válce generovat veškerý požadovaný výkon. Tímto způsobem je možné účinně docílit poklesu čerpacích ztrát, vznikajících při částečném zatížení. Metodu CDA je možné implementovat u motorů se dvěma a více válci. [22][23]

Základním kritériem přechodu z normálního režimu, do režimu s deaktivovanými válci, je zajištění konstantního komfortu jízdy bez prudkého poklesu výkonu. Zároveň pokud dojde v režimu s deaktivovanými válci k požadavku na zvýšení výkonu, například během předjíždění, musí dojít k aktivaci normálního režimu během několika málo milisekund bez nadměrného nárůstu emisí vlivem změny režimu. Díky metodě CDA můžeme u čtyřválcového motoru při 50 % deaktivace dosáhnout zvýšení efektivity okolo 20 %, poklesu emisí HC o 10 – 40 % a zlepšení spotřeby o cca 11 %. [22][23]

4.3.2.5 Start/stop systém

Jedná se o softwarový systém umožňující úsporu paliva a emisí výfukových plynů během zastávek vozu. Podstatou systému je vypnutí motoru v situacích, kdy bylo vozidlo zastaveno a systém vyhodnotil, že je možné vypnout motor. Obvykle považuje systém za vhodnou chvíli k vypnutí motoru ty situace, při kterých je vyřazena rychlost a dochází ke zpomalování vozidla. Opětovné nastartování je následně provedeno například při sešlápnutí spojkového pedálu, zařazení rychlosti, či sešlápnutí pedálu akcelerace. Prvotní cílovou skupinou tohoto systému byla především hybridní vozidla, nicméně v důsledku neustále se zvyšujících nároků na regulaci emisí výfukových plynů došlo k implementaci systému i do vozidel vybavených pouze spalovacím motorem. Velké opodstatnění měl pak systém během homologačních zkoušek NEDC, kdy doba stání tvořila 280 vteřin, avšak vlivem změny homologační procedury na WLTP se doba stání zkrátila na 226 vteřin, což znamená i snížení efektivity eliminace emisí výfukových plynů tímto systémem.

Vhodné využití nachází systém především při užívání vozu v městském provozu, ve kterém dochází k častým zastávkám vlivem světelných křižovatek, chodců, kongescí apod. Pro správnou funkci systému je důležitá větší robustnost baterie, alternátoru a startéru z důvodu většího a častějšího zatěžování. Taktéž je důležité zajistit pro systém dostatečné množství dat o aktuálním stavu vozidla, aby bylo zamezeno poškození motoru či ohrožení posádky vlivem zhasnutí motoru.

4.3.2.6 Recirkulace výfukových plynů

Podstatou systému je vedení výfukových plynů zpět do válce, díky čemuž je teplo ve válci absorbováno spaliny, což má za následek pokles maximální teploty hoření. Zároveň je zpětným vedením sníženo množství přiváděného kyslíku do válce, kde by mohl oxidovat s dusíkem. Díky tomu obecně recirkulace spalin přispívá ke snížení emisí NO_x a měrné spotřeby, na druhé straně se však může recirkulace spalin negativně projevit na zvýšené tvorbě emisí HC díky nedokonalé oxidaci paliva. [1][24]

Způsob recirkulace výfukových plynů se dělí na [1]:

- vnitřní,
- a vnější.

Princip vnitřní recirkulace spočívá v překrytí otevření výfukového a sacího ventilu během výměny náplně. Mezi hlavní výhody použití vnitřní recirkulace spalin patří především malá finanční náročnost a absence nároků na zástavbový prostor. Oproti tomu nevýhodou je například fixní nastavení zpětného vedení spalin bez možnosti regulace, což má nepříznivý vliv na motor především během volnoběhu. Proto bývají motory s vnitřní recirkulací vybaveny dvoustavovou regulací časování, kdy je překrytí při volnoběhu blízké nule. [1][24]

V porovnání se systémem vnitřní recirkulace umožňuje systém vnější recirkulace spalín plnou regulaci spalín prostřednictvím EGR (Exhaust Gas Recirculation) ventilu, který lze ovládat různými způsoby, přičemž dnes je nejrozšířenější elektronické ovládání. Princip vnější recirkulace spočívá v odvádění spalín přes EGR ventil zpět do sání, zároveň během zpětného vedení mohou být spaliny ještě ochlazovány pomocí tepelných výměníků. Hlavní nevýhodou tohoto systému může být v případě přeplňovaných motorů pokles plnicího tlaku při vyšším odběru výfukových plynů. Avšak tento problém lze vyřešit pomocí turbodmychadla s variabilním nastavením lopatek. [1][24]

Dle množství ochlazených spalín můžeme rozdělit systémy vnější recirkulace na [24]:

- **Vnější recirkulace bez ochlazování** – výfukové plyny jsou bez dalších úprav vedeny rovnou do sání, čímž umožňují rychlejší odpaření paliva díky zvýšení teploty nasávaného vzduchu.
- **Vnější recirkulace s plným ochlazením** – výfukové plyny jsou vedeny skrz mezichladič, kde dochází ke kondenzaci (a možné kondenzaci vody) a následnému vedení zpět do spalovacího prostoru.
- **Vnější recirkulace s částečným ochlazením** – mezichladičem prochází pouze část výfukových plynů, čímž je zamezeno kondenzaci vody a jejímu zpětnému vedení do spalovacího prostoru.

Dle [25] je vnější recirkulace s plným chlazením jednou z možných technik, kterými lze u zážehových motorů docílit poklesu výskytu klepání, spotřeby a tvorby emisí NO_x . Maximální výhody vnější recirkulace ve spotřebě paliva je dosahováno při nižších zatíženích, především díky redukci čerpacích ztrát. Při vysokém zatížení je pak zaznamenán nárůst spotřeby paliva vlivem zvyšování odolnosti proti klepání. Samotný vliv použitého zpětného vedení výfukových plynů v závislosti na zatížení na emise NO a HC je patrný z obrázků v Příloze 3. V Příloze je patrný pozitivní vliv na produkci emisí NO v závislosti na množství recirkulovaných spalín, nicméně ten je na druhé straně doprovázen mírným růstem produkce emisí HC vlivem množství spalín.

4.3.3 Opatření za motorem

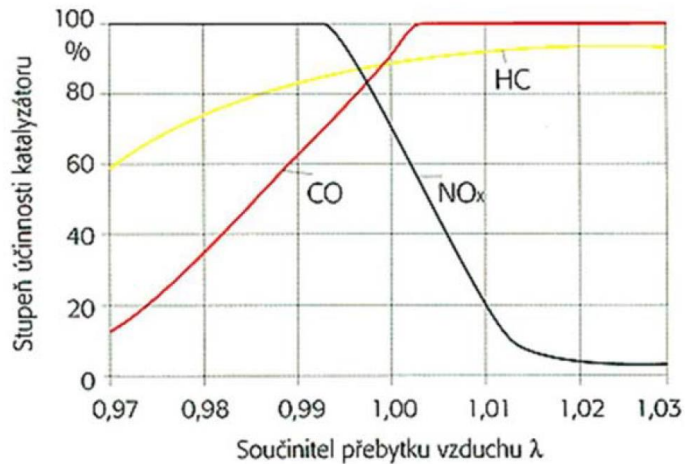
V této kapitole budou popsány systémy následného zpracování emisí výfukových plynů.

4.3.3.1 Třícestný katalyzátor

Jedná se o oxidačně-redukční katalyzátor, který je používán výhradně u zážehových motorů. Katalyzátor umožňuje za pomoci oxidace a redukce snížit množství CO , HC a NO_x ve výfukových plynech. Aby taková reakce mohla proběhnout, je zapotřebí, aby se složení směsi blížilo stechiometrické směsi ($\lambda = 1$), u které je ve výfukových plynech obsaženo dostatečné množství molekul O_2 pro oxidaci a dostatek molekul CO a HC pro redukci. Za účelem

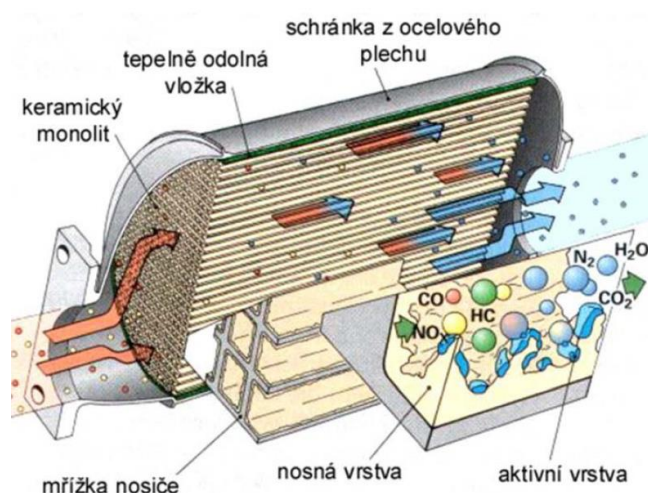
zachování stechiometrické směsi je systém doplněn o tzv. lambda regulaci, která upravuje složení směsi v závislosti na množství molekul kyslíku ve spalínách. Lambda regulace je dnes prováděna pomocí dvou širokopásmových lambda sond umístěných před a za katalyzátorem. [1] Účinnost katalyzátoru v závislosti na přebytku vzduchu je zobrazena na Obrázku 9.

Obrázek 9 Účinnost třícestného katalyzátoru v závislosti na λ [1]



Aktivní vrstva drahých kovů (např. platiny, rhodia a paladia) je nanášena na keramickém nosiči třícestného katalyzátoru nanášeném na mřížce nosiče. Řez katalyzátorem je zobrazen na Obrázku 10. Vhodnou pracovní teplotou pro třícestný katalyzátor je rozpětí 250 – 800 °C. Pokud se vnitřní teplota katalyzátoru pohybuje pod 250 °C (stav po startu obvykle trvající 30 – 90 vteřin), stává se katalyzátor neúčinný. Při použití třícestného katalyzátoru můžeme dnes docílit poklesu emisí NO_x, HC a CO o 98 %. [1]

Obrázek 10 Řez třícestným katalyzátorem [1]

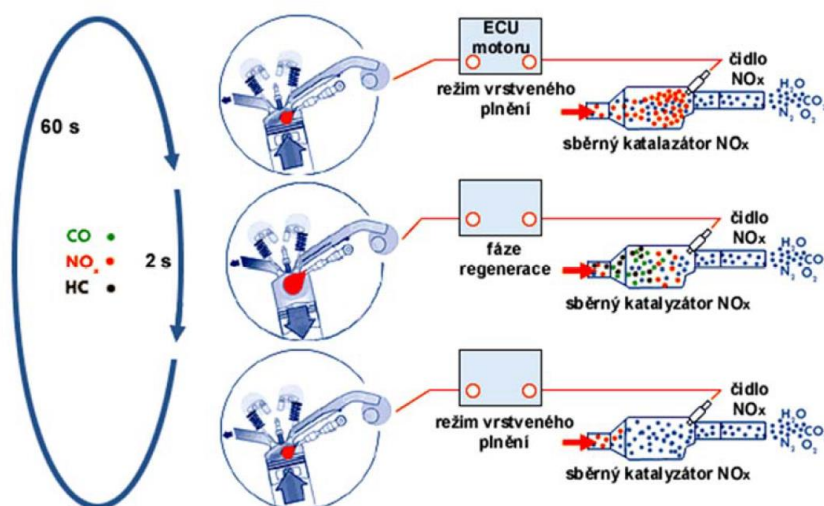


Hlavní slabinou třícestného katalyzátoru je stále jeho neúčinnost před dosažením provozní teploty (tj. 250 °C). V tomto ohledu přinesla v roce 2018 zajímavé řešení firma Continental spolu s jejím vyhřívaným katalyzátorem EMICAT, který má v mřížce nosiče instalované vyhřívání, jenž umožňuje uvedení katalyzátoru do provozu ve velice krátké době od startu.

4.3.3.2 Sběrný (zásobníkový) katalyzátor

Tento druh katalyzátoru se vyskytuje u motorů s přímým vstřikováním paliva za účelem snížení emisí NO_x vzniklých při spalování vrstvené směsi. Důvodem je tvorba velice malého množství emisí HC a CO vzniklých při spalování vrstvené směsi, které jsou potřeba pro redukci NO_x v třícestném katalyzátoru. Obvykle bývá sběrný katalyzátor umístěn za třícestný katalyzátor. Při provozu na chudou směs jsou na povrch sběrného katalyzátoru zachytávány částice NO_x a ukládány ve formě bariumnitrátů. V důsledku omezené kapacity sběrného katalyzátoru je nutná jeho regenerace každých 30 – 60 vteřin. Ta je řízena pomocí řídicí jednotky, která shromažďuje data z čidla NO_x a v případě potřeby přepne motor na 1 – 2 vteřiny do režimu bohaté směsi. Díky tomu dojde ke zvýšení podílu CO ve výfukových plynech a ten pak reaguje s oxidy dusíku navázaných na bariu. [1] Celý cyklus sběru a regenerace je zobrazen na Obrázku 11. Hlavním problémem doprovázejícím regeneraci katalyzátoru je nárůst měrné spotřeby během režimu bohaté směsi, který je doprovázen i nárůstem emisí CO_2 , což ve výsledku trochu snižuje celkovou úsporu paliva při spalování vrstvené směsi.

Obrázek 11 Cyklus regenerace sběrného katalyzátoru [1]

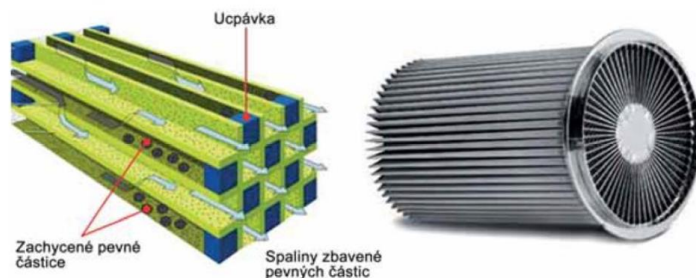


4.3.3.3 Filtr pevných částic

Jedná se o zařízení určené k redukci PM ve výfukových plynech. Vlivem nových emisních standardů je filtr pevných částic součástí již každého nově vyráběného spalovacího motoru. Filtr je vyroben ze silikátů dotovaných hliníkem nebo spékanými kovy, obvykle s vláknovou či voštinovou strukturou. Z pohledu průchodnosti filtru obvykle rozlišujeme dva druhy konstrukce. [1][24]

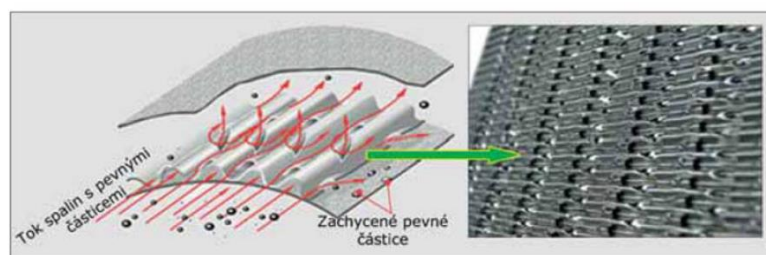
Prvním typem konstrukce je uzavřený systém tvořený komorami, které jsou odděleny porézními stěnami. Komory jsou vždy přístupné pouze z jedné strany, což nutí výfukové plyny prostupovat porézními stěnami, ve kterých jsou zachycovány pevné částice (viz. Obrázek 12). [1][24]

Obrázek 12 Uzavřený systém filtrace pevných částic [24]



Druhým způsobem filtrace pevných částic je otevřený systém (např. Twin Tec), u kterého není výfukový plyn nucen procházet skrze stěny, ale je rozdělován pomocí tvarových výstupků (viz. Obrázek 13). Hlavní výhodou otevřených systémů filtrace pevných částic jsou především nižší odpory proudění výfukových plynů. [1][24]

Obrázek 13 Otevřený systém filtrace pevných částic [24]



Během zachytávání částic postupně dochází k zanášení filtru, což je dnes řešeno regenerací. Samotný systém regenerace pak můžeme rozdělit na aktivní a pasivní. Aktivní systém je charakteristický přiváděním dodatečné energie pro zvýšení teploty spalin, například opožděným vstřikem paliva. Naopak pasivní systém je charakteristický využitím systému pro snižování teploty zápalnosti spalin, například předsazeným oxidačním katalyzátorem

(využíváno u vznětových motorů), nebo přidáváním aditiv do paliva. Samotná účinnost filtrů pevných částic dnes přesahuje 99 %. [1][24]

Hlavní nevýhodou doprovázející filtry pevných částic je nutnost jejich regenerace, a to především aktivní, která vyžaduje obohacení směsi ke zvýšení teploty, což vede ke zvýšení spotřeby a tím i emisí CO₂. Jedním ze zajímavých řešení tohoto problému u zážehových motorů může být například řešení od firmy Continental, které využívá k regeneraci filtru pevných částic páry z nádoby s aktivním uhlím, čímž dojde k zachování spotřeby i při aktivní regeneraci.

4.4 Automobilové benzíny

Jedná se o ropný produkt určený pro pohon vozidel vybavených zážehovými spalovacími motory. V dřívějších dobách byly automobilové benzíny rozlišovány na olovnaté a bezolovnaté, nicméně v současnosti jsou v běžné distribuční síti čerpacích stanic k dostání pouze benzíny bez příměsi olova. Bezolovnaté benzíny jsou získávány destilací ropy při teplotách v rozmezí 30 až 215 °C a následnými zušlechťujícími technologickými postupy. Ve skladbě bezolovnatých benzínů jsou zastoupeny především alifatické uhlovodíky, získávané frakční destilací ropy, s přísadami izo-oktanu nebo aromatických uhlovodíků toluenu a benzenu pro zvýšení oktanového čísla. Dále mohou obsahovat aditivační složky, jako jsou např.: kyslíkaté složky, detergentní, antidetonační, antioxidační a jiné přísady. [26]

Automobilové benzíny prodávané na území České republiky musí svými parametry vyhovovat ČSN EN 228 + A1 (656505). Přehled obecných požadavků na automobilové benzíny Natural 95 a Natural 98 stanovených touto normou je zobrazen v tabulce v Příloze 4. [27]

Na automobilové benzíny jsou kladeny následující požadavky [1][26]:

- dobré antidetonační vlastnosti,
- zajištění startovatelnosti vlivem dobré odpařitelnosti za nízkých teplot,
- bez obsahu nižších frakčních podílů (podíly nad 210 °C), z důvodu zamezení smývání olejového filmu na stěně válce a ředění oleje v motorové skříni,
- nízký obsah síry, způsobující: korozi palivové soustavy, pokles oktanového čísla a nárůst škodlivin ve výfukových plynech,
- bez obsahu pryskyřic, způsobujících zanášení trysek a usazování se v sacím potrubí a na sacím ventilu,
- zabezpečení nízkých ztrát při delším skladování (dlouhodobá stabilita).

[1][26]

4.4.1 Oktanové číslo (OČ)

Oktanové číslo je hlavním jakostním parametrem automobilových benzínů, jenž vyjadřuje schopnost paliva odolávat klepání, tedy jeho antidetonační odolnost. Detonační spalování je charakteristické místním vzplanutím části směsi paliva se vzduchem, které má podobu detonace. Vlivem detonačního spalování dochází k šíření tlakové vlny, která se šíří spalovacím prostorem rychlostí zvuku a při jejím dopadu na stěny spalovacího prostoru a dno pístu vyvolá rázy v pístní skupině a klikovém mechanismu. Vnější projev detonačního spalování je charakteristický hlukem, tzv. klepáním motoru. Při dlouhodobějším provozu za zmiňovaných podmínek dochází k havárii motoru vlivem zvýšeného přestupu tepla do stěn spalovacího prostoru a následného přehřívání motoru. [1][26]

Oktanové číslo vyjadřuje procentuální zastoupení izo-oktanu C_8H_{18} (OČ = 100) a n-heptanu C_7H_{16} (OČ = 0) ve směsi, vykazující stejnou odolnost vůči klepání ve zkušebním motoru, jako testované palivo. [26][28]

Hodnotu oktanového čísla paliva můžeme získat pomocí měření na jednoválcovém motoru s proměnlivým kompresním poměrem. Pro hodnocení paliv se v České republice využívají dvě metody lišící se otáčkami zkušebních strojů a některými provozními parametry. [1][26]

Metody jsou [26]:

- **VM** – výzkumná metoda (Research Method – RM) prováděna při: otáčkách motoru 600 min^{-1} , teplotě přehřátého vzduchu $52 \text{ }^\circ\text{C}$, předstihu zapalování 13° a s proměnlivým kompresním poměrem jako hodnotícím kritériem.
- **MM** – motorová metoda (Motor Method – MM) se provádí při: otáčkách motoru 900 min^{-1} , teplotě přehřívání směsi vzduchu $149 \text{ }^\circ\text{C}$, automatickém proměnlivém předstihu $19^\circ - 26^\circ$ a proměnlivém kompresním poměru jako hodnotícím kritériem.

Po získání vhodného kompresního poměru, se kterým testované palivo určitou měrou detonuje a odečtení přibližné hodnoty oktanového čísla z cejchovní křivky, je motor ponechán s nastavenou hodnotou kompresního poměru. Na takto nastaveném motoru je poté pomocí změny objemového poměru izo-oktanu a n-heptanu v porovnávacím palivu hledána taková směs, která má z hlediska klepání stejné vlastnosti. Hodnota oktanového čísla získaného pomocí výzkumné metody bývá obvykle vyšší, oproti hodnotě získané motorovou metodou. Rozdíl výzkumné a motorové metody je označován jako citlivost paliva a odvíjí se od struktury uhlovodíků v daném palivu. V současné době jsou již využívána paliva s citlivostí menší polovina, což souvisí s obsahem aromatických látek v automobilovém benzínu, které ovlivňují tvorbu úsad vznikajících ve spalovacím prostoru a na ventilech a ovlivňují tak negativně chod motoru

s vyšším kompresním poměrem. Požadavky na oktanové číslo benzínu pro daný typ motoru jsou udávány pro výzkumnou metodu. [26][28]

S oktanovým číslem se dále pojí následující pojmy [28]:

- **Oktanový předpis** – udává a doporučuje uživateli daného vozu, aby používal pro daný typ motoru palivo s oktanovým číslem udávaným pro výzkumnou metodu. Samozřejmě je při stanovování oktanového předpisu zohledňován vyráběný typ paliva v dané zemi distribuce.
- **Oktanový nárok** – je zjišťován konstruktérem při zkoušení motoru na motorové brzdě. Oktanový nárok je definován jako nejmenší hodnota OČ, se kterým zkoušený motor neklepe v celém rozsahu otáček.
- **Oktanová rezerva** – zohledňuje rozdíl mezi oktanovým předpisem a oktanovým nárokem s tím, že tak dochází ke zlepšení využitelnosti motoru, jako je například: možnost využití vyššího předstihu, menší spotřeba paliva, lepší akcelerační vlastnosti apod.

Samotnou frakční destilací ropy není možné získat plně funkční benzín, neboť takto vzniklý benzín má sám o sobě velmi nízké oktanové číslo. Proto je takto vzniklý benzín nutně podrobit dalším rafinérským postupům a přimícháváním antidetonátorům pro zvýšení jeho oktanového čísla na požadovanou hodnotu. [1]

Mezi základní rafinérské postupy patří [1][28][29]:

- **Reformování** – je základním procesem při výrobě vysokooktanových benzínů všech rafinérií. Proces spočívá v přeměně uhlovodíků s malým oktanovým číslem (tj. n-alkanů a cyklanů) na vysokooktanové aromáty.
- **Krakování** – cílem je zvýšení výtěžnosti při výrobě benzínu. Při procesu probíhá štěpení uhlovodíků s delšími řetězci na uhlovodíky kratší, které se nacházejí v benzínech. V důsledku štěpení vznikají lehčí uhlovodíky (uhlovodíky s kratším řetězcem), než ve výchozí surovině a dále těžší uhlovodíky (uhlovodíky s delším řetězcem), než ve výchozí surovině. Podle podmínek krakování mohou vznikat i tuhé látky (např. ropný koks), což může být i záměrem celého procesu.
- **Katalytické krakování** – poskytuje velké výtěžky benzínu, který má navíc dobré oktanové číslo. Podstatou je tepelné štěpení výševroucích ropných frakcí za vzniku převážně nenasycených a aromatických uhlovodíků. Při tomto procesu vzniká podstatně vyváženější benzín po stránce rozložení oktanového čísla oproti směsi původního destilátu a reformátu. Samotným výsledkem je benzín s celkem vysokým oktanovým číslem podél celé destilační křivky.
- **Izomerace** – je proces zavedený ve všech rafinériích, za účelem výroby kvalitního benzínu. Smyslem procesu je katalytický proces, při kterém vznikají

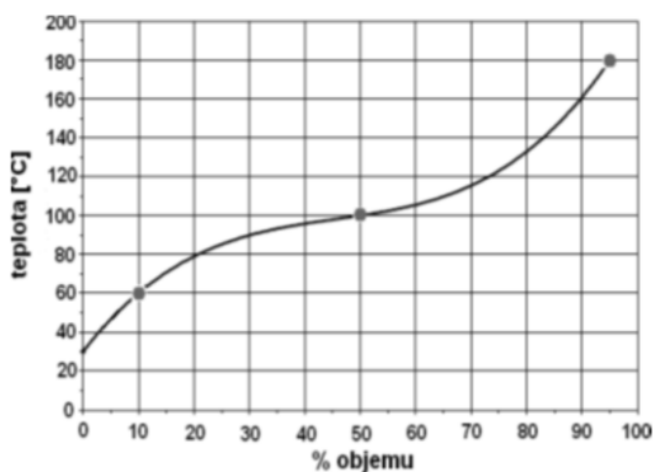
z nízkooktanových n-alkanů s pěti a šesti uhlíky rozvětvené izomery s vysokým oktanovým číslem. Cílem je vyplnit tzv. oktanovou díru při výrobě kvalitních benzínů, která snižuje oktanové číslo produktu lehkým izomerátem (směs izopentanů s izohexany), destilujícím přibližně uprostřed kritického rozmezí (50 – 90 °C).

- **Pyrolýza** – je proces spočívající v intenzivním tepelném štěpení ropných frakcí, při kterém vzniká ethylen, propylen, ale také buteny, palivové frakce a pyrolýzní olej. Jmenované frakce vykazují velký obsah olefinů. Frakce složené především z butanů a buténů, tedy frakce C₄, nacházejí v malém množství uplatnění pro zvýšení par benzínů v zimním období.
- **Alkylace** – je náhradou dříve používané jednoduché polymerace, což byla jedna z prvních metod užívaných pro zvyšování oktanového čísla. Princip procesu spočívá v syntéze vysokooktanových izo-alkanů (tzv. alkylátu), pro zvýšení oktanového čísla benzínu v oblasti destilace kolem 100 °C v případech, kdy benzín nesmí obsahovat vyšší procento aromátů. Samotný alkylán vzniká reakcí alkanů s alkeny, kdy v praxi se vychází z uhlovodíků C₄, tedy z izobutanu a buténu. V reakčním produktu převládají rozvětvené uhlovodíky s osmi uhlíky v molekule a oktanovým číslem 100. Tato technologie je ze všech zmíněných technologií nejdražší a v současné době nemá praktické využití v rafinériích.

4.4.2 Destilační zkouška

Pomocí této zkoušky je zjišťováno požadované frakční složení automobilového benzínu. Při této zkoušce je získána tzv. destilační křivka (viz. Obrázek 14). [1]

Obrázek 14 Destilační křivka automobilového benzínu [1]



Nejnižší hodnota teploty označuje začátek destilace. Tato hodnota charakterizuje body varu nejllehčích uhlovodíků. Tato teplota je hlavním původcem ztrát odparem paliva při čerpání a skladování. Zároveň je tato hodnota velice důležitá z hlediska požární bezpečnosti. Začátek destilační křivky závisí na klimatických podmínkách i ročním období, nicméně v našich klimatických podmínkách se teplota pohybuje mezi 30 °C a 35 °C. [1][28]

Deseti procentní bod označuje teplotu, při které je předestilováno 10 % objemu paliva. Tato hodnota vyjadřuje schopnost paliva vytvořit i ve studeném sacím potrubí motoru dostatečný podíl par potřebný k vytvoření směsi ve válci, kterou by zapálila jiskra na svíčke. Optimální teplota desetiprocentního bodu se dnes nachází v rozmezí 45 – 60 °C. Teplota desetiprocentního bodu je sezónně upravována, tudíž v létě by se teplota měla blížit spíše horní hranici a v zimě spíše spodní hranici teplotního rozsahu. [1][28]

Padesátiprocentní bod charakterizuje teplotu, při které se předestiluje 50 % benzínu, tedy teplotu střední tzv. jádrové frakce (pracovní část benzínových frakcí). Pokud se teplota padesátiprocentního bodu pohybuje nad 140 °C, dochází k pomalejšímu růstu otáček motoru při akceleraci a také k nárůstu spotřeby paliva na delších trasách. To je způsobeno především pomalým odpařováním jádrové frakce, která pak vstupuje v nespálené formě do výfukového potrubí. Zároveň je teplotou padesátiprocentního bodu ovlivněna i rychlost ohřevu studeného motoru po nastartování. Příliš vysoká teplota padesátiprocentního bodu má také za následek usedání kapiček paliva na studenou stěnu válce, odkud smývá olejový film, což má za následek značný nárůst opotřebení pístních kroužků a stěn válce. U stávajících paliv se pohybuje teplota padesátiprocentního bodu v rozmezí 95 – 115 °C. [1][28]

Za účelem zamezení trvalého ředění olejové náplně motoru je kontrolována teplota, při které je předestilováno 95 % (méně často 97 %) paliva a teplota při které je předestilován všechen benzín. Teplota pětadevadesátiprocentního bodu by neměla přesahovat teplotu 180 °C a konec destilace pak teplotu 210 °C. V případě, že palivo obsahuje velké množství frakcí s vysokým bodem varu, nastává nebezpečné ředění olejové náplně. I u motorů zahřátého na provozní teplotu nedojde ke shoření uhlovodíků s bodem varu vyšším než 200 °C. Tyto uhlovodíky se v průběhu kompresního zdvihu nestíhají odpařit a kondenzují tak při spalování na stěnách válce, kde rozpouští vrstvu oleje, čímž dochází k ředění oleje. To představuje opravdu velké riziko pro moderní motory z důvodu nízké viskozitní rezervy moderních olejů. Podíly paliva odpařující se nad teplotou pětadevadesátiprocentního bodu mají zpravidla také menší oktanové číslo. Zároveň se tyto těžké koncové frakce podílejí na tvorbě úsad ve spalovacím prostoru, snižování průchodnosti svíček a vzniku pryskyřic. [1][28]

4.4.3 Další vlastnosti automobilových benzínů

U automobilových benzínů existuje celá řada dalších parametrů, které by mohly mít vliv na vlastnosti daného benzínu při provozu. Patří sem [28]:

1. tlak par,
2. výparné teplo paliva,
3. spalné teplo a výhřevnost,
4. bod krystalizace,
5. skladovací stabilita a obsah pryskyřičnatých látek,
6. korozivnost benzínu,
7. agresivita vůči pryži,
8. hustota,
9. viskozita a povrchové napětí,
10. mísitelnost složek.

Bližší popis dalších vlastností automobilových benzínů je obsažen v Příloze 5.

4.4.4 Přísady přidávané do automobilových benzínů

Jedná se o příměsi látek přidávané za účelem zlepšit provozní nebo ekologické vlastnosti automobilových benzínů.

Mezi přísady automobilových benzínů patří:

1. biosložky,
2. přísady zvyšující oktanové číslo,
3. antioxidanty,
4. deaktivátory kovů,
5. inhibitory koroze,
6. deemulgátory a odvodňovače,
7. přísady proti zamrznání vody,
8. detergentní přísady,
9. mazivostní přísady.

Bližší popis jednotlivých přísad automobilových benzínů je obsažen v Příloze 6.

4.5 Měření produkce emisí, výkonových parametrů a spotřeby paliva

V této kapitole jsou popsány metody a zařízení používané pro měření produkce emisí výfukových plynů, výkonových parametrů a spotřeby paliva spalovacích motorů.

4.5.1 Měření emisí

Emise výfukových plynů, vznikajících během spalovacího procesu, významně ovlivňují výzkum a vývoj v oblasti spalovacích motorů. S neustále se zvyšujícími nároky ze strany legislativy na výrobce pohonných spalovacích jednotek je analýza obsahu spalin a splnění emisních limitů, čím dál diskutovanějším tématem v oblasti schvalování nových emisních typů a udělování homologace. Zároveň je složení výfukových plynů ukazatelem kvality spalovacího procesu dané pohonné spalovací jednotky.

4.5.1.1 Metody měření koncentrace plynných emisních složek

Mezi plynné emisní složky se řadí emise CO, CO₂, HC a NO_x. Pro jejich měření je možné využít analyzátory na principu:

- absorpce infračerveného záření,
- absorpce ultrafialového záření,
- chemické luminiscence,
- změny elektrické vodivosti vodíkového plamene,
- magnetických vlastností látek.

4.5.1.1.1 Bezdisperzní infračervené analyzátory (NDIRA)

Tento druh analyzátorů pracuje bez rozkladu světla s využitím absorpce ve velmi široké oblasti spektra. Při průchodu infračerveného záření vrstvou plynu dochází k absorpci části záření příslušných vlnových délek a na detektor dopadá záření zeslabené úměrně ke koncentraci vzorku. Obsah plynů, obsahujících v molekule alespoň dva rozdílné atomy, je následně stanoven na základě individuální závislosti absorpčního koeficientu na vlnové délce. [30][31]

Bezdisperzní infračervené analyzátory obvykle obsahují čtyři základní komponenty: dva zářiče infračerveného záření, měřicí a srovnávací kyvetu, detektor, zesilovač a odečítací zařízení. [31]

Zdrojem obvykle bývají dvě malé cívky z nichromového drátu, zahříváné na teplotu okolo 900 °C. Záření zdrojů je obvykle usměrňováno dvěma parabolickými zrcadly, vyrobených z různých materiálů, v závislosti na konkrétní aplikaci. Použité materiály mohou být např.: kamenná sůl, safír, vápník, fluorid, chlorid stříbrný, fluorid barnatý, křemen atd. Měřicí a srovnávací kyveta jsou umístěny před zdrojem infračerveného záření. Samotné kyvety jsou provedeny jako trubice s leštěnými vnitřními stěnami a okénky, umožňujícími průchod

infračerveného záření od zdroje do detektoru. Měřicí kyveta je ještě vybavena vstupním a výstupním portem, mezi kterými protéká analyzovaný plyn. Srovnávací kyveta je pak naplněna plynem, který neabsorbuje infračervené záření. [31]

Tento druh analyzátorů je vhodný ke kontrolování produkce HC a měření koncentrace CO₂ a CO. Zároveň jsou současné verze těchto analyzátorů schopné měřit simultánně koncentrace emisí různých složek. [30]

4.5.1.1.2 UV analyzátořy

Tento druh analyzátorů je vhodný pro stanovení koncentrace plynů ozonu, NO_x, oxidu siřičitého a amoniaku. Obvykle se UV analyzátor sestává ze zdroje UV záření, filtrů, kyvet a detektorů. Pro zdroj UV záření se nejčastěji využívají výbojky (nejčastěji rtuťové). Avšak výbojky používané jako zdroje UV záření, jsou i nevýhodou těchto analyzátorů, protože při provozu dochází ke spotřebovávání jejich náplně. [30][32]

4.5.1.1.3 Chemiluminiscenční analyzátořy (CLA)

Tento druh analyzátorů je vhodný především pro stanovování nízkých koncentrací emisí NO_x. Stanovování probíhá za pomoci reakce NO s ozonem, která je doprovázena světelným zábleskem, který je možné zaznamenávat. Přičemž energie vyzářeného fotonu se pohybuje okolo infračervené oblasti světelného spektra. [30][32]

Základními součástmi analyzátořy je měřicí komora se dvěma přívody a detektorem záření. Prvním přívodem je do měřicí komory přiváděn stabilizovaný průtok testovaného plynu s obsahem NO a druhým přívodem přitéká do komory ozon. Při smíchání obou plynů v měřicí komoře dochází, dle Vzorce 1, k přeměně NO a ozonu na NO₂^{*} a O₂ s tím, že vzniklý NO₂^{*} se nachází v excitovaném stavu, díky čemuž dojde k vyzáření energie ve formě fotonu. [32]



Koncentrace NO₂ je pak možné měřit v těchto analyzátořech za pomoci konvertoru zařazeného před vstupem do analyzátořy, kde je NO₂ převeden na NO. Samotný konvertor je malý reaktor s redukcující náplní. Při použití konfigurace analyzátořy s předřazeným konvertorem je analyzátoř schopen měřit celkový obsah NO_x. Celkový obsah NO₂ je pak zjištěn porovnáním signálu, získaného při měření směsi, procházející mimo konvertor se signálem po průchodu směsi konvertorem. V případě použití vhodného přepínacího systému může analyzátoř poskytovat informace o obsahu NO, NO₂ a zbylých NO_x. [32]

4.5.1.1.4 Plamenoionizační detektory (FID)

Tyto detektory využívají vzniku kladných iontů a elektronů, vznikajících při spalování organických látek ve vodíkovém plamenu. Do elektrod umístěných v plamenu je přiváděno jednosměrné napětí, na kterých je pak možné měřit velikost procházejícího iontového proudu, jehož velikost je úměrná množství spalované organické látky. Iontový proud je měřen pomocí stejnosměrného zesilovače s vysokým vstupním odporem. [30][32]

Samotné elektrody mohou mít v detektoru nejrůznější uspořádání. Velmi často jednu elektrodu tvoří samotná trubice hořáku, druhá elektroda má pak obvykle tvar prstence nebo válce a je umístěna tak, aby nesnižovala teplotu plamene a aby byla v dosahu iontů jdoucích od plamene. [32]

Plamenoionizační detektory jsou využívány ke stanovování koncentrace emisí HC. [30]

4.5.1.1.5 Magnetické analyzátory

Tyto analyzátory mohou pracovat na dvou základních principech. Prvním z nich je statická metoda, při které se měří síla nehomogenního magnetického pole, působící na určitý objem plynu. Při druhé dynamické metodě je pak měřeno proudění, vznikající tzv. termomagnetickou konvencí. Oba systémy jsou vhodné pro měření koncentrací O₂ v analyzovaném plynu. [32]

Systém založený na statické metodě vychází ze skutečnosti, že paramagnetické těleso z látky je přitahováno do míst, kde má magnetické pole větší intenzitu, zatímco diamagnetická látka je vypuzována. Tedy systém se sestává z dvou kulových nebo válcových skleněných tělísek, naplněných dusíkem, zavěšených na torzním vlákne a vhodně orientovaných v nehomogenním magnetickém poli. Pokud se v blízkosti tělísek nachází paramagnetický kyslík, dojde k vytlačování tělísek z magnetického pole. [32]

Druhá skupina analyzátorů, založených na dynamické metodě, využívá zahřívání měřeného plynu v magnetickém poli, přičemž u paramagnetického plynu nastane pokles magnetické susceptibility, kdy velikost vzniklého proudění plynů závisí na koncentraci paramagnetického plynu. Analyzovaný plyn prochází do prstencové komory, v níž je napříč umístěná tenkostěnná skleněná trubice vinuta platinovým vinutím, vyhříváným elektrickým proudem. Nachází-li se v analyzovaném plynu kyslík, dochází k jeho vtahování do magnetického pole, kde je zahříván a díky čemuž dochází k vytlačování teplejšího plynu chladnějším. Toto proudění způsobuje rozdílné ochlazování obou částí platinového vynutí, čímž dochází ke změně odporu vinutí, která je úměrná množství kyslíku v analyzovaném vzorku. [32]

4.5.1.2 Metody měření emisí pevných částic

V této kapitole jsou popsány metody stanovení koncentrace PM. Mezi tyto metody patří:

- filtrační metoda,
- hmotnostní měření koncentrace částic,
- opacimetrie.

4.5.1.2.1 Filtrační metoda

Princip této metody spočívá v prosátí definovaného množství výfukových plynů definovanou rychlostí skrz filtrační papírek, na který jsou zachycovány částice kouře. Zachycené množství částic je opticky porovnáváno v závislosti na zčernání použitého filtračního papírku, oproti novému. Výsledek zčernání je uváděn v jednotkách °BOSCH. Tato metoda není vhodná pro dynamická měření. [30]

S praktickým použitím této metody se již v dnešní době takřka neseťkáme, protože metoda je již nahrazena metodami s přesnějším výsledkem měření o lepších vypovídajících hodnotách.

4.5.1.2.2 Hmotnostní měření koncentrace částic

Během této metody dochází k zachytávání procházejících pevných částic na filtrační element ze skelných vláken. Před samotným měřením je filtrační element nejprve zvážen za účelem stanovení jeho původní hmotnosti. Po dokončení měření je filtrační element opět zvážen. Výsledná hmotnostní koncentrace částic analyzovaného vzorku c je následně vypočtena ze Vzorce 2. [30]

$$c = \frac{M_1 - M_2}{V} \quad (2)$$

c – hmotnostní koncentrace částic v analyzovaném vzorku [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

M_1 – hmotnost nového filtračního elementu [kg]

M_2 – hmotnost použitého filtračního elementu [kg]

V – objem prosátého množství spalin [m^3]

4.5.1.2.3 Opacimetrie

Pro účely provádění této metody slouží opacimetr. Jedná se o zařízení sestávající se z měřicí trubice opatřené na jednom konci monochromatickým zdrojem světla a na druhém konci fotočlánkem. Při průchodu výfukového plynu trubicí dochází k měření pohltivosti světla plynem na základě Behr-Lambertova zákona. Samotné měření opacity vyžaduje plnou dávku

paliva, nicméně motor není možné z pravidla trvale zatěžovat, proto je měření prováděno při rozběhu na plnou dávku paliva. Výstupní hodnotou měření je lineární stupeň absorpce světla N , pomocí kterého je na základě Vzorce 3 vypočten absorpční koeficient k . [30]

$$k = -\frac{1}{L} \ln \left(1 - \frac{N}{100} \right) \quad (3)$$

k – absorpční koeficient [m^{-1}]

L – délka optické dráhy [m]

N – lineární stupeň absorpce [-]

4.5.2 Měření výkonových parametrů vozidla

Při měření výkonových parametrů dochází k zjišťování hodnot točivého momentu a výkonu, v závislosti na frekvenci otáček motoru. Pro měření těchto parametrů se v praxi používá několik metod s rozdílnou mírou náročnosti a přesnosti. Rozdělení nejvýznamnějších metod pro měření výkonových parametrů je patrné z tabulky v Příloze 7. [1] Jednotlivé metody jsou blíže popsány v následujících kapitolách.

4.5.2.1 Měření výkonových parametrů při stacionárním měření

Během těchto měření dochází k měření výkonových parametrů při ustálených otáčkách a konstantním zatížení motoru zatěžovacím momentem brzdy. [1]

4.5.2.1.1 Měření na zkušebním stanovišti

Jedná se o jeden ze základních způsobů zjišťování výkonových parametrů na výstupu klikové hřídele. Je považován za plně průkazný, neboť je limitována přesnost měření jednotlivých signálů příslušnou normou, a to včetně korekcí na standardní podmínky měření. Pro zkušebnictví spalovacích motorů se nejčastěji pro měření mechanického výkonu využívají výkonové brzdy, které působí známým brzdícím momentem proti měřenému točivému momentu motoru. V praxi je možné se nejčastěji setkat s elektromagnetickými vířivými brzdami nebo univerzálními brzdami. Univerzální brzdy jsou obvykle elektrodynamické motor – generátory nebo asynchronní motor – generátory. [1] Výkon motoru můžeme při měření vypočítat pomocí Vzorce 4 [1]:

$$P = M \cdot \omega \quad (4)$$

P – výkon motoru [W]

M – točivý moment motoru [Nm]

ω – úhlová rychlost motoru [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$]

Točivý moment je získáván pomocí deformačních členů, kdy moment síly od motoru namáhá deformační člen (hřídel kruhového průřezu) krutem, který je převáděn na deformaci měřenou tenzometry či snímači výchylky.

Pro výpočet točivého momentu lze využít Vzorec 5 [1]:

$$M = F \cdot r \quad (5)$$

M – točivý moment motoru [Nm]

F – síla namáhající tenzometrický snímač [N]

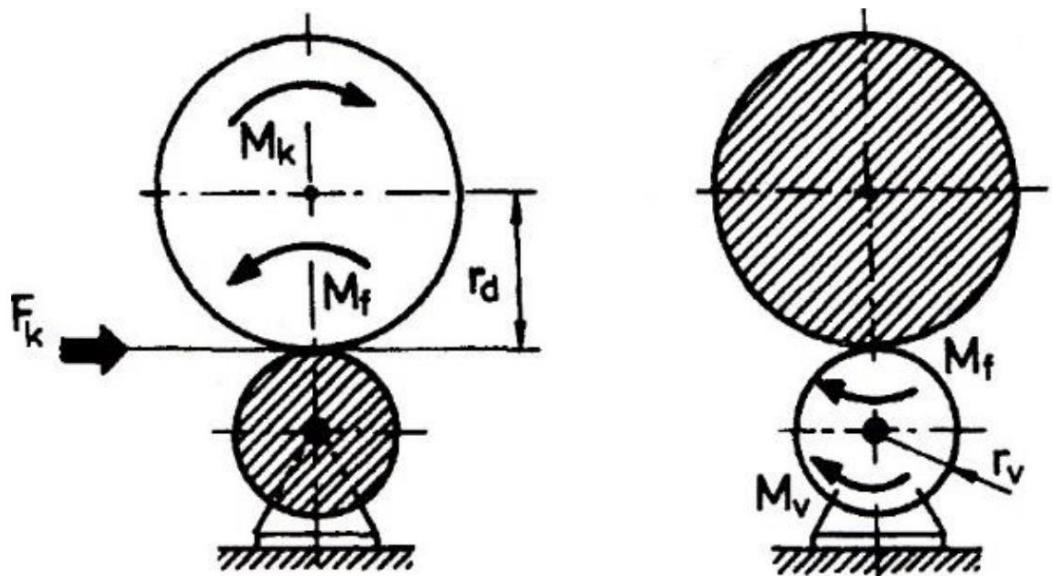
r – délka ramene, přes které síla působí [m]

4.5.2.1.2 Měření na válcové zkušebně

Tento druh měření je obvykle realizován ve válcových výkonových zkušebnách, vybavených řízeným dynamometrem. Hlavní rozdíl tohoto způsobu měření, oproti měření na zkušebním stanovišti, spočívá v měření výkonu na obvodu hnacích kol, se zachováním téměř srovnatelné přesnosti. Dalším rozdílem měření na válcové zkušebně, oproti měření na zkušebním stanovišti, je měřený výkon, který bývá výrazně nižší, než užitečný výkon měřený na klikové hřídeli. Tento jev je výsledkem přenosu energie převodovým a jízdním ústrojí, při kterém dochází k transformaci rychlosti a hnacího momentu, resp. síly, k akumulaci a disipaci kinetické a potenciální energie. [1]

Během měření na válcové zkušebně se hnací kola vozidla otáčejí na dvou válcích, kdy k jednomu válci je připojena brzda (vířivá, hydraulická, elektrická) s regulovatelným brzdícím účinkem (viz. Obrázek 1 v Příloze 8). Rotor brzdy je spojen s válcem pevně a stator je uložen výkyvně. Během přenosu výkonu od motoru na hnací kola vzniká na jejich obvodě síla F_k , která je pomocí tření přenášena na válce. Při uvedení brzdy do činnosti vzniká brzdící moment M_v , který vyvolá stejně velký reakční moment s opačným smyslem (viz. Obrázek 15). Reakční moment je stejně velký, jako brzdící moment, takže za pomoci měření reakčního momentu jsme schopni určit i hnací sílu na obvodě hnacích kol vozidla. [1]

Obrázek 15 Momenty působící vzhledem k hnacímu kolu a zkušebnímu válci [1]



Z Obrázku 15 je patrné umístění síly F_k . Vzorec 6 popisuje rovnováhu momentů platící k ose otáčení kola [1]:

$$M_k - F_k \cdot r_d - M_f = 0 \quad (6)$$

Vzorec 7 popisuje rovnováhu momentů vzhledem k ose válců [1]:

$$M_v - F_k \cdot r_d - M_f = 0 \quad (7)$$

Velikost hnací síly vyplývá z momentové rovnice ve Vzorci 8 [1]:

$$F_k = \frac{M_k - M_f}{r_d} \quad (8)$$

Moment na měřícím válci je možné vypočítat kombinací Vzorce 7 a 8 dle Vzorce 9 [1]:

$$M_v = M_k \cdot \frac{r_v}{r_d} - \left(1 + \frac{r_v}{r_d}\right) \cdot M_f \quad (9)$$

Výpočet výkonu hnací síly a obvodové rychlosti je vyjádřen ve Vzorci 10 [1]:

$$P_k = F_k \cdot v \quad (10)$$

F_k – hnací síla na obvodu kola [N]

M_f – moment valivého odporu [Nm]

M_k – hnací moment na kolech vozidla [Nm]

M_v – moment na válci [Nm]

P_k – hnací výkon [W]

r_d – poloměr kola [m]

r_v – poloměr válce [m]

v – obvodová rychlost kola [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Pomocí stacionárního zkoušení vozidel na válcových zkušebnách je možné docílit reprodukovatelných zkušebních podmínek a reprodukovatelné měřené hodnoty. Zároveň je možné na těchto typech zkušeben simulovat různé jízdní stavy, podle skutečných jízdních zkoušek. Zároveň je možné během těchto měření dodržet konstantní klimatické podmínky (zadaná teplota okolí, tlak, vlhkost atd) a provozní podmínky (vyloučení vlivu dopravy, stoupání, subjektivních pocitů zkušebního řidiče). [1]

4.5.2.2 Měření výkonových parametrů při dynamickém zatížení

Dynamické měření výkonových parametrů spočívají v měřeních při dynamických režimech motoru, tedy akceleraci nebo deceleraci. Motor není zatěžován konstantním zatížením, jak je tomu u statických měření, ale setrvačností všech příslušných pohyblivých hmot. Míra zatížení je při tomto druhu měření ovlivněna polohou pedálu akcelerace. [1]

Výkon motoru je možné spočítat pomocí Vzorce 4, přičemž točivý moment je definován Vzorcem 11[1]:

$$M = I \cdot \varepsilon \quad (11)$$

M – točivý moment motoru [Nm]

I – moment setrvačnosti motoru redukovaný na klikový hřídel [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

ε – úhlové zrychlení setrvačných hmot [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$]

Dynamickou charakteristiku je možné sestavit z průběhu výkonových parametrů v závislosti na jeho otáčkách. Jedná se o obdobu vnější otáčkové charakteristiky, která je měřena staticky na zkušebním stanovišti. Avšak obě zmiňované charakteristiky nejsou

vzájemně zaměnitelné, i když mezi oběma druhy nejsou u převážné většiny motorů zásadní rozdíly. [1]

4.5.2.2.1 Měření na válcové zkušebně

Tento druh měření probíhá na speciálně konstruovaném setrvačnickovém válcovém stavu. Přičemž se jedná o nejjednodušší zařízení sestávající se ze dvou válců poháněných koly zkušebního vozidla. Pro účely měření výkonových parametrů na obvodu kol testovaného vozu v režimech akcelerace, je hmotnost otočných válců zvyšována přídatnými setrvačníky (viz. Obrázky 1 a 2 v Příloze 8). Setrvačná hmota válcové zkušebny by ve výsledku měla odpovídat setrvačným hmotám vozu. Měření je u takto vybavených zkušeben obvykle realizováno tzv. momentovým převodem, zařazeným mezi jedním z válců a poháněným setrvačníkem, či stejně umístěným torzním dynamometrem. [1]

4.5.2.2.2 Měření při volné akceleraci motoru

Taktéž měření volné akcelerace vně zatíženého motoru je v současné době jednou z nejpřesnějších metod s nejlepší opakovatelností. To vše je způsobeno tím, že tato metoda neovlivňuje výsledky měření vlastními ztrátami a hysterezí. Zároveň je přesnost měření úhlového zrychlení, které je u této metody principiální, závislé výlučně na přesnosti měření času, čehož lze v dnešní době bezproblémově docílit. [1]

4.5.3 Měření spotřeby paliva

Spotřeba paliva je nejen velice dobrým diagnostickým signálem, ale také důležitým ukazatelem hospodárnosti provozu každého vozu. V souvislosti se spotřebou paliva je zmiňována i měrná spotřeba paliva [g.kWh^{-1}], která vyjadřuje množství paliva potřebného na vykonanou práci motoru. Jedná se o komplexní diagnostický signál, který nejpřesněji charakterizuje účinnost motoru. Samotné měření spotřeby pak může probíhat jak během provozu vozidla, tak během měření na zkušebním stanovišti. V závislosti na způsobu měření můžeme rozdělit metody měření spotřeby paliva následovně [1]:

- **Volumetrické** – jsou metody přímého měření založeny na principu měření objemu, tedy objemu spotřebovaného paliva. Tato metoda je vhodná jak pro měření za provozu, tak pro měření na zkušebním stanovišti.
- **Gravimetrické** – jsou metody přímého měření založeny na principu měření hmotnosti, tedy hmotnosti spotřebovaného paliva. Tato metoda je vhodná jen pro měření na zkušebním stanovišti.
- **Emisní** – jsou metody nepřímého měření založeny na výpočtu spotřeby paliva za pomoci známého průtoku spalin. Používá se při homologační zkoušce vozidel.

4.6 Jízdní odpory

Jízdní odpory můžeme specifikovat jako síly působící proti pohybu vozidla. Tyto odpory, rep. síly, musí překonávat všechna vozidla při svém provozu. V případě, kdy vozidlo není schopno překonat součet těchto odporů, není schopno ani pohybu. Samotná hodnota jednotlivých odporů je závislá hlavně na konstrukci automobilu. Ta může být do jisté míry upravena tak, aby byly některé odporové síly minimalizovány a bylo tak docíleno nižší energetické náročnosti pohybu. [33]

Jízdní odpory můžeme rozdělit do následujících pěti skupin [33]:

- **Odpor valivý** – vzniká elastickou deformací pneumatiky a vozovky (v případě nezpevněného povrchu). Síla vždy působí proti směru pohybu vozidla.
- **Odpor vzdušný** – je síla vyvolaná prostředím, kterým je vozidlo obklopeno a které brání jeho pohybu. Síla směřuje proti relativnímu pohybu vozidla.
- **Odpor stoupání** – je určen složkou tíhy vozu rovnoběžné s vozovkou. Z toho vyplývá, že hodnota odporové síly závisí pouze na tíze vozu a sklonu vozovky. Odporová síla může nabývat kladné i záporné hodnoty v závislosti na tom, zda vozidlo jede do kopce (proti směru pohybu – zpomaluje), či z kopce (ve směru pohybu – zrychluje).
- **Odpor zrychlení** – je setrvačná síla působící proti směru jízdy vozidla při jeho zrychlení.
- **Odpor přívěsu** – je odporová síla, kterou musí překonat tažné vozidlo pro překonání jízdních odporů přívěsu. Na přívěs působí stejné dílčí odpory, jako na vozidlo.

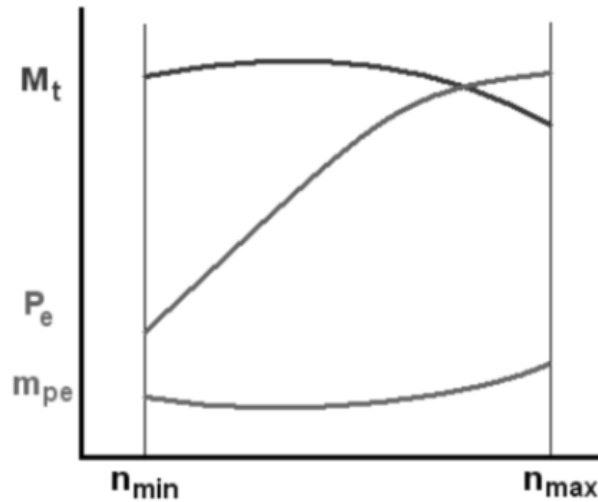
4.7 Vnější otáčková charakteristika

Vnější otáčková charakteristika graficky znázorňuje závislost točivého momentu (M_t), užitečného výkonu (P_e) a měrné efektivní spotřeby paliva (m_{pe}) na otáčkách klikové hřídele (viz. Obrázek 16). U zážehových motorů je vnější otáčková charakteristika měřena při plném otevření škrtníci klapky karburátoru nebo vzduchové přívěry u motorů se vstřikováním paliva. [1]

Minimální otáčky (n_{min}) jsou otáčky umožňující dlouhodobý provoz motoru při plném zatížení. Maximální otáčky (n_{max}) nesmějí být při provozu překračovány, a proto jsou u moderních motorů omezovány elektronikou motoru, přičemž regulační pásmo je velice úzké, pohybuje se kolem 150 min^{-1} . To je také důvodem, proč charakteristika končí maximálními otáčkami. U starších motorů, které nejsou vybaveny elektronickou regulací, charakteristika pokračuje volným poklesem k nulovým hodnotám. [1]

Soustavu otáčkových charakteristik u starších motorů obvykle měříme při různě nastavených polohách škrtkové klapky, např. 100 %, 75 %, 50 %. Při měření soustavy charakteristik u moderních motorů měříme při různě nastavených polohách pedálu akcelerace. [1]

Obrázek 16 Vnější otáčková charakteristika zážehového motoru [1]



5 Vlastní zpracování

Praktická část se zabývá vlivem prémiově aditivovaných paliv na provozní parametry zážehového motoru. Vzhledem k časové náročnosti zkoumání vlivů prémiových paliv při jejich dlouhodobém používání, jsou paliva porovnávána pouze z hlediska krátkodobého vlivu. Pro porovnání vlivů bylo vybráno pět zástupců prémiově aditivovaných benzinů a tři zástupci základních benzinů. Paliva byla porovnávána z hlediska vlivu na spotřebu paliva, hodnoty a koncentrace produkovaných emisních složek, průběh a hodnoty výkonových parametrů.

Všechna měření probíhala v prostorách Katedry vozidel a pozemní dopravy TF ČZU s podporou přístrojového a softwarového vybavení katedry.

5.1 Popis testovacího vozidla

Pro testování bylo využito zkušební vozidlo KVPD Škoda Karoq 1,5 TSI 110 kW (viz Obrázek 17). Technické údaje o motoru a vozidle jsou uvedeny v Příloze 9.

Obrázek 17 Testovací vozidlo [autor]



5.2 Přístrojové vybavení

V této kapitole je blíže popsáno veškeré použité přístrojové vybavení.

5.2.1 Válcová zkušebna

Všechna měření proběhla na válcové zkušebně Katedry vozidel a pozemní dopravy, která je vybavena vlastní homologační válcovou zkušebnou Schenck 3604/GS56, která je k vidění na Obrázku 17 výše. Na této válcové zkušebně je možné testovat jízdní cykly a měřit výkonové parametry u vozidel do 3,5 t s jednou hnanou nápravou.

Zkušebna se sestává ze dvou válců propojených řetězem. Válce jsou z jedné strany připojeny k sadě setrvačníků, jež mají za úkol simulovat setrvačnou hmotnost vozidla (viz. Obrázek 1 a 2 v Příloze 8). Z druhé strany jsou válce připojeny k brzdovým systémům, přičemž na jeden válec je připojen stejnosměrný elektrický motor o výkonu 56 kW, který slouží k simulaci odporu vzduchu, který na vozidlo při reálném provozu působí. Druhý válec je připojen k vířivé brzdě o výkonu 125 kW, která slouží pro účely statického měření výkonu. Technické parametry jsou zobrazeny v Tabulce 1 v Příloze 8.

Válcovou zkušebnu je možné ovládat pomocí aplikace v prostřední ControlWeb, jež umožňuje ovládat brzdový moment dynamometru, nastavovat otáčky ofukovacího ventilátoru, či ovládat elektromotor.

5.2.2 Laboratorní váha VIBRA AJ-6200CE

Váha pracuje s technologií frekvenčního snímače MMTS (monometalický frekvenční snímač), který poskytuje vysoký výkon, odolnost proti elektromagnetickému a elektrostatickému rušení a rychlou odezvu. Na této váze byl měřen úbytek paliva na ujetou vzdálenost, kdy váha byla propojena s řídicím počítačem válcové zkušebny, prostřednictvím datového kabelu. Bližší specifikace je obsažena v Příloze 10.

5.2.3 Emisní analyzátor VMK

Analyzátor VMK je speciální pěti složkový emisní analyzátor, určený pro mobilní měření. Analyzátor je určen pro měření emisí CO, CO₂, HC, NO_x a O₂. Pro vyhodnocování emisí uhlíkatých složek je využita metoda NDIR. Pro vyhodnocování emisí NO_x a O₂ pak přístroj využívá elektrochemický článek. Přístroj je schopen ukládat okamžité hodnoty s frekvencí 1 Hz. Technické parametry jsou obsaženy v Příloze 11.

Pro účely mobilních měření je přístroj vybaven integrovaným GPS systémem Garmin, schopný s frekvencí až 5 Hz ukládat údaje o okamžité poloze sledovaného vozu.

5.2.4 Částicový analyzátor TSI EEPS 3090

Částicový analyzátor EEPS 3090 slouží pro měření pevných složek výfukových plynů. Odebíraný surový vzorek výfukových plynů je ředěn stavitelným ředícím poměrem v ředičce. Analyzátor pak funguje na principu detekce magnetických vlastností detekovaných částic. Detekované částice jsou nejdříve při vstupu do přístroje nabity v nabíjecí komoře, kde získají svůj vlastní elektrostatický náboj. Pomocí elektrostatického náboje pak částice reagují s elektrostatickým polem detekční komory. Zde jsou pomocí elektrod se shodným nábojem odpuzovány k obvodu komory k elektrometrům, které dané částice detekují. Velikost a počet emitovaných částic je zjištěna díky závislosti velikosti interakce na velikosti nabitých částic. Základní technické údaje analyzátoru jsou obsaženy v Příloze 12.

5.2.5 Ředička vzduchu

Ředička vzduchu je do sestavy analyzátoru částic přidávána za účelem odstranění šumů vzniklých vlivem nedostatku nasávaného plynu do analyzátoru částic. Pro odstranění těchto šumů je nutné testovaný vzorek zředit a doplnit jej o chybějící množství vzduchu. V ředičce je vzorek výfukových plynů ředěn v předem nastaveném objemovém poměru. Ředící vzduch je do ředičky přiváděn přes HEPA filtr, kde je přečištěn, aby nedošlo ke kontaminaci vzorku částicemi z jiných okolních zdrojů.

Pro měření byla použita sestava obsahující řídicí modul Testo MD19-3E, vyhřívací člen TSI Rotating Disk Termodiluter 379020A a filtr TSI HEPA Capsule Filter #160251 s průtokoměrem TSI 4100 Series.

5.2.6 Ventilátor FILVAR AL-1500/C

Ventilátor slouží při měření k zajištění funkčnosti náporového chlazení vozidla, jelikož se vozidlo při měření na válcové zkušebně nepohybuje vůči okolnímu vzduchu. Pro měření byl využit ventilátor FILVAR AL – 1500/C, s maximálním výkonem sání $12\ 000\ \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, při maximálních otáčkách $2\ 800\ \text{min}^{-1}$.

5.3 Softwarové vybavení

V této kapitole je blíže popsáno použité softwarové vybavení.

5.3.1 Diagnostický software VAG-COM VDSC Standard

Program VCDS disponuje všemi funkcemi u řídicích jednotek koncernu VW prostřednictvím standardu EOBD/ OBDII. Běžně je tento program v praxi využíván pro diagnostikování závad vozů, čtení a mazání paměti závad z paměti palubní jednotky, čtení měřitelných hodnot apod.

5.3.2 ControlWEB

ControlWEB je grafické prostředí, ve kterém byl vytvořen ovládací program pro válcovou zkušebnu. Tímto softwarem je možné ovládat elektromotor, brzdný moment a nastavovat otáčky ofukovacího ventilátoru. Zároveň byli v tomto programovacím prostředí zaměstnanci KVPD vytvořeny rychlostní profily jízdních cyklů.

5.4 Použitá paliva

Jako palivo pro měření a porovnání bylo využito pět prémiově aditivovaných automobilových benzínů a tři základní automobilové benzíny. Všechny automobilové benzíny byly voleny v kategorii 95 oktanových benzínů, přičemž všechny odpovídají normě ČSN EN 228 + A1. Pro měření byly autorem práce vybrány automobilové benzíny z čerpacích stanic BENZINA, OMV, MOL, Shell a KOLOC oil. Konkrétně byly použity následující automobilové benzíny:

1. EFECTA 95 – čerpací stanice BENZINA
2. OMV MaxxMotion 95 – čerpací stanice OMV
3. OMV Natural 95 – čerpací stanice OMV
4. MOL EVO Natural 95 – čerpací stanice MOL
5. Shell V-POWER 95 – čerpací stanice Shell
6. Shell FuelSave 95 – čerpací stanice Shell
7. Natural 95 – čerpací stanice KOLOC oil
8. Natural 95 Premium – čerpací stanice KOLOC oil

Bližší specifikace jednotlivých použitých paliv je obsažena v Příloze 13.

5.5 Metodika měření

Pokusná měření produkce emisí, spotřeby paliva a výkonových parametrů na válcové zkušebně byla realizována za pomoci vybavení a testovacího vozidla popsanych v předchozích kapitolách. Všechna měření probíhala v období od 7.8.2020 do 12.2.2021.

Měření produkce emisí probíhalo za následujících podmínek. Vozidlo bylo umístěno na válcovou zkušebnu, přičemž součet hmotností použitých setrvačnicků činil 1467,5 kg. Válcová zkušebna byla ovládána prostřednictvím počítače se softwarem ControlWEB. Palivový systém vozu byl připojen k venkovní nádrži, která byla umístěna na laboratorní váze. Váha byla taktéž připojena k počítači válcové zkušebny. Emise výfukových plynů byly měřeny za pomoci sond EEPS a VMK, umístěných do výfuku vozu. V případě EEPS byl sledovaný vzorek ještě před vstupem do analyzátoru upravován pomocí ředičky. Všechny odpadní výfukové plyny byly nasávány odsávacím systémem pryč z prostoru měřícího stanoviště. Okamžité údaje o otáčkách motoru, rychlosti jízdy, množství nasávaného vzduchu, plnicího tlaku turbodmychadla a spotřebě paliva, byly zjišťovány z OBD jednotky vozidla, se kterou byl propojen pomocí datového OBD kabelu notebook se softwarem VDCS.

Před samotným měřením byla vždy ještě provedena kontrola vozidla, která spočívala především v kontrole paměti závad prostřednictvím OBD, nahuštění pneumatik na hodnotu stanovenou výrobcem a zkouška funkčnosti všech měřících přístrojů. Dále byl zkontrolován

kotvící systém vozu, který zabraňuje vozu ve vyjetí z válců během měření. Kotvící systém byl realizován pomocí čtyř kurt (dvě vpředu a dvě vzadu), každé o nosnosti 1,5 t.

Z důvodu eliminace vlivu teploty na výsledky měření se vždy teplota motoru, sledována prostřednictvím teploty chladicí kapaliny, pohybovala okolo 90 °C. Zároveň byla sledována teplota vzduchu v hale, která byla vždy 22 °C.

5.5.1 Metodika měření emisí

Měření produkce emisí bylo prováděno během jízdního cyklu WLTC Class 3b. Měření byla prováděna pro všechna paliva zmíněná v předchozí kapitole, tedy EFECTA 95, MOL EVO Natural 95, Natural 95, Natural 95 Premium, OMV MaxxMotion 95, OMV Natural 95, Shell FuelSave 95 a Shell V-POWER 95. Veškerá měření emisí byla pro každé palivo ještě dvakrát opakována. Výsledné hodnoty produkce emisí jsou tedy průměrnou hodnotou ze tří odjetých cyklů. Celkem bylo tedy odjeto 24 měřících cyklů WLTC Class 3b.

Jak již bylo popsáno výše, plynné emisní složky byly zjišťovány pomocí emisního analyzátoru VMK a počet pevných částic pomocí velikostního analyzátoru EEPS 3090. Získaná data z těchto analyzátorů byla následně zpracována v softwaru MS Excel od společnosti Microsoft.

5.5.2 Metodika měření spotřeby

Data o hmotnostním úbytku byla zjišťována pomocí váhy, která byla připojena k ovládacímu počítači válcové zkušebny. Na váze byla umístěna externí nádrž s palivem, do které bylo zavěšeno palivové čerpadlo. Čerpadlo bylo zavěšeno, aby nepůsobilo svou vahou na laboratorní váhu a neovlivňovalo tak měřené hodnoty hmotnostního úbytku paliva.

Získaná data o hmotnostním úbytku byla pak zpracována v softwaru MS Excel od společnosti Microsoft a byla získána spotřeba paliva v gramech na km. Takto získaná spotřeba nebyla již dále přepočítávána na objemové množství, aby nedocházelo ke zkreslení dat.

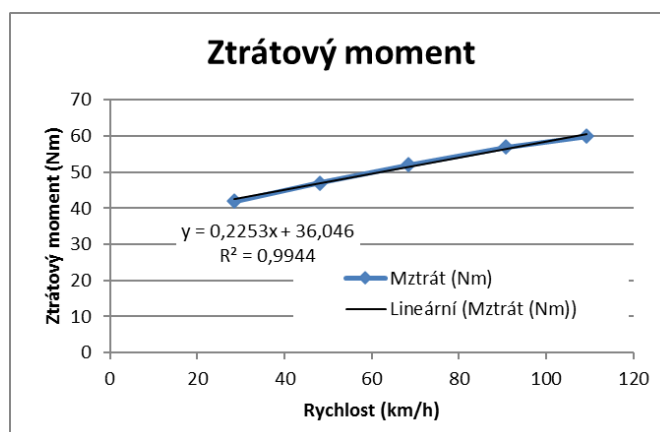
5.5.3 Metodika měření výkonových parametrů

Měření výkonových parametrů probíhalo ve válcové zkušebně KVPD. Měření spočívalo ve statickém měření výkonu motoru, při kterém je motor vozidla (při zařazeném čtvrtém rychlostním stupni a plném sešlápnutí pedálu akcelerace) roztočen do maximálních otáček. Po jejich ustálení je postupně navyšován brzdný moment vířivého dynamometru až do chvíle, kdy otáčky motoru klesnou na hodnotu volnoběhu. Veškeré hodnoty válcové zkušebny, tedy otáčky válců zkušebny a brzdný moment, byly zaznamenávány softwarem ControlWEB.

Po měření výkonu je třeba ještě zjistit hodnotu pasivních ztrát a převodový poměr mezi otáčkami válců zkušebny a otáčkami motoru. Pasivní ztráty se skládají z odporů válcové

zkušebny, valivého odporu mezi pneumatikami a válci zkušebny a z pasivního odporu hnacího ústrojí vozidla. Při tomto měření je přepnut elektromotor do funkce pohonu válců zkušebny a pomocí něj byly válce roztočeny až na rychlost 110 km.h⁻¹. Během tohoto zrychlování byly softwarem ControlWEB zaznamenávány hodnoty potřebného hnacího momentu. Z takto získaných hodnot je třeba zjistit rovnici závislosti rychlosti a pasivních ztrát. V této práci k tomu byl využit software MS Excel od společnosti Microsoft, ve kterém byla z grafu závislosti ztrátového momentu na rychlosti zjištěna rovnice spojnice trendu při co netěsnější korelaci (viz. Obrázek 18).

Obrázek 18 Závislost ztrátového momentu na rychlosti vozidla [Autor]



Skutečná hodnota převodového poměru mezi otáčkami měřeného motoru a otáčkami válců zkušebny byla měřena při zařazeném čtvrtém rychlostním stupni při rychlostech 40, 60 a 80 km.h⁻¹. Vždy při dosažení konkrétní rychlosti byly pomocí rozhraní OBD odečteny otáčky motoru a ze softwaru ControlWEB otáčky válců zkušebny. Takto získané hodnoty jsou přepočteny pomocí Vzorce 12.

$$i_c = \frac{\sum_{i=0}^m \frac{n_i \text{ válců}}{n_i \text{ motoru}}}{m} \quad (12)$$

$n_i \text{ válců}$ – otáčky válců zkušebny [min⁻¹]

$n_i \text{ motoru}$ – otáčky motoru [min⁻¹]

m – počet měření převodového poměru při různé rychlosti

V této práci byl pro zpracování použit software MS Excel od společnosti Microsoft. Ukázka řešení je zobrazena v Tabulce 5.

Tabulka 5 Výpočet převodového poměru motor / válce [Autor]

převodový poměr		
otáčky motoru	otáčky válců	převod
2400	1130	2,1239
3024	1434	2,1088
3543	1691	2,0952
průměrný převod		2,1093

5.6 Výsledky a diskuze

V této kapitole jsou popsány a diskutovány výsledky měření produkce emisí výfukových plynů, měření spotřeby a měření výkonových parametrů.

5.6.1 Výsledky emisních měření

V této kapitole jsou popsány výsledky měření emisí CO, CO₂, HC, NO a PM.

5.6.1.1 Emise CO

Výsledky měření emisí CO během jízdních cyklů jsou obsaženy v Tabulce 6. V této tabulce jsou uvedeny hodnoty celkové produkce emisí CO v gramech, přepočtené na g.km⁻¹. Hodnoty aktuální produkce emisí CO pro jednotlivá paliva jsou obsaženy v příložených grafech v Příloze 14.

Tabulka 6 Emise CO [Autor]

Palivo	1. cyklus	2. cyklus	3. cyklus	Průměr	Směrodatná odchylka
EFACTA 95	0,031 g.km ⁻¹	0,021 g.km ⁻¹	0,024 g.km ⁻¹	0,025 g.km⁻¹	0,004 g.km ⁻¹
MOL EVO Natural 95	0,021 g.km ⁻¹	0,027 g.km ⁻¹	0,031 g.km ⁻¹	0,026 g.km⁻¹	0,004 g.km ⁻¹
Natural 95	0,150 g.km ⁻¹	0,295 g.km ⁻¹	0,206 g.km ⁻¹	0,217 g.km⁻¹	0,060 g.km ⁻¹
Natural 95 Premium	0,156 g.km ⁻¹	0,206 g.km ⁻¹	0,194 g.km ⁻¹	0,185 g.km⁻¹	0,021 g.km ⁻¹
OMV MaxxMotion 95	0,132 g.km ⁻¹	0,203 g.km ⁻¹	0,039 g.km ⁻¹	0,125 g.km⁻¹	0,067 g.km ⁻¹
OMV Natural 95	0,148 g.km ⁻¹	0,043 g.km ⁻¹	0,051 g.km ⁻¹	0,081 g.km⁻¹	0,048 g.km ⁻¹
Shell FuelSave 95	0,031 g.km ⁻¹	0,021 g.km ⁻¹	0,024 g.km ⁻¹	0,025 g.km⁻¹	0,004 g.km ⁻¹
Shell V-POWER 95	0,051 g.km ⁻¹	0,022 g.km ⁻¹	0,012g.km ⁻¹	0,028 g.km⁻¹	0,017 g.km ⁻¹

Z Tabulky 6 jsou patrné značné rozdíly v naměřených hodnotách produkce emisí CO. U paliv EFACTA 95, MOL EVO Natural 95, Shell FuelSave 95 a Shell V-POWER 95, jsou výsledky produkce emisí CO v podstatě stejné, přičemž dochází k malým rozdílům hodnot v rámci směrodatné odchylky. Zároveň je z naměřených hodnot patrný minimální vliv letní a zimní směsi benzínu na produkci emisí CO. U paliv Natural 95, Natural 95 Premium, OMV MaxxMotion 95 a OMV Natural 95, jsou oproti ostatním testovaným palivům i mezi palivy samotnými značné rozdíly výsledných hodnot produkce emisí CO. Stalo se tomu tak v důsledku

chybného měření analyzátoru VMK, díky čemuž byly získány tyto značně rozdílné hodnoty. Nicméně z výsledků ostatních paliv lze předpokládat, že pokud by výsledky měření emisí CO nebyly ovlivněny chybou v měření analyzátoru, zřejmě by se hodnoty emisí CO u chybně změřených paliv také téměř nelišily od ostatních.

5.6.1.2 Emise CO₂

Výsledky měření emisí CO₂ během jízdních cyklů jsou obsaženy v Tabulce 7. V této tabulce jsou uvedeny hodnoty celkové produkce CO₂ v gramech, přepočtené na g.km⁻¹. Hodnoty aktuální produkce emisí CO₂ pro jednotlivá paliva jsou obsaženy v příložených grafech v Příloze 15.

Tabulka 7 Emise CO₂ [Autor]

Palivo	1. cyklus	2. cyklus	3. cyklus	Průměr	Směrodatná odchylka
EFACTA 95	115,50 g.km ⁻¹	109,50 g.km ⁻¹	112,95 g.km ⁻¹	112,65 g.km⁻¹	2,46 g.km ⁻¹
MOL EVO Natural 95	101,52 g.km ⁻¹	120,12 g.km ⁻¹	100,98 g.km ⁻¹	107,54 g.km⁻¹	8,90 g.km ⁻¹
Natural 95	132,68 g.km ⁻¹	118,52 g.km ⁻¹	128,78 g.km ⁻¹	126,66 g.km⁻¹	5,97 g.km ⁻¹
Natural 95 Premium	135,14 g.km ⁻¹	128,78 g.km ⁻¹	136,00 g.km ⁻¹	133,31 g.km⁻¹	3,22 g.km ⁻¹
OMV MaxxMotion 95	116,46 g.km ⁻¹	119,76 g.km ⁻¹	136,00 g.km ⁻¹	124,07 g.km⁻¹	8,54 g.km ⁻¹
OMV Natural 95	113,73 g.km ⁻¹	126,09 g.km ⁻¹	126,54 g.km ⁻¹	122,12 g.km⁻¹	5,94 g.km ⁻¹
Shell FuelSave 95	109,79 g.km ⁻¹	97,62 g.km ⁻¹	107,97 g.km ⁻¹	105,13 g.km⁻¹	5,36 g.km ⁻¹
Shell V-POWER 95	126,54 g.km ⁻¹	128,20 g.km ⁻¹	128,40 g.km ⁻¹	127,72 g.km⁻¹	0,83 g.km ⁻¹

Ze získaných hodnot v Tabulce 7 je možné pozorovat vliv na emise CO₂, i vzhledem ke směrodatné odchylce. Ze všech měřených paliv vychází, z hlediska produkce emisí CO₂, nejlépe palivo Shell FuelSave 95, u kterého byla naměřena průměrná produkce emisí CO₂ během měřicího cyklu 105,13 g.km⁻¹ se směrodatnou odchylkou 5,36 g.km⁻¹. Oproti tomu nejvyšší produkci emisí CO₂ mělo palivo Natural Premium 95, u kterého byla naměřena průměrná produkce emisí CO₂ během měřicího cyklu 133,31 g.km⁻¹ se směrodatnou odchylkou 3,22 g.km⁻¹. Zároveň je zajímavý viditelný rozdíl produkce emisí CO₂ při porovnání paliv v rámci stejného distributora, tedy paliv značky Shell, OMV a KOLOC oil. U všech těchto distributorů vykazují prémiová paliva nárůst produkce emisí CO₂, oproti palivům základním. U paliv OMV a KOLOC oil se rozdíl pohybuje v rámci směrodatné odchylky naměřených hodnot, avšak u paliv značky Shell je rozdíl patrný. Zvýšený rozdíl produkce emisí CO₂ napovídá o zvýšené spotřebě paliva Shell V-POWER 95, oproti palivu Shell FuelSave 95, což by mohlo být způsobeno 3x větším množstvím aditiva, přidávaného distributorem do paliva Shell V-POWER 95, v porovnání s palivem Shell FuelSave 95 (jak sám distributor uvádí).

Zároveň je při porovnávání produkce emisí CO₂ nutné vzít v potaz chybu v měření analyzátoru VMK, popisovanou v předchozí kapitole Emise CO. Je tedy možné, že výsledky produkce emisí CO₂ u paliv Natural 95, Natural 95 Premium, OMV MaxxMotion 95 a OMV Natural 95, jsou taktéž zatíženy chybou, jelikož je produkce emisí CO₂ a emisí CO vyhodnocována v analyzátoru VMK stejnou metodou NDIR.

5.6.1.3 Emise HC

Výsledky měření emisí HC během jízdních cyklů jsou obsaženy v Tabulce 8. V této tabulce jsou uvedeny hodnoty celkové produkce emisí HC v gramech, přepočtené na g.km⁻¹. Hodnoty aktuální produkce emisí HC pro jednotlivá paliva jsou obsaženy v příložených grafech v Příloze 16.

Tabulka 8 Emise HC [Autor]

Palivo	1. cyklus	2. cyklus	3. cyklus	Průměr	Směrodatná odchylka
EFACTA 95	0,001 g.km ⁻¹	0,005 g.km ⁻¹	0,012 g.km ⁻¹	0,006 g.km⁻¹	0,004 g.km ⁻¹
MOL EVO Natural 95	0,009 g.km ⁻¹	0,002 g.km ⁻¹	0,001 g.km ⁻¹	0,004 g.km⁻¹	0,004 g.km ⁻¹
Natural 95	0,039 g.km ⁻¹	0,039 g.km ⁻¹	0,067 g.km ⁻¹	0,048 g.km⁻¹	0,013 g.km ⁻¹
Natural 95 Premium	0,056 g.km ⁻¹	0,067 g.km ⁻¹	0,069 g.km ⁻¹	0,064 g.km⁻¹	0,006 g.km ⁻¹
OMV MaxxMotion 95	0,067 g.km ⁻¹	0,036 g.km ⁻¹	0,032 g.km ⁻¹	0,045 g.km⁻¹	0,015 g.km ⁻¹
OMV Natural 95	0,041 g.km ⁻¹	0,005 g.km ⁻¹	0,001 g.km ⁻¹	0,016 g.km⁻¹	0,018 g.km ⁻¹
Shell FuelSave 95	0,002 g.km ⁻¹	0,001 g.km ⁻¹	0,003 g.km ⁻¹	0,002 g.km⁻¹	0,001 g.km ⁻¹
Shell V-POWER 95	0,001 g.km ⁻¹	0,014 g.km ⁻¹	0,009 g.km ⁻¹	0,008 g.km⁻¹	0,005 g.km ⁻¹

Stejně, jako u produkce emisí CO, i u produkce emisí HC je možné v Tabulce 8 pozorovat značné rozdíly v měření produkce emisí jednotlivých paliv. U paliv EFACTA 95, MOL EVO Natural 95, Shell FuelSave 95 a Shell V-POWER 95, se opět hodnoty nijak významně neliší, s přihlédnutím ke směrodatným odchylkám měřených hodnot, a to ani vlivem zimní a letní směsi benzínu. Rozdíl opět nastává u paliv Natural 95, Natural 95 Premium, OMV MaxxMotion 95 a OMV Natural 95, kde jsou opět výsledky měření zatíženy chybou měření analyzátoru VMK, jelikož jsou emise HC, stejně jako emise CO, vyhodnocovány analyzátozem stejnou metodou NDIR. Lze tedy předpokládat, že by hodnoty u chybně změřených paliv také dosahovaly podobných hodnot, jako zbylá paliva, pokud by nedošlo k chybě na měřicím přístroji.

5.6.1.4 Emise NO

Výsledky měření emisí NO během jízdního cyklu jsou obsaženy v Tabulce 9. V této tabulce jsou uvedeny hodnoty celkové produkce emisí NO v gramech, přepočítané na g.km⁻¹. Hodnoty aktuální produkce emisí NO pro jednotlivá paliva jsou obsaženy v příložených grafech v Příloze 17.

Tabulka 9 Emise NO [Autor]

Palivo	1. cyklus	2. cyklus	3. cyklus	Průměr	Směrodatná odchylka
EFACTA 95	0,017 g.km ⁻¹	0,015 g.km ⁻¹	0,013 g.km ⁻¹	0,015 g.km⁻¹	0,002 g.km ⁻¹
MOL EVO Natural 95	0,010 g.km ⁻¹	0,017 g.km ⁻¹	0,013 g.km ⁻¹	0,013 g.km⁻¹	0,003 g.km ⁻¹
Natural 95	0,014 g.km ⁻¹	0,015 g.km ⁻¹	0,023 g.km ⁻¹	0,017 g.km⁻¹	0,004 g.km ⁻¹
Natural 95 Premium	0,018 g.km ⁻¹	0,023 g.km ⁻¹	0,019 g.km ⁻¹	0,020 g.km⁻¹	0,002 g.km ⁻¹
OMV MaxxMotion 95	0,016 g.km ⁻¹	0,018 g.km ⁻¹	0,018 g.km ⁻¹	0,017 g.km⁻¹	0,001 g.km ⁻¹
OMV Natural 95	0,011 g.km ⁻¹	0,025 g.km ⁻¹	0,023 g.km ⁻¹	0,020 g.km⁻¹	0,006 g.km ⁻¹
Shell FuelSave 95	0,017 g.km ⁻¹	0,012 g.km ⁻¹	0,014 g.km ⁻¹	0,014 g.km⁻¹	0,002 g.km ⁻¹
Shell V-POWER 95	0,023 g.km ⁻¹	0,019 g.km ⁻¹	0,024 g.km ⁻¹	0,022 g.km⁻¹	0,002 g.km ⁻¹

Z Tabulky 9 jsou patrné minimální rozdíly měřených hodnot produkce emisí NO, přičemž většina rozdílů se opět pohybuje v rámci směrodatných odchylek měřených hodnot, bez výraznějšího vlivu letní či zimní směsi benzínu. Opět je možné pozorovat rozdíly v měřených hodnotách produkce emisí NO prémiových a základních paliv v rámci stejných distributorů, tedy paliv značky KOLOC oil, OMV a Shell. U paliv značky KOLOC oil a OMV opět dochází k minimálním rozdílům s přihlédnutím ke směrodatným odchylkám naměřených hodnot, nicméně u paliv značky Shell je mezi prémiovým a základním palivem již viditelný rozdíl. Rozdíl bude zřejmě způsoben vlivem rozdílných špičkových teplot během procesu spalování, nicméně je důležité brát v potaz, že se jedná o rozdíl v jednotkách tisícín g.km⁻¹, tedy rozdíl, který výrazně neovlivní výsledné emise vozu při homologačním procesu, ani při běžném provozu.

5.6.1.5 Emise pevných částic

Data získaná během měření produkce emisí PM jsou ovlivněna chybným nastavením ředícího poměru ředičky, čímž došlo k rozředění a celkové nečitelnosti získaných dat. Hodnoty aktuální produkce emisí PM pro jednotlivá paliva jsou obsaženy v příložených grafech v Příloze 18.

5.6.2 Výsledky měření spotřeby

Výsledky měření spotřeby během jízdních cyklů jsou obsaženy v Tabulce 10. V této tabulce jsou uvedeny hodnoty celkové spotřeby v gramech, přepočtené na g.km⁻¹.

Tabulka 10 Spotřeba paliva [Autor]

Palivo	1. cyklus	2. cyklus	3. cyklus	Průměr	Směrodatná odchylka
EFACTA 95	45,45 g.km ⁻¹	46,56 g.km ⁻¹	45,89 g.km ⁻¹	45,97 g.km⁻¹	0,46 g.km ⁻¹
MOL EVO Natural 95	46,89 g.km ⁻¹	46,01 g.km ⁻¹	46,15 g.km ⁻¹	46,35 g.km⁻¹	0,39 g.km ⁻¹
Natural 95	46,45 g.km ⁻¹	45,89 g.km ⁻¹	45,27 g.km ⁻¹	45,54 g.km⁻¹	0,26 g.km ⁻¹
Natural 95 Premium	48,39 g.km ⁻¹	46,06 g.km ⁻¹	47,54 g.km ⁻¹	47,33 g.km⁻¹	0,96 g.km ⁻¹
OMV MaxxMotion 95	49,78 g.km ⁻¹	46,56 g.km ⁻¹	45,27 g.km ⁻¹	47,21 g.km⁻¹	1,90 g.km ⁻¹
OMV Natural 95	49,42 g.km ⁻¹	49,78 g.km ⁻¹	48,39 g.km ⁻¹	49,20 g.km⁻¹	0,59 g.km ⁻¹
Shell FuelSave 95	47,19 g.km ⁻¹	43,68 g.km ⁻¹	45,12 g.km ⁻¹	45,33 g.km⁻¹	1,44 g.km ⁻¹
Shell V-POWER 95	46,48 g.km ⁻¹	48,99 g.km ⁻¹	48,10 g.km ⁻¹	47,86 g.km⁻¹	1,04 g.km ⁻¹

Z Tabulky 10 je patrný vliv jednotlivých paliv na spotřebu, kdy se naměřené hodnoty pohybují od 45,33 g.km⁻¹ do 49,20 g.km⁻¹. Jako palivo s nejmenší spotřebou se dle naměřených hodnot jeví Shell FuelSave 95, s naměřenou spotřebou 45,33 g.km⁻¹ a směrodatnou odchylkou 1,44 g.km⁻¹, což potvrzují i naměřené hodnoty produkce emisí CO₂, jelikož tyto hodnoty spolu vzájemně korelují. Ze stejných důvodů je tedy možné potvrdit i zvýšenou spotřebu paliva u Shell V-POWER 95, v porovnání s palivem Shell FuelSave 95, což je zřejmě způsobeno větším množstvím aditiv přidávaných do paliva Shell V-POWER 95, jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách. Na druhou stranu, tvrzení o zvýšené produkci emisí CO₂, a tedy zvýšené spotřebě paliva u prémiových paliv, v porovnání se základními palivy u značky OMV, je zde částečně vyvráceno vyšší spotřebou základního paliva OMV Natural 95. To z naměřených hodnot vychází také nejhůře, s nejvyšší spotřebou 49,20 g.km⁻¹ a směrodatnou odchylkou 0,59 g.km⁻¹. Nicméně je nutné vzít v potaz, že zvolená metoda dodávání paliva pro měření v této diplomové práci je zatížena poměrně velkou chybou měření, jelikož při takto zvoleném systému není možné plně zabránit přenosu vibrací z měřeného vozu na externí nádrž, a tedy na laboratorní váhu zaznamenávající spotřebu. Zároveň je možné, že vlivem špatného zavěšení čerpadla mohlo dojít k ovlivnění výsledků měření spotřeby paliva.

5.6.3 Výsledky měření výkonových parametrů

Výsledky měření maximální hodnoty výkonu a točivého momentu, naměřené při měření výkonových parametrů, jsou zobrazeny v Tabulce 11. Vnější otáčkové charakteristiky pro jednotlivá paliva jsou obsaženy v Příloze 19.

Tabulka 11 Výkonové parametry [Autor]

Palivo	Maximální výkon	Maximální točivý moment
EFACTA 95	124 kW při 5800 ot.min ⁻¹	260 Nm při 3268 ot.min ⁻¹
MOL EVO Natural 95	128 kW při 5711 ot.min ⁻¹	234 Nm při 4313 ot.min ⁻¹
Natural 95	126 kW při 5775 ot.min ⁻¹	273 Nm při 2024 ot.min ⁻¹
Natural 95 Premium	125 kW při 5850 ot.min ⁻¹	269 Nm při 3090 ot.min ⁻¹
OMV MaxxMotion 95	130 kW při 5768 ot.min ⁻¹	270 Nm při 1892 ot.min ⁻¹
OMV Natural 95	132 kW při 5760 ot.min ⁻¹	264 Nm při 1950 ot.min ⁻¹
Shell FuelSave 95	124 kW při 5532 ot.min ⁻¹	231 Nm při 2655 ot.min ⁻¹
Shell V-POWER 95	130 kW při 5592 ot.min ⁻¹	256 Nm při 3536 ot.min ⁻¹

V Tabulce 11 je možné pozorovat značné rozdíly výkonových parametrů, a to jak v maximálním výkonu, tak v maximálním točivém momentu jednotlivých testovaných paliv. Hodnoty maximálních výkonů se u testovaných paliv pohybovaly od 124 kW do 132 kW, přičemž se všechny změřené maximální hodnoty výkonů jednotlivých paliv pohybují v intervalu otáček stanoveném výrobcem pro maximální výkon testovaného vozu. Jako palivo s nejvyšším naměřeným maximálním výkonem vyšlo palivo OMV Natural 95, s maximálním výkonem 132 kW při 5760 ot.min⁻¹, což je zajímavé, jelikož se jedná o základní palivo této značky. Podobný výsledek nastává i při porovnání prémiového a základního paliva značky KOLOC oil, kde prémiové palivo také ztrácí nad základním. Opakem je tomu pak u paliv značky Shell, kdy při srovnání maximálních hodnot výkonu prémiového a základního paliva, opravdu prémiové palivo dosahuje ztelně vyšších hodnot, jak distributor inzeruje. Nejnižších hodnot maximálního výkonu dosáhla při měření výkonových parametrů paliva EFACTA 95, se 124 kW při 5800 ot.min⁻¹ a Shell FuelSave 95, se 124 kW při 5532 ot.min⁻¹.

Maximální hodnoty naměřeného točivého momentu u testovaných paliv se pohybují v rozmezí od 231 Nm od 273 Nm, přičemž se otáčky při maximálním točivém momentu u všech paliv, s výjimkou MOL EVO Natural 95, pohybují v intervalu otáček stanoveném výrobcem pro testovaný vůz. Maximální hodnoty točivého momentu při měření výkonových parametrů dosáhlo palivo Natural 95 s 273 Nm při 2024 ot.min⁻¹, přičemž se opět jedná o zástupce základního paliva dané značky. Podobně je tomu také u paliv značky OMV, kde základní palivo dosahuje vyšších hodnot maximálního točivého momentu než prémiové. U paliv značky Shell se při jejich srovnání opět potvrzují hodnoty inzerované distributorem, kdy prémiové palivo dosahuje vyššího točivého momentu v porovnání se základním palivem. Nejnižších hodnot maximálního točivého momentu dosáhlo při měření výkonových parametrů palivo Shell FuelSave 95, s 231 Nm při 2655 ot.min⁻¹.

Při porovnání výkonových parametrů prémiových a základních paliv je patrné, že se rozdíly spíše odvíjí v závislosti na distributorovy paliva, kdy u paliv značky OMV a KOLOC oil dosahují vyšších hodnot základní paliva, naopak u paliv značky Shell je rozdíl jasně patrný ve prospěch prémiového paliva. U zbylých dvou prémiových paliv značky Benzina a MOL je taktéž těžké posoudit vliv prémiových paliv na výkonové parametry, protože palivo EFECTA 95 se pohybuje ve spodní polovině hodnot z hlediska maximálního výkonu a v horní polovině hodnot z hlediska maximálního točivého momentu. Palivo MOL EVO Natural 95 se pohybuje okolo středu hodnot z hlediska maximálního výkonu a ve spodní polovině hodnot z hlediska maximálního točivého momentu.

Zároveň je zajímavý rozdíl výsledných maximálních hodnot výkonových parametrů od těch uváděných výrobcem, a to především z hlediska maximálního výkonu. Je tomu tak zřejmě z důvodu, že se jedná o testovací vozidlo nulté produkce, na kterém buď byly testovány hodnoty při zvýšených výkonových parametrech, nebo zde ještě nejsou maximální hodnoty výkonových parametrů výrobcem softwarově omezeny.

6 Závěr

Diplomová práce se zabývala vlivem prémiových paliv na provozní parametry zážehových motorů, kdy se autor snažil zjistit, zda má užívání prémiových paliv z krátkodobého hlediska význam pro běžného uživatele či nikoliv.

Cílem rešeršní části této diplomové práce bylo uvést běžného čtenáře do problematiky emisí výfukových plynů spalovacích motorů, emisních norem Evropské unie pro vozidla do 3,5 t a metodiky měření emisí spalovacích motorů vozidel pro schvalování emisního typu u vozidel do 3,5 t. Dále je v této části čtenář seznámen s metodami snižování emisí výfukových plynů zážehových motorů, automobilovým benzínem jako palivem a měřícími metodami provozních parametrů vozidel, tedy metodami měření produkce emisí, měření výkonových parametrů a měření spotřeby paliva.

Cílem praktické části této diplomové práce bylo posouzení vlivů prémiových paliv na provozní parametry zážehového motoru testovacího vozidla. Pro posouzení vlivu prémiových paliv bylo použito testovací vozidlo KVPD TF ČZU Škoda Karoq 1,5 TSI 110 kW. Součástí praktické části je také popis použitých paliv, popis metodiky měření produkce emisí, spotřeby paliva a výkonových parametrů a jsou zde představeny měřící přístroje, které byly použity při měření. Pro měření hodnot této diplomové práce byly použity výlučně přístroje KVPD TF ČZU. Dále byly v praktické části porovnány parametry zážehového motoru při provozu na jednotlivá paliva, tedy EFECTA 95, MOL EVO Natural 95, Natural 95, Natural 95 Premium, OMV MaxxMotion 95, OMV Natural 95, Shell FuelSave 95 a Shell V-POWER 95. Měření produkce emisí výfukových plynů bylo prováděno při jízdním cyklu WLTC Class 3b. Všechna tato měření probíhala na válcové zkušebně KVPD TF ČZU. Za účelem zmenšení chyb v měření produkce emisí bylo měření pro každé testované palivo prováděno 3x za totožných podmínek. Zároveň bylo provedeno měření výkonových parametrů motoru.

Z výsledků měření lze usoudit, že ne každé prémiové palivo je schopno z krátkodobého hlediska nabídnout běžnému uživateli zlepšení provozních parametrů v porovnání se základními palivy, přičemž v některých případech se nadbytečná míra aditivace pro zajištění vyšší atraktivnosti prémiových paliv projevuje v krátkodobém horizontu spíše opačně. Při porovnání testovaných paliv z hlediska produkce emisí CO, HC a NO, pomineme-li chybu v měření přístroje, můžeme hovořit o tom, že prémiová aditivace u prémiových paliv, v porovnání se základními palivy, nehraje z krátkodobého hlediska významnou roli, přičemž k viditelnějšímu rozdílu došlo při produkci emisí NO u paliv Shell FuelSave 95 a Shell V-POWER 95, ale i zde hovoříme o rozdílu v jednotkách tisícín $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$.

Z hlediska produkce emisí CO₂ a spotřeby paliva se jeví z krátkodobého hlediska základní paliva spíše jako úspornější pro běžného uživatele v porovnání s prémiovými palivy, a to pak především při porovnání zástupců obou skupin v rámci jedné značky. Je tak možné usoudit, neboť z naměřených hodnot vychází základní paliva s lepšími či podobnými výslednými hodnotami a v porovnání s prémiovými palivy i s výrazně nižší cenou za litr. Cenový rozdíl prémiových a základních paliv, především v rámci jedné značky, se pohyboval v době měření okolo 2 Kč na litr, což činilo cenový rozdíl asi 6,5 %.

Z hlediska výkonových parametrů je těžké jednoznačně posoudit přínos prémiových či základních paliv pro běžného uživatele z krátkodobého hlediska. Z výsledných hodnot je patrné, že rozdíly výkonových parametrů prémiových a základních paliv, jsou spíše záležitostí distributora, kdy u paliv KOLOC oil a OMV dosahují vyšších výkonových parametrů základní paliva, u paliv značky Shell zase jednoznačně prémiové palivo.

Z hlediska Produkce emisí PM není možné stanovit přínos prémiových či základních paliv, protože v důsledku špatně zvoleného ředícího poměru ředičky došlo k rozředění vzorku, díky čemuž není možné posoudit vliv měřených paliv na produkci emisí pevných částic.

Ze získaných hodnot tedy vyplývá, že pro běžného uživatele má větší přínos z krátkodobého hlediska spíše volba daného distributora a typu paliva v závislosti na požadavcích na provozní parametry a cenu paliva, než samotná volba mezi prémiovým či základním palivem. Pro lepší průkaznost prezentovaných hodnot by bylo nutné zvýšit počet měřících cyklů pro jednotlivé zástupce testovaných paliv, aby bylo možné jasněji rozlišit jejich klady a zápory. Zároveň tato diplomová práce nijak nehodnotí dlouhodobý vliv prémiových paliv na provozní parametry motoru, a tedy není možné prokázat či vyvrátit benefity plynoucí z dlouhodobého užívání jednotlivých paliv inzerované daným distributorem.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] HROMÁDKO, J., J. HROMÁDKO, V. HÖNIG a M. PETR. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [2] BUCHTA, J. Otrava spaliny z plynového kondenzačního kotle. *tzbinfo* [online]. 2017. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/15434-vysledky-setreni-nekterych-udalosti-na-plynovych-zarizenich-19-cast>
- [3] Přízemní ozon O₃. *Čisté nebe* [online]. Dostupné z: <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/223-prizemni-ozon-o3>
- [4] Co to je a jak vzniká? *Moravskoslezský kraj* [online]. Dostupné z: <https://www.msk.cz/cz/ovzdusi/smogove-situace/co-to-je-a-jak-vznika---24595/>
- [5] HRUŠKA, J., P. KRÁM a F. MOLDAN. Vliv kyselého deště na povrchové vody. *Vesmír*. 1996, **75**, 373.
- [6] HAUSBERGER, S. *Fuel Consumption and Emissions of Modern Passenger Cars* [online]. 2010. Dostupné z: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/inventaria/gruppo-inventari-locali/riunione-15-02-11/emissioni-da-trasporto-su-strada.-copert-iv-versione-8.0/bmlfuw-2010-fuel-consumption-and-emissions-of-modern-passenger-cars>
- [7] Common Artemis Driving Cycles (CADC). *dieselnet.com* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/artemis.php>
- [8] KÖHLER, F. *Swedish In-Service Testing Programme on Emissions from Passenger Cars and Light-Duty Trucks* [online]. 2013. Dostupné z: <https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/vag/miljo/hallbarhet-light-2012.pdf>
- [9] GIESEKE, J. a G. J. GERBRANDY. *PRACOVNÍ DOKUMENT č. 3 o vyšetřování měření emisí v automobilovém průmyslu – kapitola 3: Laboratorní zkoušky a skutečné emise* [online]. 2016. Dostupné z: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+COMPARL+PE-594.073+02+DOC+PDF+V0//CS&language=CS>
- [10] MOCK, P., J. KÜHLWEIN, U. TIETGE, V. FRANCO, A. BANDIVADEKAR a J. GERMAN. *The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU*. ICCT. 2014. *WORKING PAPER 2014-9*.
- [11] ŽÁK, D. Opel ukazuje, jak se změní udávaná spotřeba s metodikou WLTP. *autobible.cz* [online]. 2018. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/opel-ukazuje-se-zmeni-udavana-spotreba-metodikou-wltp/>
- [12] Nové metodiky měření: WLTP a RDE Reforma s výhodou pro zákazníky. *autobible.cz* [online]. 2018. Dostupné z: https://autobible.euro.cz/nove-metodiky-mereni-wltp-rde-reforma-vyhodou-zakazniky/#_ftnref1
- [13] Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC). *dieselnet.com* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>

- [14] Real Driving Emissions Test. ACEA [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.acea.be/news/article/real-driving-emissions-test>
- [15] Real Driving Emissions: New measurement methods for better air quality. BOSCH [online]. Dostupné z: <https://www.bosch.com/stories/real-driving-emissions/>
- [16] THE EUROPEAN COMMISSION'S SCIENCE AND KNOWLEDGE SERVICE. Clean Mobility: New report on conformity factors for Real Driving Emissions. EU SCIENCE HUB [online]. 2021. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/clean-mobility-new-report-conformity-factors-real-driving-emissions>
- [17] MENG, L, X WANG, C ZENG a J LUO. Adaptive Air-Fuel ratio regulation for port-injected spark-ignited engines based on a generalized predictive control method. *Energies* [online]. 2019, **12**(1). ISSN 19961073 (ISSN). Dostupné z: doi:10.3390/en12010173
- [18] Air-fuel ratio, lambda and engine performance. *x-engineer.org* [online]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/automotive-engineering/internal-combustion-engines/performance/air-fuel-ratio-lambda-engine-performance/>
- [19] PEKÁREK, S. *Technologie oprav 1, Učebnice pro 2. a 3. ročník oboru Opravář zemědělských strojů*. B.m.: Střední škola technická a zemědělská, NOVÝ JIČÍN, 2016. ISBN 978-80-88058-23-6.
- [20] LIU, F, B SUN, H ZHU, T HU, W DU, X LI a Z ZHANG. Development of performance and combustion system of Atkinson cycle internal combustion engine. *Science China Technological Sciences* [online]. 2014, **57**(3), 471–479. ISSN 16747321. Dostupné z: doi:10.1007/s11431-014-5474-8
- [21] ZHAO, Jinxing. Research and application of over-expansion cycle (Atkinson and Miller) engines – A review. *Applied Energy* [online]. 2017, **185**, 300–319. ISSN 0306-2619. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.063>
- [22] KORTWITTENBORG, T. a F. WALTER. STRATEGY TO CONTROL THE CYLINDER DEACTIVATION. *MTZ* [online]. 2013, **74**, 18–22. Dostupné z: https://www.bosch-engineering.de/media/de/pdfs/ueber_uns/veroeffentlichungen/Zylinderabschaltung_en.pdf
- [23] VINH DAT, L., L. NAM ANH a T. ANH TUAN. A Design of Novel Valve Train System for Cylinder Deactivation in SI Engines. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications* [online]. 2015, **3**(3–1), 17–21. Dostupné z: doi:10.11648/j.ijmea.s.2015030301.13
- [24] ŠMERDA, T., J. ČUPERA a M. FAJMAN. *Vznětové motory vozidel: Biopaliva, emise, traktory*. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0160-5.
- [25] TORNATORE, Cinzia, Fabio BOZZA, Vincenzo DE BELLIS, Luigi TEODOSIO, Gerardo VALENTINO a Luca MARCHITTO. Experimental and numerical study on the influence of cooled EGR on knock tendency, performance and emissions of a downsized spark-ignition engine. *Energy* [online]. 2019, **172**, 968–976. ISSN 0360-5442. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.031>
- [26] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: F. Vlk, 2006.

ISBN 80-239-6461-5.

- [27] Bezolovnatý automobilový benzín BA 95. *ORNEL Unipetrol* [online]. Dostupné z: <https://www.unipetrolrpa.cz/CS/NabidkaProduktu/rafinerske-produkty/PohonneHmoty/Benziny/Stranky/BA-95-Natural.aspx>
- [28] HÖNIG, Vladimír. *Paliva a maziva*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013. ISBN 978-80-213-2432-9.
- [29] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. B.m.: Granada Publishing, spol. s.r.o, 2011. ISBN 978-80-247-6240-1.
- [30] TAKÁŠ, Michal. *Měření emisí spalovacích motorů*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-016302-3.
- [31] KING, W. Julian, Katherine WILSON a Dorian J. SWARTZ. Analysis of Automotive Exhaust Gas. *Journal of the Air Pollution Control Association* [online]. 1962, **12**(1), 5–47. ISSN 0002-2470. Dostupné z: doi:10.1080/00022470.1962.10468046
- [32] KADLEC, Karel. Provozní analyzátory plynů. *AUTOMA* [online]. 2001, **10**. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/provozni-analyzatory-plynu-2001_10_33683_472/
- [33] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory, hnací charakteristika, brzdění, odpružení, řiditelnost, ovladatelnost, stabilita*. 1. vyd. Brno: F. Vlk, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [34] MUŽÍKOVÁ, Zlata. Oxidační stabilita kapalných motorových paliv a biopaliv. *Chemické listy* [online]. 2013, **107**, 450–455. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2013_06_450-455.pdf
- [35] ČAPPO, PR. *Automobilové benziny* [online]. B.m.: PETROLmedia. 2013. Dostupné z: <https://petrol.cz/aktuality/automobilove-benziny-2736>
- [36] LOULA, Václav. *Norma ČSN EN 228* [online]. B.m.: ČAPO. 2017. Dostupné z: <https://www.cappo.cz/aktuality-a-media/aktuality/primichavani-bioslozky-do-automobilovych-benzinu>
- [37] HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [38] TŘEBICKÝ, Vladimír. *Paliva a biopaliva, možnosti a rizika* [online]. B.m.: TechPark. 2019. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42012/paliva-a-biopaliva-moznosti-a-rizika.html>
- [39] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. Příspěvky do benzínu. *PETROLmagazín* [online]. 2012. Dostupné z: <https://www.petrol.cz/aktuality/archiv/2012/31/prisady-do-benzinu-1232>
- [40] KOTEK, Martin. *Výuková skripta k předmětu Diagnostika motorových vozidel*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2020. ISBN 978-80-213-3065-8.
- [41] *Benzina vyvinula zcela novou generaci paliv s názvem Logo Efecta, která se vyznačuje jedinečnými vlastnostmi*. [online]. Dostupné z: <https://www.efecta.cz>

- [42] *Benzín a nafta* [online]. Dostupné z: <https://www.omv.cz/cs-cz/pohonne-hmoty>
- [43] *VÍCE INFORMACÍ O ÚČINCÍCH EVOTECH* [online]. Dostupné z: <https://evo.molcesko.cz>
- [44] *SHELL V-POWER 95* [online]. Dostupné z: <https://www.shell.cz/pro-motoristy/paliva/v-power/gasoline.html>

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 Složení výfukových plynů [1].....	5
Obrázek 2 Průnik depozic PM do lidského organismu [1].....	8
Obrázek 3 Schéma metody CVS pro homologační měření vozidel [1]	9
Obrázek 4 Porovnání výkonových požadavků NEDC a CADC [6]	11
Obrázek 5 Produkce škodlivých emisí v závislosti na λ [1].....	15
Obrázek 6 Vliv přebytku vzduchu λ a úhlu předstihu α_z na emise škodlivin [1]	17
Obrázek 7 Závislost mpe, NO _x a HC na kompresním poměru [1]	17
Obrázek 8 P-V a T-S diagram pro ideální Ottův, Atkinsonův a Millerův cyklus [21] ...	18
Obrázek 9 Účinnost třícestného katalyzátoru v závislosti na λ [1].....	22
Obrázek 10 Řez třícestným katalyzátorem [1]	22
Obrázek 11 Cyklus regenerace sběrného katalyzátoru [1]	23
Obrázek 12 Uzavřený systém filtrace pevných částic [24]	24
Obrázek 13 Otevřený systém filtrace pevných částic [24].....	24
Obrázek 14 Destilační křivka automobilového benzínu [1].....	28
Obrázek 15 Momenty působící vzhledem k hnacímu kolu a zkušebnímu válci [1]	37
Obrázek 16 Vnější otáčková charakteristika zážehového motoru [1].....	41
Obrázek 17 Testovací vozidlo [autor]	42
Obrázek 18 Závislost ztrátového momentu na rychlosti vozidla [Autor]	47

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 Standardní limity emisí pro osobní vozidla do 3,5 t v EU [1]	9
Tabulka 2 Vybrané parametry CADC [7]	10
Tabulka 3 Kategorie vozidel dle výkonové hmotnosti [13]	12
Tabulka 4 Srovnání vybraných parametrů NEDC a WLTC pro kategorii 3b [10].....	13
Tabulka 5 Výpočet převodového poměru motor / válce [Autor].....	48
Tabulka 6 Emise CO [Autor].....	48
Tabulka 7 Emise CO ₂ [Autor].....	49
Tabulka 8 Emise HC [Autor].....	50
Tabulka 9 Emise NO [Autor].....	51
Tabulka 10 Spotřeba paliva [Autor].....	52
Tabulka 11 Výkonové parametry [Autor]	53

10 Seznam vzorců

Vzorec 1	Přeměna oxidu dusnatého na oxid dusičitý.....	32
Vzorec 2	Koncentrace částic analyzovaného vzorku.....	34
Vzorec 3	Absorpční koeficient.....	34
Vzorec 4	Výkon motoru v závislosti na momentu.....	35
Vzorec 5	Hnací moment v závislosti na def. síle.....	36
Vzorec 6	Rovnováha momentů válcové zkušebny.....	37
Vzorec 7	Rovnováha momentů vzhledem k ose válců.....	37
Vzorec 8	Velikost hnací síly.....	37
Vzorec 9	Moment na měřicím válci.....	37
Vzorec 10	Výkon hnací síly v závislosti na rychlosti a hnací síle.....	37
Vzorec 11	Točivý moment v závislosti na momentu setrvačnosti a úhlovém zrychlení klikového hřídele.....	38
Vzorec 12	Převodový poměr mezi otáčkami motoru a otáčkami válců zkušebny.....	47

11 Seznam zkratek

α_z	Úhel předstihu
ε	Úhlové zrychlení setrvačných hmot
λ	Součinitel přebytku vzduchu
ω	Úhlová rychlost motoru
%	Procento
% (m·m ⁻¹)	Hmotnostní procento
% (V·V ⁻¹)	Objemové procento
°BOSCH	Stupeň kouřivosti
°C	Stupeň Celsia
C	Uhlík
<i>c</i>	Hmotnostní koncentrace částic v analyzovaném vzorku
C ₄	Frakce složené ze směsi zkapalněných uhlovodíků, se 4 atomy uhlíku v molekule
C ₇ H ₁₆	N-heptan
C ₈ H ₁₈	Izo-oktan
CACD	Common Artemis Driving Cycle = Běžný jízdní cyklus Artemis pro testování vozidel do 3,5 t.
CDA	Cylinder Deactivation = Systém deaktivace válců
CLA	Chemiluminiscenční analyzátory
cm ³	Centimetr krychlový
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
COHb	Karboxihemoglobin = látka vzniklá spojením oxidu uhelnatého a hemoglobinu
ČSN	Česká technická norma
ČZU	Česká zemědělská univerzita
EEPS	Engine Exhaust Particel Sizer = velikostní klasifikátor částic ve výfukových plynech
EGR	Exhaust Gas Recirculation = Systém recirkulace výfukových plynů
EHK	Evropská hospodářská komise
EN	Evropská norma
ETBE	etyktercbutyleter
EU	Evropská unie
EUDC	Extra Urban Driving Cycle = Mimoměstský jízdní cyklus
F	Síla
FID	Flame Ionitacion Detector = plamenoionizační detektor
<i>F_k</i>	Hnací síla na obvodu kola
g	Gram
g.km ⁻¹	Gram na kilometr
g.kWh ⁻¹	Gram na kilowatt hodinu

$\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$	Gram za sekundu
H	Vodík
h	Hodina
H_2	Molekula vodíku
HC	Nespálené uhlovodíky
HNO_3	Kyselina dusičitá
Hz	Hertz
I	Moment setrvačnosti motoru redukovaný na klikový hřídel
k	Absorpční koeficient
kg	Kilogram
$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	Kilogram na metr krychlový
$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	Kilogram na metr krychlový
kJ	Kilojoule
$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	Kilojoule na kilogram
km	Kilometr
$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	Kilometr za hodinu
kPa	Kilopascal
KVPD	Katedra vozidel a pozemní dopravy
kW	Kilowatt
L	Délka optické dráhy
l	Litr
$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$	Litr za minutu
m	Hmotnost
m	Metr
M	Točivý moment motoru
$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	Metr za sekundu
$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	Metr za sekundu na druhou
m^3	Metr krychlový
M_f	Moment valivého odporu
mg	Miligram
$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	Miligram na litr
min^{-1}	Otáčky za minutu
M_k	Hnací moment na kolech vozidla
MM	Motor Method = Motorová metoda
MM	Motorová metoda
mm	Milimetr
Mpa	Megapascal
m_{pe}	Měrná spotřeba paliva
M_v	Moment na válci
N	Lineární stupeň absorpce
N	Dusík
N	Newton

N ₂ O	Oxid dusný
NDIRA	Non Dispersive Infra Red Analyzator = bezdispersivní infračervené analyzátoři
NEDC	New European Driving Cycle = Nový evropský harmonizační cyklus
Nm	Newtonmetr
nm	Nanometr
n_{max}	Maximální otáčky motoru
n_{min}	Minimální otáčky motoru
NO	Oxid dusnatý
NO ₂	Oxid dusičitý
NO _x	Oxidy dusíku
O	Kyslík
O ₂	Molekula kyslíku
OBD	On Board Diagnostic = palubní diagnostika
OČ	Oktanové číslo
$ot.min^{-1}$	Otáčky za minutu
P	Výzkumná metoda
PAH	Polyaromatické uhlovodíky
P_e	Užitečný výkon
PEMS	Portable Emissions Measurement System = Přenosný emisní analyzátoři
P_k	Hnací výkon
PM	Pevné částice
ppm	Parts Per Million = částic z milionu
r	Délka ramene
rad.s ⁻¹	Radiální za sekundu
rad.s ⁻²	Radiány za sekundu na druhou
r_d	Poloměr kola
RDE	Real Driving Emissions = Měření emisí za reálného provozu
R-cho	Aldehydy
RM	Research Method = výzkumná metoda
r_v	Poloměr válce
s	Sekunda
SO _x	Oxidy síry
TF	Technická fakulta
TSI	Turbocharged Stratified Injection
UDC	Urban Driving Cycle = Městský jízdní cyklus
UV	Ultra Violet = Ultrafialové záření
V	Objem
v	Obvodová rychlost kola
VM	Výzkumná metoda

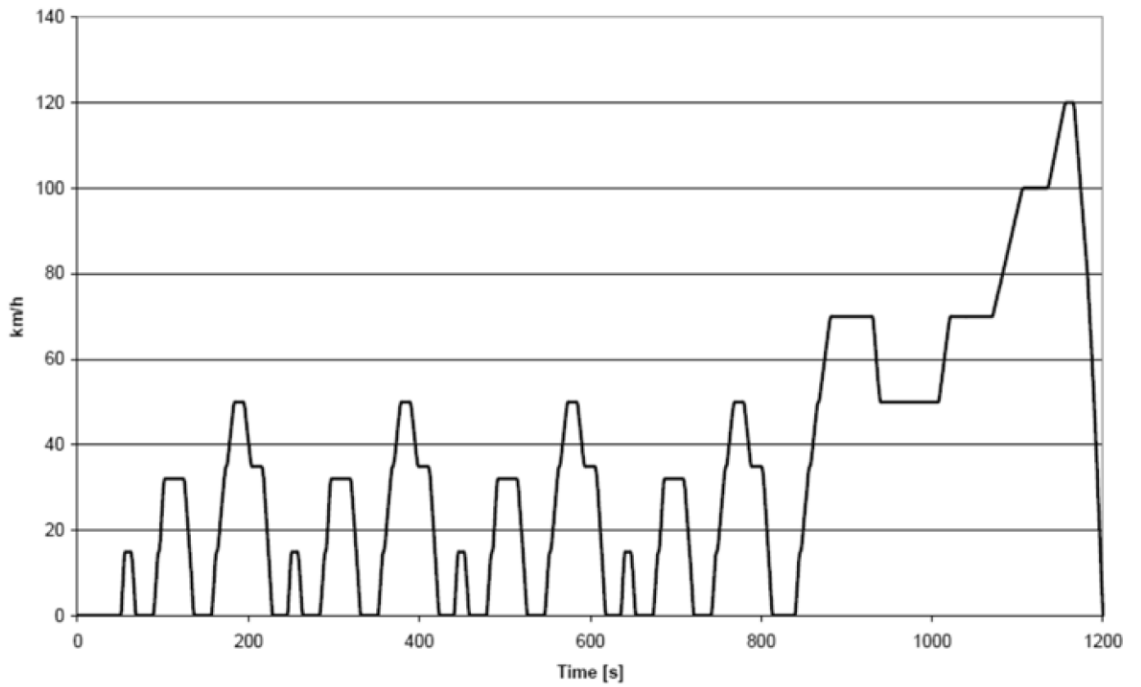
W	Watt
WLTC	Worldwide harmonized Light Vehicles Test Cycle = celosvětový harmonizovaný cyklus pro testování vozidel do 3,5 t
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure = celosvětový harmonizovaný postup pro testování vozidel do 3,5 t

12 Seznam příloh

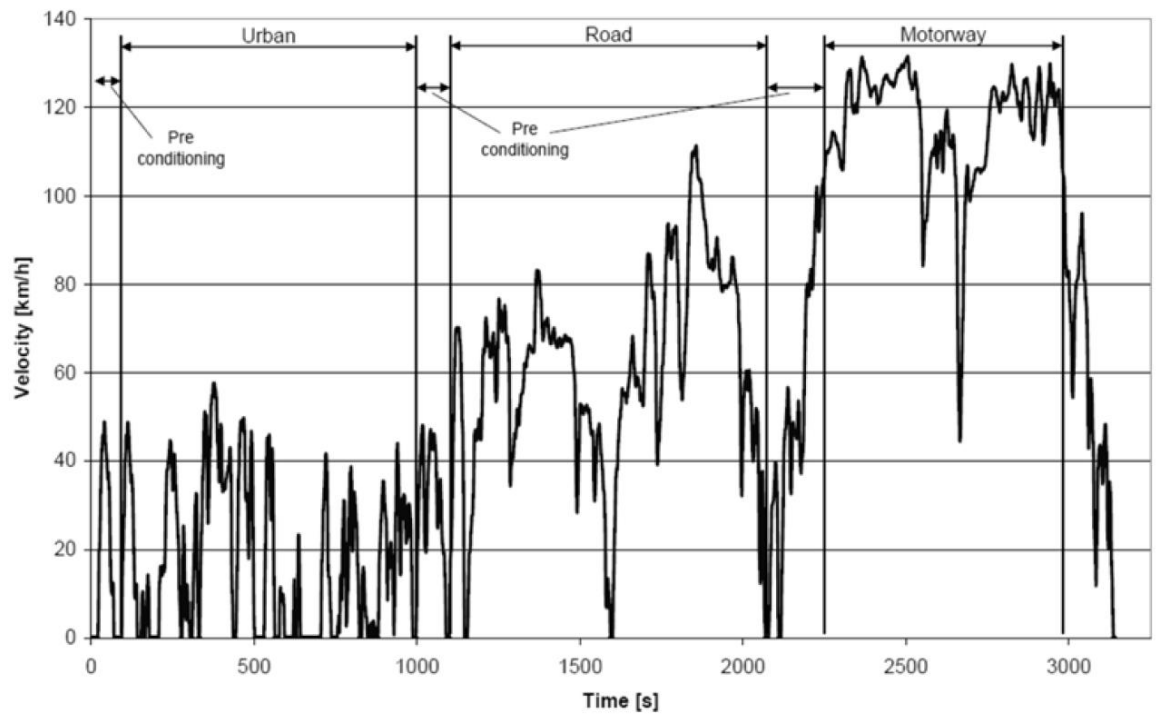
Příloha 1	Porovnání průběhu NEDC a CADC
Příloha 2	WLTC
Příloha 3	Recirkulace výfukových plynů
Příloha 4	Přehled obecných požadavků na bezolovnatý automobilový benzín BA 95 dle ČSN EN 228 + A1
Příloha 5	Další vlastnosti automobilových benzínů
Příloha 6	Příspěvky přidávané do automobilových benzínů
Příloha 7	Měření výkonových parametrů vozidla
Příloha 8	Měření na válcové zkušebně
Příloha 9	Technické údaje testovacího vozidla
Příloha 10	Základní technické údaje váhy VIBRA AJ-6200CE
Příloha 11	Základní technické údaje analyzátoru VMK
Příloha 12	Základní technické údaje analyzátoru částic EEPS 3090
Příloha 13	Specifikace použitých paliv
Příloha 14	Grafy aktuální produkce emisí CO během jízdního cyklu
Příloha 15	Grafy aktuální produkce emisí CO ₂ během jízdního cyklu
Příloha 16	Grafy aktuální produkce emisí HC během jízdního cyklu
Příloha 17	Grafy aktuální produkce emisí NO během jízdního cyklu
Příloha 18	Grafy aktuální produkce emisí PM během jízdního cyklu
Příloha 19	Vnější otáčkové charakteristiky

Příloha 1: Porovnání průběhu NEDC a CADC

Obrázek 1 Průběh NEDC [6]



Obrázek 2 Průběh CADC [6]

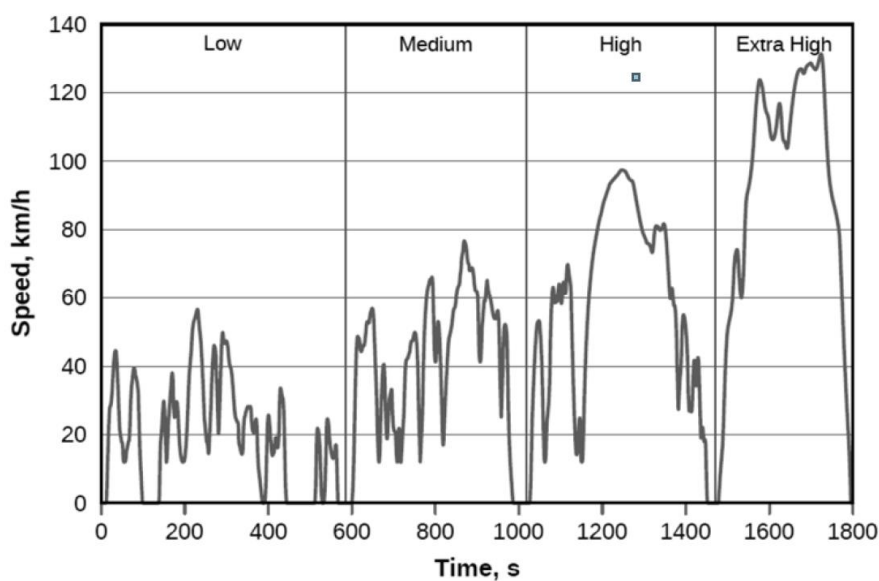


Příloha 2: WLTC

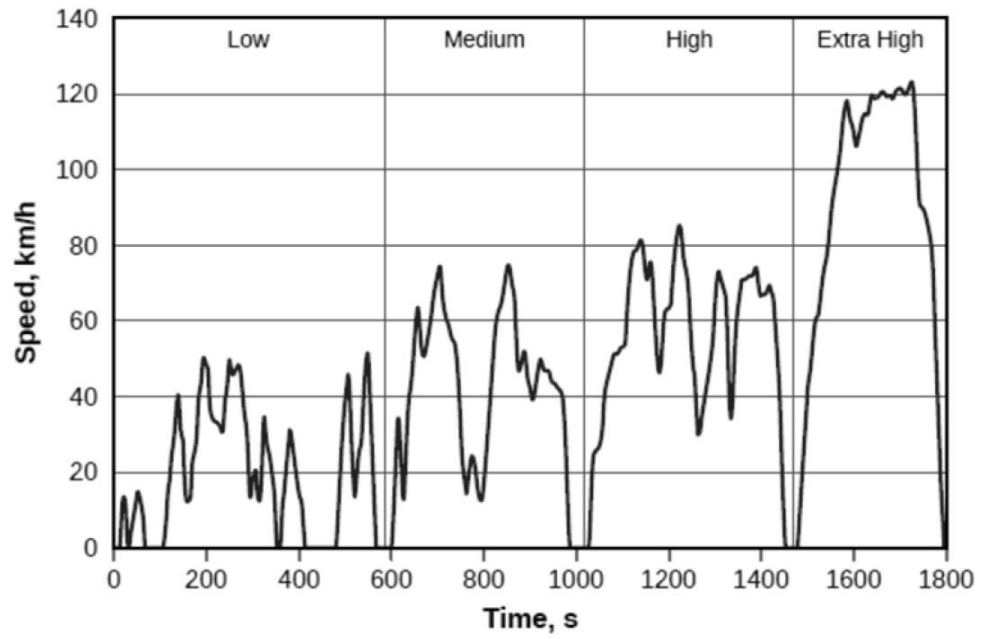
Tabulka 1 Vybrané parametry cyklů [5]

Fáze	Doba jízdy	Doba stání	Vzdálenost	Doba stání	Max. rychlost	Ø rychlost bez zastavení	Ø rychlost se zastavení	Min. zrychlení	Max. zrychlení
	s	s	m	%	km.h ⁻¹	km.h ⁻¹	km.h ⁻¹	m.s ⁻²	m.s ⁻²
Třída 3b (max. rychlost ≥ 120 km/h)									
Nízká 3	589	156	3095	26.5%	56.5	25,7	18,9	-1.47	1.47
Střední 3.2	433	48	4756	11.1%	76.6	44.5	39.5	-1.49	1.57
Vysoká 3.2	455	31	7162	6.8%	97.4	60.8	56.7	-1.49	1.58
Extra Vysoká 3	323	7	8254	2.2%	131.3	94.0	92.0	-1.21	1,03
Celkem	1800	242	23266						
Třída 3a (max. rychlost < 120 km/h)									
Nízká 3	589	156	3095	26.5%	56.5	25,7	18,9	-1.47	1.47
Střední 3.1	433	48	4721	11.1%	76.6	44.1	39.3	-1.47	1.28
Vysoká 3.1	455	31	7124	6.8%	97.4	60.5	56.4	-1.49	1.58
Extra vysoká 3	323	7	8254	2.2%	131.3	94.0	92.0	-1.21	1,03
Celkem	1800	242	23194						
Třída 2									
Nízká 2	589	155	3101	26.3%	51.4	25,7	19.0	-0.94	0.90
Střední 2	433	48	4737	11.1%	74.7	44.3	39.4	-0.93	0.96
Vysoká 2	455	30	6792	6.6%	85.2	57.5	53.7	-1.11	0.85
Extra vysoká 2	323	7	8019	2.2%	123.1	91.4	89.4	-1.06	0.65
Celkem	1800	240	22649						
Třída 1									
Nízká 1	589	154	3330	26.1%	49.1	26,7	20,4	-1.00	0.76
Střední 1	433	48	4767	11.1%	64.4	44.6	39.6	-0.53	0.63
Nízká 1	589	154	3330	26.1%	49.1	26,7	20,4	-1.00	0.76
Celkem	1611	356	11428						

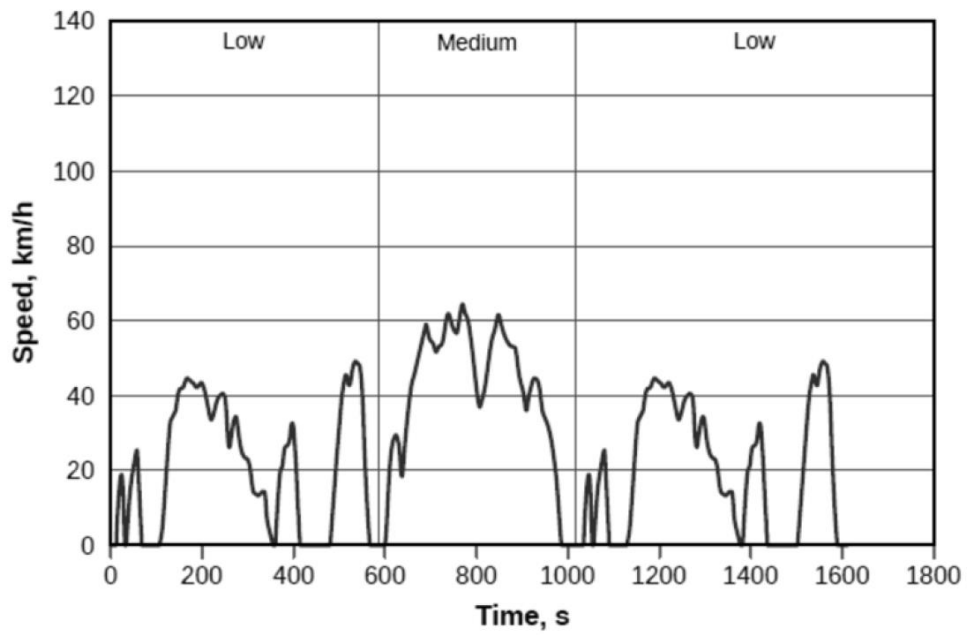
Obrázek 1 Průběh WLTC pro třídu 3b [5]



Obrázek 2 Průběh WLTC pro třídu 2 [5]

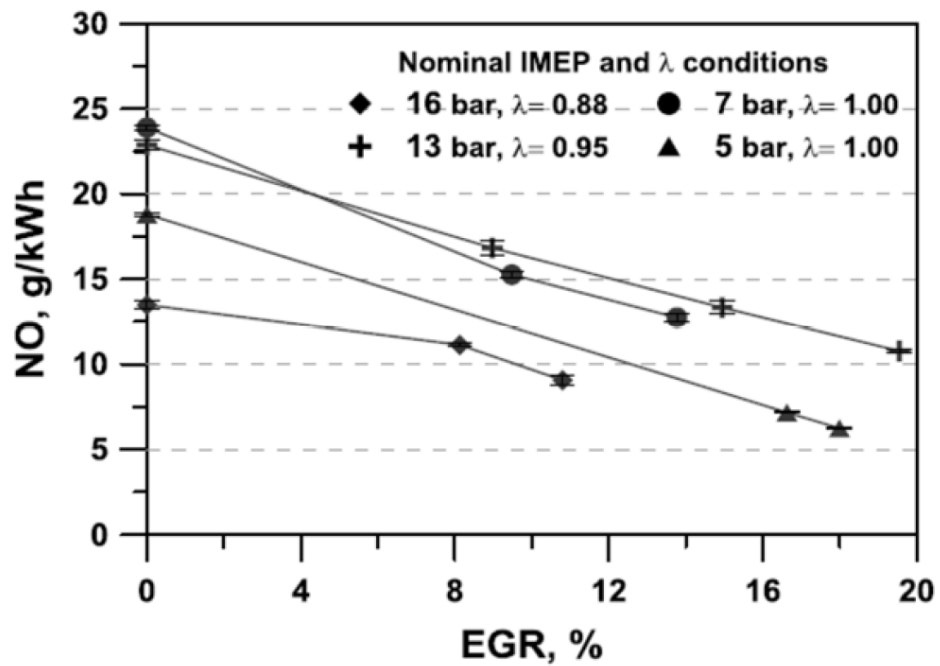


Obrázek 3 Průběh WLTC pro třídu 1 [5]

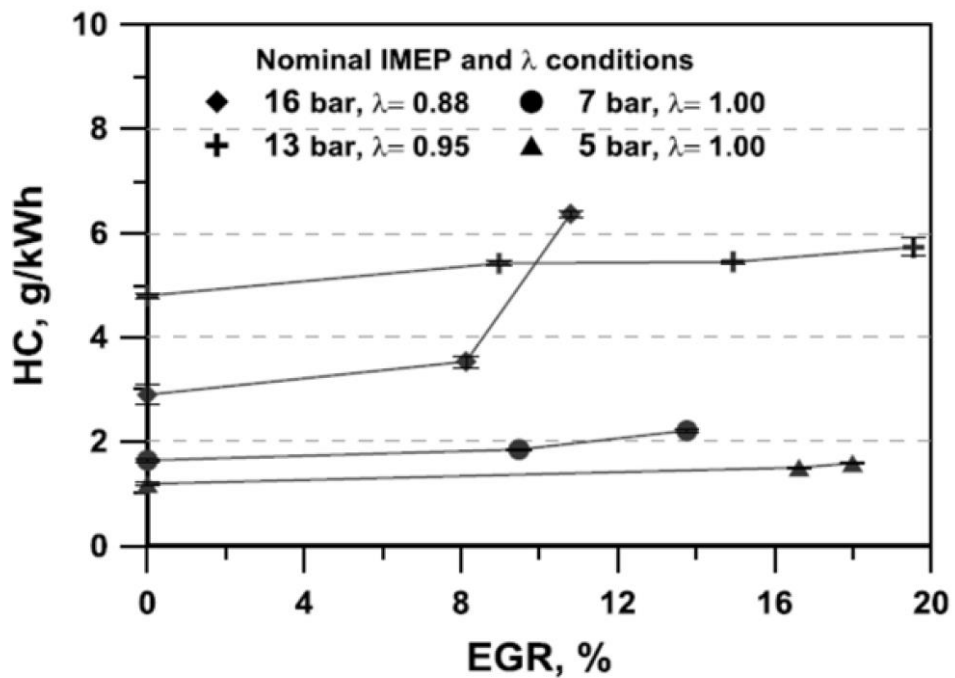


Příloha 3: Recirkulace výfukových plynů

Obrázek 1 Emise NO oproti zatížení v závislosti na recirkulaci [25]



Obrázek 2 Emise HC oproti zatížení v závislosti na recirkulaci [25]



Příloha 4: Přehled obecných požadavků na bezolovnatý automobilový benzín BA 95 dle ČSN EN 228 + A1

Tabulka 1 Přehled obecných požadavků na bezolovnatý automobilový benzín BA 95 dle ČSN EN 228 + A1 [29]

Specifikace

Parametr	BA 95	BA 98
Oktanové číslo VM, min.	95	98
Oktanové číslo MM, min.	85	88
Vzhled	čirý a jasný	čirý a jasný
Hustota při 15°C - kg.m ⁻³	720 - 775	725 - 775
Obsah olova - mg/l, max.	5	5
Destilační zkouška		
- odpař. množství při 70°C - % (V/V), léto	20 - 48	20 - 48
- odpař. množství při 70 °C - % (V/V), zima	22 - 50	22 - 50
- odpař. množství při 100 °C - % (V/V)	46 - 71	46 - 71
- odpař. množství při 150°C - % (V/V), min.	75	75
- konec destilace - °C, max.	210	210
Tlak nasycených par – kPa léto (22.4. – 30.9.)	45 - 60	45 - 60
Tlak nasycených par – kPa zima (16.11. – 21.3.)	60 - 90	60 - 90
Tlak nasycených par – kPa přechodové jarní období (22.3. – 21.4.)	50 - 80	50 - 80
Tlak nasycených par – kPa přechodové podzimní období (1.10. – 15.11.)	50 - 90	50 - 90
Index těkavosti od 1.10. do 15.11. (přechodové podzimní období), max.	1150	1150
Index těkavosti od 22.3. do 21.4. (přechodové jarní období), max.	1050	1050
Oxidační stabilita - minuty, min.	360	360
Mechanické nečistoty a voda	nepřítomné	nepřítomné
Obsah síry - mg.kg ⁻¹	10	10
Obsah pryskyřic - mg.100cm ⁻³ , max.	5	5
Obsah benzenu - % (V/V), max.	1	1
Obsah aromátů - % (V/V), max.	35	35
Obsah olefinů - % (V/V), max.	18	18
Obsah kyslíku - % (M/M), max.	2,7	2,7
Obsah etanolu, max.	5	5
Index těkavosti		

Příloha 5: Další vlastnosti automobilových benzínů

1. Tlak par

Tato tlaková hodnota představuje tlak benzínových par, vzniklý v uzavřené nádobě při teplotě 38 °C. S rostoucí hodnotou tlaku roste i startovatelnost a zlepšuje rozběh motoru, nicméně s nárůstem této hodnoty narůstají také ztráty při skladování. Hodnota tlaku par se pohybuje u automobilových benzínů obvykle mezi 0,025 – 0,07 MPa. [28]

2. Výparné teplo paliva

Tato hodnota popisuje množství tepla (uváděno v kJ) potřebného k převedení váhové nebo objemové jednotky paliva do plynného stavu. Vysokým výparným teplem jsou význačné především aromatické uhlovodíky a alkoholy, což je také jeden z důvodů jejich přidávání do speciálních pohonných látek. [28]

3. Spalné teplo a výhřevnost

Tyto pojmy jsou také někdy označovány jako horní a dolní výhřevnost. Obě tyto hodnoty jsou důležité například pro práci na motorové brzdě, nicméně pro běžného spotřebitele nemají význam. U benzínu se v případě spalného tepla jedná o cca 46 000 kJ.kg⁻¹ a v případě výhřevnosti cca 43 500 kJ.kg⁻¹. [28]

4. Bod krystalizace

Tato hodnota představuje teplotu, při které se v daném benzínu začínají vylučovat pevné podíly uhlovodíků, především aromátů. U automobilových benzínů bývá tato hodnota nižší, než -30 °C. [28]

5. Skladovací stabilita benzínů a obsah pryskyřičnatých látek

Skladovací stabilita je důležitým kvalitativním parametrem, vypovídajícím o náchylnosti paliva k jeho degradaci. Vlivem vzdušného kyslíku a světla, především v přítomnosti kovů, probíhá v benzínech reakce, která způsobuje vznik látek s pryskyřičnatým charakterem. Takto vzniklé pryskyřice se při odpařování benzínu usazují a zalepují vstřikování, zapalovací svíčky apod. [28][34]

6. Korozivnost benzínu

Jedná se o důležitý parametr mající vliv na životnost palivové soustavy automobilu. Přestože samotné uhlovodíky, ani jejich spalné zplodiny, samy nekorodují, tak benzíny, které obsahují tzv. korozivní síru, způsobují degradaci především měděných a mosazných součástí. Sírné sloučeniny tvoří při kontaktu s mědí či mosazí lehce se odlupující vrstvičky, což může vést k poruchám palivové soustavy a přívodu paliva. [28]

7. Agresivita vůči pryži

Součástí automobilových benzínů jsou také aromatické uhlovodíky, kterými je pryž narušována. Z toho důvodu je nutné vyrábět gumová těsnění a spoje, které přichází do kontaktu s palivem, ze syntetických kaučuků, u kterých nedochází v přítomnosti s automobilovými benzíny k degradaci. [28]

8. Hustota benzínu

Tato hodnota je v normách a popisech paliv uváděna především z komerčních důvodů, za účelem provádění přepočtů objemů na váhu (hmotnost). [28]

9. Viskozita a povrchové napětí

Obě tyto veličiny mají původ v mezimolekulárních silách a hrají důležitou roli při zplyňování paliva. Při nízkém povrchovém napětí, doprovázeném nízkou viskozitou, je možné palivo lépe rozprášit do drobných kapének, což přispívá k lepšímu promísení se vzduchem a homogenitě směsi. [28]

10. Mísitelnost složek

Obecně jsou benzíny dobře vzájemně mísitelné. Zároveň mají velmi dobrou mísitelnost i s ethanolem, o koncentraci vyšší než 99,7 %. To je velmi důležité především z hlediska přimíchávání biosložek do automobilových benzínů. [28]

Příloha 6: Přísady přidávané do automobilových benzínů

1. Biosložky

V ČR je legislativou od roku 2008 stanovena povinnost náhrady 4,1 % fosilní složky benzínu biopalivy. Tento druh benzínu je pak označován jako E5. Zároveň je novelizovanou normou ČSN EN 228 umožněno, vedle benzínu s maximálně 5% obsahem biosložky, dodávat na trh i benzín s obsahem do 10 % biosložky, s označením E10. U automobilových benzínů s obsahem biosložky do 10 % je však již nutné, aby bylo vozidlo na tento druh paliva homologováno, což má za následek, vzhledem ke stáří vozového parku v ČR, že je majoritně distribuován benzín s obsahem biosložky do 5 %. [35][36]

Jako biosložka je v ČR zastoupen bioetanol, který je obvykle vyráběn pomocí technologie kvašení z biomasy, obsahující jednoduché cukry nebo látky, které je možné přeměnit na jednoduché cukry. Jelikož je bioetanol vyráběn primárně z biomasy, řadí se mezi biopaliva 1. generace. Jeho přednostmi jsou především vysoké oktanové číslo, vyšší rychlost hoření a příznivější stechiometrický poměr v porovnání s automobilovým benzínem. [36][37]

Automobilový benzín s obsahem bioetanolu není příliš vhodný pro dlouhodobé skladování. Vzhledem k jeho vysoké afinitě k vodě není doporučeno tento druh paliva skladovat déle, jak 4 měsíce. Při navázání vody na etanol dochází k narušení rovnovážného stavu a tvorbě nestandardní liho-vodní směsi, která zvyšuje nebezpečí koroze palivové soustavy vozidla. [35][36]

Jako další biosložka pak přichází v úvahu bioETBE (etylterbutyleter), který má vysoké oktanové číslo, je s benzínem neomezeně mísitelný a má poměrně nízkou tenzi par, díky čemuž přidávání bioETBE do automobilových benzínů nepředstavuje žádný technický problém. BioETBE taktéž nedoprovází problémy s vysokou vnímavostí k vodě, na rozdíl od bioetanolu. Tato biosložka je v současnosti přidávána především do prémiových paliv. [38]

2. Přísady zvyšující oktanové číslo

Neboli antidetonátory, jsou látky na různých chemických bázích, přidávané do automobilových benzínů za účelem zvýšení oktanového čísla. První možností jsou přísady s obsahem kovu, ty byly využívány především v minulém století a jejich nejznámějším zástupcem je olovo, nicméně od jeho užívání se upustilo především ze dvou zásadních důvodů. Prvním vážným důvodem je jeho škodlivost pro lidský organismus a druhým bylo zavádění třícestných katalyzátorů, pro které je olovo "jedovaté" a způsobuje trvalé poškození třícestných katalyzátorů. Mezi další organokovové sloučeniny, zvyšující oktanové číslo, patří například pentakarbonyl železa, ferocen, karbonyl niklu a tetraethylcín. Ani jedna z těchto látek není v praxi využívána z důvodů jejich toxicity, ceny a nežádoucích vedlejších vlivů. Mimo jiné také produkty spalování některých těchto látek mohou způsobovat abrazivní opotřebení. Nicméně i

přes jejich škodlivost, cenu a potenciální nebezpečí poškození motoru, je možné se s některými z těchto látek potkat, ať už jako součástí nebo hlavní složkou některých doplňkových aditiv pro automobilové benzíny, které mohou spotřebitelé sami přidávat do nádrže při tankování. [26][39]

Dalšími zástupci antidetonátorů jsou antidetonátory bez obsahu kovů. Řadí se sem především aromáty, jako je benzen a toluen, které mají oktanové číslo v rozmezí 108 – 112 a jejich přimícháním je možné dosáhnout vyššího oktanového čísla výsledné směsi. Avšak tyto aromáty, především benzen, jsou z důvodu jejich rakovinotvorných účinků omezeny na 5 obj. %. [26]

3. Antioxidanty

Neboli oxidační inhibitory, jsou látky přidávané do automobilových benzínů z důvodu jejich náchylnosti k oxidaci, především pak na světle. Oxidace je doprovázena vznikem pryskyřic, které mohou při vyšším obsahu vytvářet úsady na sacím systému motoru a sacích ventilech. Mezi nejméně stálé složky benzínu majících vliv na oxidaci patří olefiny, díky jejich dvojně vazbě snadno addují na vzdušný kyslík, přičemž vznikají nežádoucí produkty oxidace. [28][39]

Jako antioxidanty lze využívat alkyfenolové i aminové sloučeniny, např: alkyl-p-fenylenamidy, alkyl-p-aminofenoly a alkylfenoly, díky jejichž přidáním dochází k rozkladům peroxidových radikálů. Do benzínů obsahujících olefiny, by měly být přidávány ihned po výrobě, nicméně funkci by mělo splnit i pozdější přidání. Účinné jsou tyto látky již od 10 – 20 ppm. [39]

4. Deaktivátory kovů

Účinnost těchto látek úzce souvisí s antioxidanty, neboť již malé hodnoty ppm mědi, cínu a dalších barevných kovů, dokáže velice urychlit oxidační děje uhlovodíků obsažených v benzínu. Deaktivátory kovů tedy zabraňují barevným kovům v katalytické činnosti při oxidačních dějích. Samotný princip deaktivace kovů spočívá v potlačení katalytických účinků barevných kovů za pomoci chelátů, ve kterých barevné kovy s antioxidanty vytvoří komplexní vazby, přičemž tyto sloučeniny již katalyticky nepůsobí. Příkladem přísad používaných jako deaktivátory, je např. N-disalicyliden-1,2-propandiamon. Účinné dávkování je 2 – 10 ppm. [28][39]

5. Inhibitory koroze

Hluboce odsířený benzín nezpůsobuje korozi kovových materiálů vyskytujících se v palivové soustavě. Nicméně není schopen chránit v přítomnosti vody kovové povrchy před korozi, přičemž přítomnost malého množství vody v nádrži nelze nikdy vyloučit. Podstatou inhibitorů koroze je vytváření tenkého hydrofobního ochranného filmu na povrchu kovových součástí, a tím chrání kovové součásti před kontaktem s vodou. Molekuly inhibitorů koroze jsou na jednom konci molekuly silně polární, což jim umožňuje přilnout na kovový povrch, na druhém konci jsou molekuly inhibitorů zase olejofilní, a tedy hydrofobní. Účinnost těchto látek začíná při koncentracích od desítek ppm. Samotné složení inhibitorů koroze zahrnuje řadu látek, jako např.: sulfonové kyseliny, aminy a estery kyseliny jantarové, kyseliny fosforečné apod. [28][39]

Zároveň je třeba brát v potaz, že současné benzíny obsahují etanol jako povinnou biosložku. Etanol je hydrofilní a jeho směsi s vodou způsobují rychlou korozi kovových částí. Proto je normou EN 228 výslovně nařízeno, aby dodavatel zajistil, že se voda nebude oddělovat za klimatických podmínek v místě spotřeby a pokud toto riziko existuje, je nucen přidávat protikorozi přísady. [39]

6. Deemulgátory a odvodňovače

Tyto přísady přichází v úvahu především při přečerpávání zavodněných kontejnerů a nádrží. K emulzifikaci vody v palivu dochází především v přítomnosti povrchově aktivních látek. Při emulzifikaci vzniká zároveň zákal způsobující rozptyl světla, tzv. Tyndallův jev. [28]

7. Přísady proti zamrznání vody

Jedná se o přísady, které vytváří s vodou nemrznoucí směs. Obvykle se jako nemrznoucí přísady používají isopropylalkohol, hexylenglykol nebo dipropylenglykol. [28] Nicméně u moderních automobilových benzínů, obsahujících etanol, jsou tyto látky takřka zbytečné, protože etanol malé množství vody rozpouští. V případě většího množství vody v nádrži dochází k vyloučení lihobenzínové vrstvy, která nezamrzá. Směs benzínu s etanolem má pak ještě jednu výhodu a to tu, že benzín s 5% obsahem etanolu je schopen při normální teplotě rozpustit více než 0,2 % vody (při -15 °C je pak toto množství asi poloviční), tudíž při každém tankování automobilového benzínu, který obsahuje bezvodý etanol, dochází k vysušení nádrže a celé palivové soustavy (ovšem jen do uvedeného množství, což při tankování plné nádrže znamená až 0,1 litru vody). [39]

8. Detergentní přísady

Jedná se o čisticí přísady pro udržení dobré kondice motoru z hlediska spotřeby paliva, výkonu a souvisejících jízdních vlastností. Všechny tyto parametry se mohou zhoršovat v důsledku zanášení a porušení funkce vstřikovačů a sacích ventilů. Při zanášení sacích ventilů dochází k rušení řízené turbulence směsi, což má vliv na rychlost spalování a emise výfukových plynů. Zároveň při velkém zanesení sacího ventilu úsadami dochází ke špatnému plnění válce následovaného ztrátou výkonu motoru. [28][39]

Detergenty jsou přidávány do benzínu hlavně v průběhu distribuce (detergentní přísada je dnes obsažena ve všech prémiově aditivovaných benzínech, avšak v různých množstvích, proto mohou být účinky na provoz motorů výrazně odlišné) nebo jako přísady spotřebitelské aditivace. V praxi jsou aplikovány detergenty dvěma způsoby, prvním z nich je tzv. metoda Keep Clean, při které je podáváno poměrně malé množství detergentů, které udržují sací systém v čistotě. Druhou je tzv. metoda Clean-up, při které je podáváno větší množství detergentů, za účelem vyčistit palivovou soustavu a spalovací prostor. [39] Samotný vliv jednoho z testovaných detergentů na množství úsad na sacích ventilech dle [39] je uveden v Tabulce 5. Z tabulky je patrný markantní pokles hmotnosti úsad, který v průměru pro všechny ventily činil přes 95 %.

Tabulka 1 Hmotnost úsad na sacích ventilech po jízdní zkoušce 70 000 km [39]

Palivo:	Dávkování přísady [ppm]	Ventil 1 [mg]	Ventil 2 [mg]	Ventil 3 [mg]	Ventil 4 [mg]	Průměr ventil 1-4 [mg]
s přísadou	860	29	24	17	31	25
bez přísady (referenční)	0	446	662	474	574	539

Jako detergenty jsou požívány amidy mastných kyselin, sloučeniny izobutilenu s anhydridem kyseliny jantarové, deriváty alkyfenolů a jiné. Pro jejich snadné rozpouštění v benzínu se detergenty již dodávají naředěné vhodnými rozpouštědly. Samotný princip jejich funkce spočívá v molekule vykazující dipól, který se připevní k částici nečistoty s opačným nábojem a tato částice je potom uvolněna a rozptýlena v palivu. [28][39]

9. Mazivostní přísady

Jedná se o přísadu snižující koeficient tření olejového filmu. Přísada se s palivem dostává do spalovacího prostoru, kde část ulpí na stěnách válce a část shoří. Přítomnost přísady se okamžitě projeví na snížení třecích ztrát mezi stěnou válce, pístem a pístními kroužky (odkud pochází více jak 40 % ztrát vlivem tření). Přísada se pak postupně dostává do motorového oleje a je možné zaznamenat nižší opotřebení třecích ploch v průběhu intervalu výměny olejové náplně. [28][39] Dle [39] byl pak publikován výsledek zkoušek, ukazující pokles spotřeby

paliva o 1,5 % ihned po nadávkování aditiva do benzínu. Přičemž po ujetí 5000 km se spotřeba paliva snížila o 3 %.

Příloha 7: Měření výkonových parametrů vozidla

Tabulka 1 Metody měření výkonových parametrů spalovacích motorů [39]

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

Příloha 8: Měření na válcové zkušebně

Obrázek 1 Pohled na odkrytou zástavbu válcové zkušebny [40]



Obrázek 2 Detailní pohled na sadu setrvačnicků [39]



Tabulka 1 Technické parametry válcové zkušebny [40]

Parametry válcové zkušebny	
DC motorgenerátor	Maximální brzdny výkon 56 kW Maximální brzdny moment 305 Nm Maximální otáčky 3000 min ⁻¹
Vířivý dynamometr	Maximální brzdny výkon 125 kW Maximální brzdny moment 478 Nm Maximální otáčky 8000 min ⁻¹
Válce zkušebny	Dva válce umístěny v páru, které slouží k přenosu energie mezi koly vozidla a zkušebnou Obvod válců 1145 mm
Setrvačníky zkušebny	Základní simulovaná hmotnost 680 kg Přídavné hmotnosti: 900 kg, 450 kg, 225 kg, 120 kg, 112,5 kg.

Příloha 9: Technické údaje testovacího vozidla

Tabulka 1 Parametry testovacího vozidla [Autor]

Vozidlo	
Výrobce	Škoda
Model	Karoq
Rok výroby	2019
Druh vozidla	osobní automobil
Typ vozidla	SUV
Počet dveří	4
Počet míst k sezení	5
Poháněná náprava	přední
Převodovka	manuální (6 stupňů)
Zrychlení (0-100 km.h ⁻¹)	8,9 s
Maximální rychlost	205 km.h ⁻¹
Objem nádrže	50 l
Délka vozidla	4 382 mm
Výška vozidla	1 603 mm
Rozvor	2 638 mm
Rozchod	1 576 mm
Hmotnost:	
pohotovostní	1 380 kg
celková	1 920 kg
Motor	
Druh paliva	Benzín
Zdvihový objem	1 498 cm ³
Druh motoru	TSI - řadový přeplňovaný čtyřválec s přímým vstřikováním
Přeplňování	turbodmychadlem s variabilní geometrií
Příprava směsi	přímé vstřikování
Počet válců	4
Počet ventilů na válec	4
Ventilový rozvod	DOHC
Kompresní poměr	12, 5:1
Maximální výkon	110 kW při 5 000 - 6 000 min ⁻¹
Maximální točivý moment	250 Nm při 1 500 - 3 500 min ⁻¹
Emisní norma	EURO 6d-TEMP
Řízení emisí	přímé vstřikování, aktivní odpojování válců, proměnlivé časování ventilů, Millerův cyklus, třicestný katalyzátor, DPF
Spotřeba:	
město	6,5 l
mimo město	4,5 l
kombinovaná	5,3 l

Příloha 10: Základní technické údaje váhy VIBRA AJ-6200CE

Tabulka 1 Základní technické údaje váhy VIBRA AJ-6200CE [Autor]

Výrobce	Shinko Denshi
Váživost	6 200 g
Dílek/přesnost	0,01 g
Ověřitelný dílek	0,1 g
Třída přesnosti	I
Rozměr plošinky	180x160 mm
Přípustná teplota měření	0-35°C
Způsob kalibrace	externí
Komunikační rozhraní	RS 232
Funkce	vážení, tárování, počítání kusů, spodní vážení, vážení v karátech

Příloha 11: Základní technické údaje analyzátoru VMK

Tabulka 1 Základní technické údaje analyzátoru VMK [Autor]

Měřená složka	Rozsah	Rozlišení	Nejistota měření
CO	0 - 10 % vol.	0,001 % vol.	0 - 0,67 %: 0,02 % absolutní 0,67 - 10 %: 3 % měřené veličiny
CO₂	0 - 16 % vol.	0,01 % vol.	0 - 10 %: 0,3 % absolutní 10 - 16%: 3 % měřené veličiny
HC	0 - 20 000 ppm	1 ppm	10 ppm nebo 5 % měřené veličiny
NO_x	0 - 5 000 ppm	1 ppm	0 - 1 000 ppm: 25 ppm 1 000 - 4 000 ppm: 3 % měřené veličiny
O₂	0 - 22 % vol.	0,1 % vol.	0 - 3 %: 0,1 % absolutní 3 - 21 %: 3 % měřené veličiny

Příloha 12: Základní technické údaje analyzátoru částic EEPS 3090

Tabulka 1 Základní technické údaje analyzátoru částic EEPS 3090 [Autor]

Parametr	Hodnota
Rozsah měřených velikostí částic	5,6 560 nm
Počet elektroměrů	22
Režim nabíjení částic	Unipolární dufúzní nabíječka
Vzorkovací frekvence	10 Hz
Průtok vzorku	10 l.min ⁻¹
Teplota vzorku	10 - 52 °C
Provozní teplota	0 - 40 °C
Pracovní tlak	70 - 103 kPa
Ředění	Rotační termoředička

Příloha 13: Specifikace použitých paliv

Prémiová paliva

V této části jsou blíže popsáni jednotliví zástupci prémiových automobilových benzínů zvolených pro měření.

1. EFECTA 95

Palivo je distribuované v ČR sítí čerpacích stanic BENZINA. Distributor paliva inzeruje: *„Díky speciálním aditivům dokáže toto moderní palivo efektivně čistit motor a palivovou soustavu vašeho auta. Výrazný čistící účinek potvrdila svými testy renomovaná švýcarská laboratoř SGS, jež je světovou jedničkou v oblasti inspekce, verifikace, testování a certifikace. Jednotlivé fáze testů Dirty-up & Clean-up a Keep Clean simulovaly střídání městského a dálničního provozu.“* [41]

Dále distributor na svých stránkách inzeruje snížení množství usazenin v motoru a palivovém systému až o 58 %, udržení palivové soustavy v čistotě, ochranu motoru a palivové soustavy před korozí, posílení mazivosti s pozitivním vlivem na spotřebu a minimalizace emisí škodlivých látek.

2. OMV MaxxMotion 95

Paliva z řady MaxxMotion jsou distribuována sítí čerpacích stanic OMV. Distributor paliva inzeruje: *„Prémiová paliva MaxxMotion nabízí srozumitelně definované benefity, které nároční zákazníci vyhledávají, a kvůli kterým se na čerpací stanice OMV rádi vracejí. Paliva MaxxMotion přinášejí především znatelné snížení spotřeby a maximální nárůst výkonu již při první plné nádrži.“* [42]

Distributor paliva dále inzeruje zabránění znečištění a udržení motoru v čistotě, prodloužení životnosti motoru, pokles množství emisí, ochranu motoru před korozí a podporu efektivního spalování. Přičemž distributor nepřímo uvádí, že benefity z používání paliva závisí na stylu jízdy, věku vozidla a motoru. Dále udává, že vzniklé benefity se vztahují na porovnatelné palivo splňující minimální požadavky dle ČSN EN 228.

3. MOL EVO Natural 95

Paliva EVO jsou distribuována sítí čerpacích stanic MOL. Distributor paliva inzeruje: *„Paliva MOL EVO účinně vyčistí motor a zabrání jeho špinění. EVOTECH je molekula, která obsahuje prvky pro inteligentní čištění, ochranu proti tření a korozi. Formule EVOTECH umí v motoru vysledovat usazeniny prachu a špíny. Části motoru vyčistí a ochrání je před korozí. Usazeniny špíny se mohou vytvářet na klíčových částech palivového systému – na ventilech,*

tryskách a válcích – a mohou snižovat životnost a výkon motoru. Technologie EVOTECH tak dokáže účinně odhalit prach a nečistoty obsažené v motoru. “ [43]

Distributor dále uvádí, že paliva Natural EVO mohou odstranit u starších motorů typu PFI (Port Fuel Injection – motory s nepřímým vstřikováním) až 55 % usazenin a u nových motorů GDI (Gasoline Direct Injection – motory s přímým vstřikováním) až 31 %. Dle distributora byla všechna tato data získána za pomoci testů dle norem CEC F-20-98, CEC F-23-01 a CEC F-98-08 a metodologie TDG-F-13/GDI. Dále distributor udává až 99% snížení tvorby usazenin u motorů typu PFI. Přičemž nepřímě uvádí, že uváděné výsledky uvedené pro snížení tvorby usazenin se mohou lišit v závislosti na typu vozidla, jeho stavu, technice jízdy apod.

4. Shell V-POWER 95

Paliva V-POWER 95 jsou distribuována sítí čerpacích stanic Shell. Distributor paliva inzeruje: *„Shell V-POWER 95 obsahuje posílenou technologii DYNAFLEX, které účinně odstraňuje karbonové usazeniny, které při spalování paliva přirozeně vznikají. Tyto usazeniny ovlivňují chod motoru a z dlouhodobého pohledu mohou mít negativní vliv na životnost motoru a jeho součásti. Shell V-POWER obsahuje 3x více čistících a tření snižujících složek v porovnání s palivem Shell FuelSave.“ [44]*

Distributor dále nepřímě uvádí, že skutečné účinky a přínosy vlastností těchto paliv se mohou lišit v závislosti na typu a stavu vozidla, stylu jízdy a jízdních podmínkách, přičemž míra jejich projevu není zaručena.

5. Natural 95 Premium

Palivo distribuované sítí čerpací stanice KOLOC oil nemá nikde veřejně inzerované své benefity plynoucí z jeho používání, nicméně obsluhou čerpací stanice bylo sděleno, že palivo obsahuje, oproti běžnému Naturalu 95 z téže distribuce, větší množství detergentů, mazacích složek a antikorozních přísad, které by měly prodloužit životnost motoru při jejich dlouhodobějším používání. Obsluhou však nebylo již sděleno v jak velké míře by se měly zmiňované benefity projevit.

Základní paliva

V této části jsou blíže popsáni jednotliví zástupci základních automobilových benzínů zvolených pro měření.

1. OMV Natural 95

Jedná se o základní palivo distribuované sítí čerpacích stanic OMV. Distributor sice inzeruje vyšší kvalitu, ve srovnání s konkurencí, díky balíčku aditiv přinášejícímu delší životnost motoru díky ochraně před tvorbou usazenin a korozi a snížení množství výfukových plynů. Nicméně palivo je distributorem zařazeno do třídy základních paliv bez označení, že by se jednalo o prémiové palivo. Lze tedy předpokládat, že bude míra aditivace značně nižší než například u paliva z řady MaxxMotion od stejného distributora.

2. Shell FuelSave 95

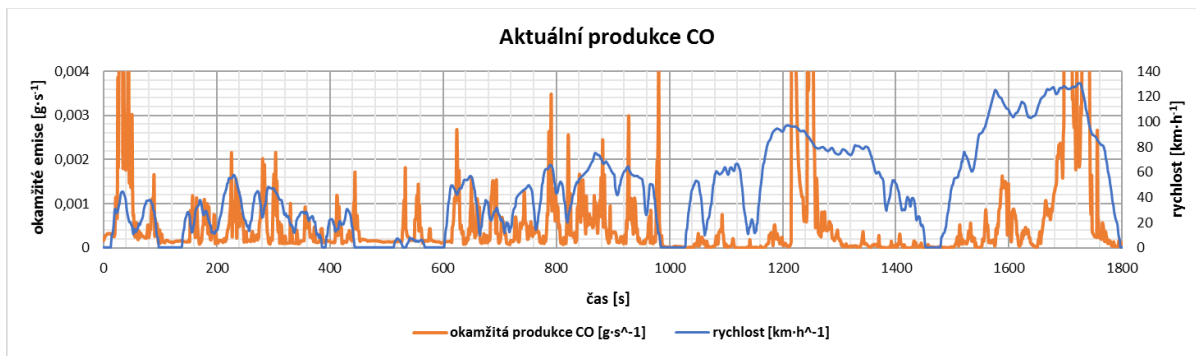
FuelSave 95 je palivo distribuované sítí čerpacích stanic Shell. Podobně jako u předchozího paliva i zde distributor inzeruje nadstandardní kvalitu za pomoci technologie DYNAFLEX, která napomáhá zajistit lepší účinnost motoru za pomoci snížení energetických ztrát. Nicméně toto palivo je distributorem taktéž zařazeno do kategorie základních paliv, přičemž sám uvádí, že paliva FuelSave 95 obsahují třikrát méně čistících a tření snižujících složek, v porovnání s prémiovými palivy V-POWER, která jsou distribuována taktéž sítí čerpacích stanic Shell.

3. Natural 95

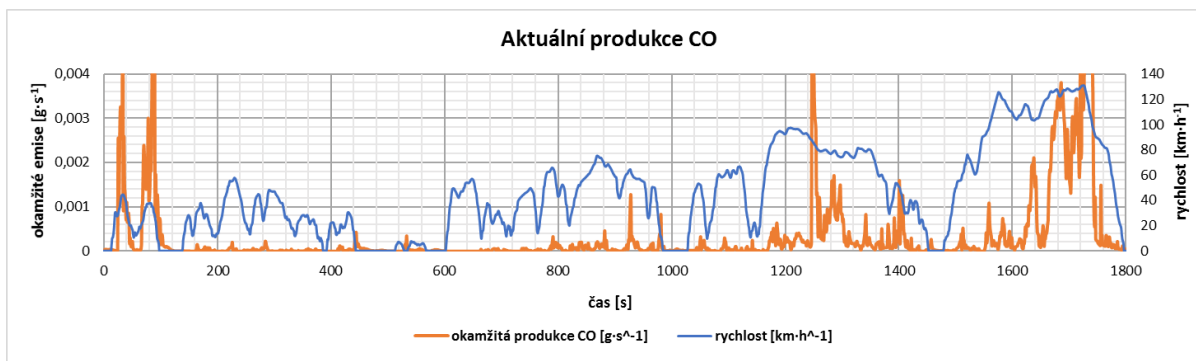
Natural 95, distribuovaný sítí čerpacích stanic KOLOC oil, nemá (stejně jako Natural 95 Premium od stejného distributora) nikde inzerovány své benefity či složení. Obsluhou čerpací stanice bylo však sděleno, že se jedná o základní automobilový benzín odpovídající normě ČSN EN 228 bez další nadstandardní aditivace distributorem.

Příloha 14: Grafy aktuální produkce emisí CO během jízdního cyklu

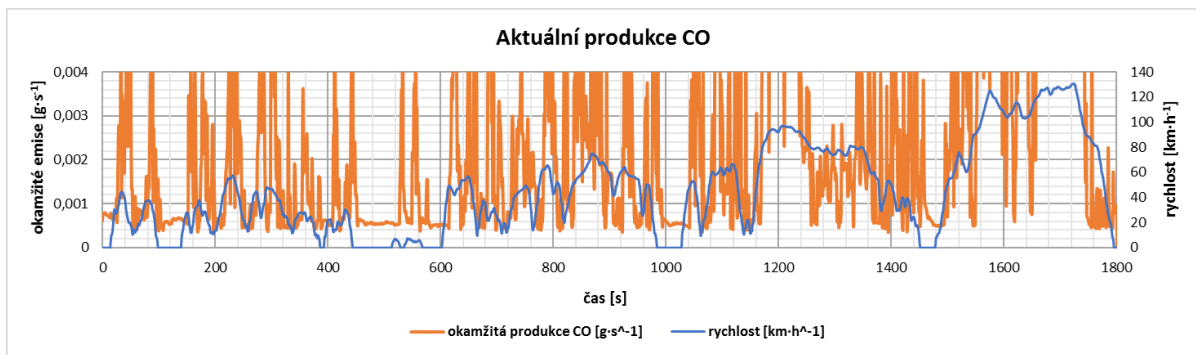
Graf 1 Aktuální produkce CO – EFECTA 95 [Autor]



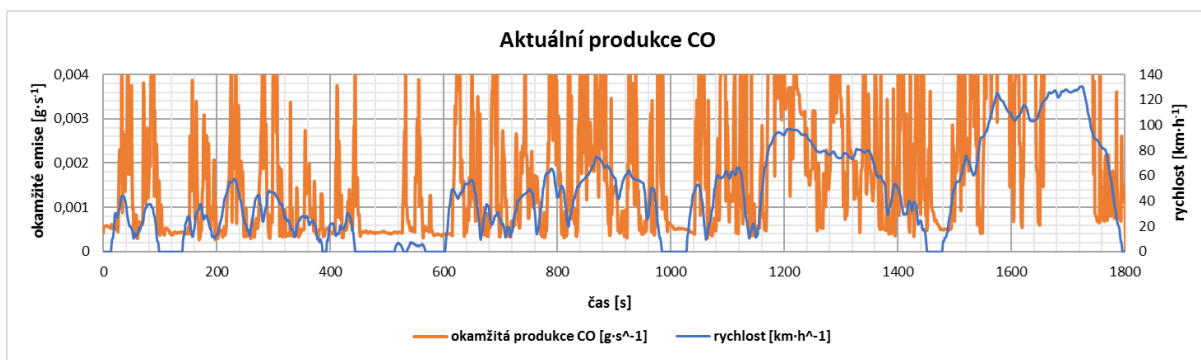
Graf 2 Aktuální produkce CO – MOL EVO Natural 95 [Autor]



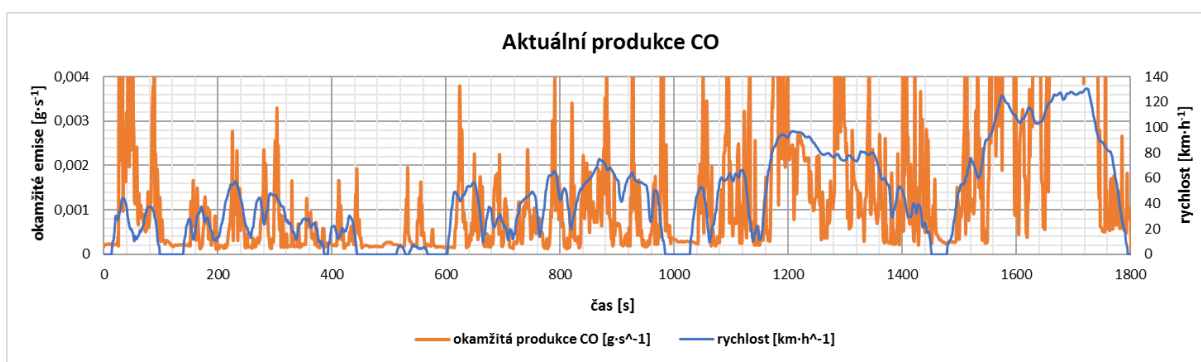
Graf 3 Aktuální produkce CO – Natural 95 [Autor]



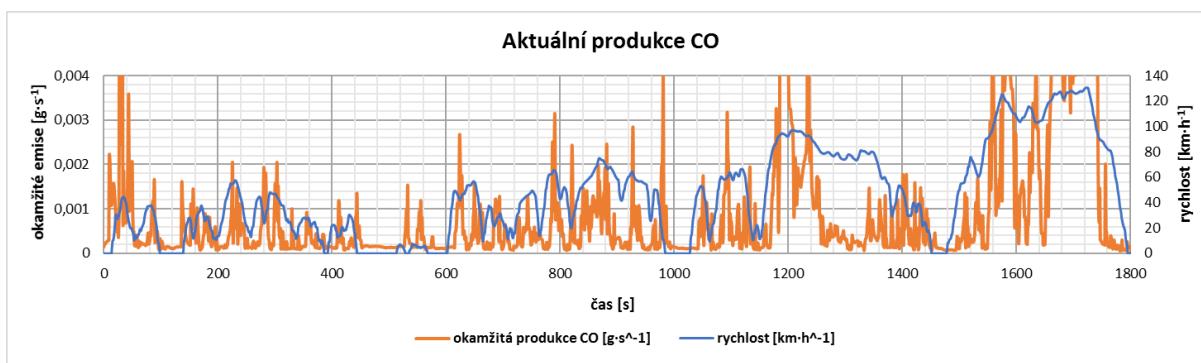
Graf 4 Aktuální produkce CO – Natural 95 Premium [Autor]



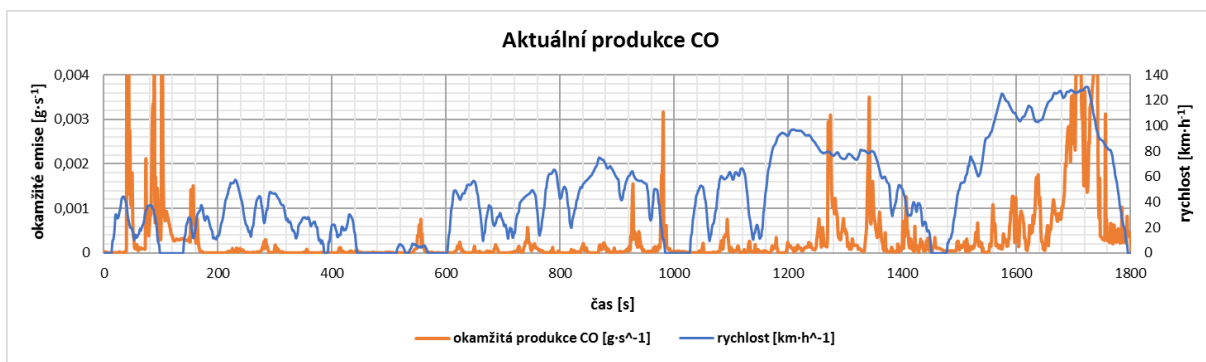
Graf 5 Aktuální produkce CO – OMV MaxxMotion 95 [Autor]



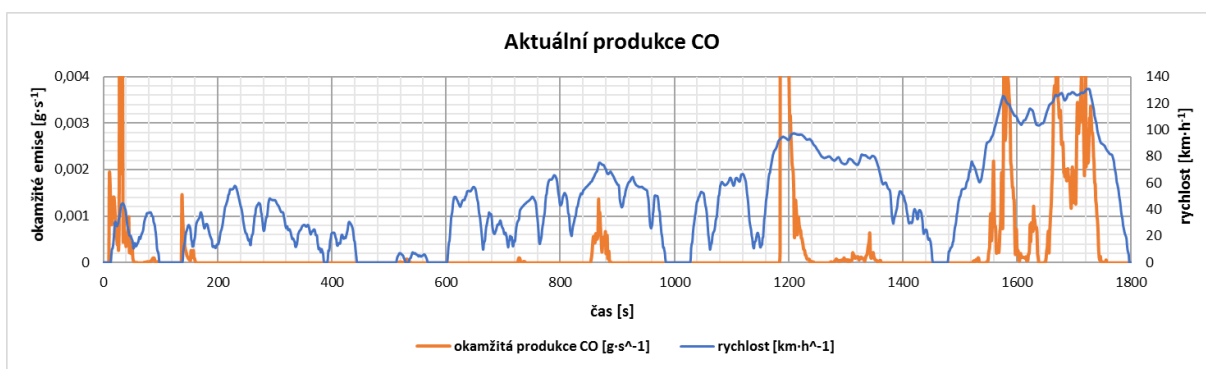
Graf 6 Aktuální produkce CO – OMV Natural 95 [Autor]



Graf 7 Aktuální produkce CO – Shell FuelSave 95 [Autor]

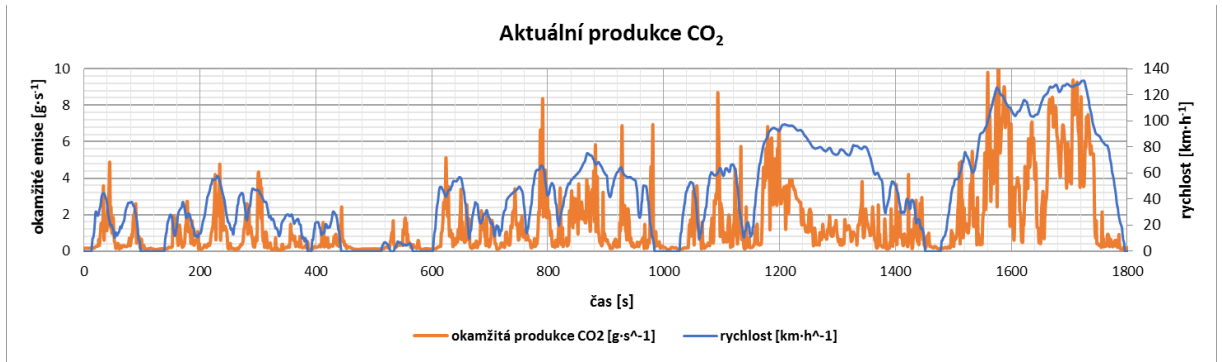


Graf 8 Aktuální produkce CO – Shell V-POWER 95 [Autor]

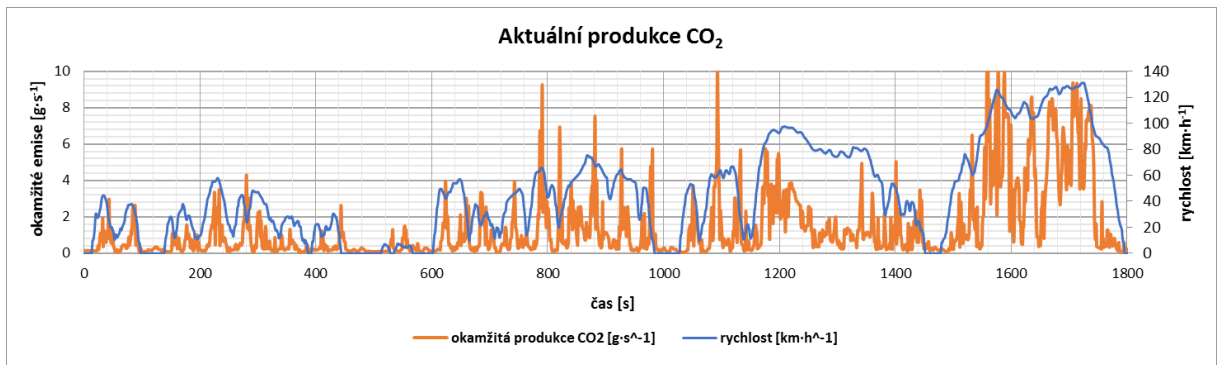


Příloha 15: Grafy aktuální produkce emisí CO₂ během jízdního cyklu

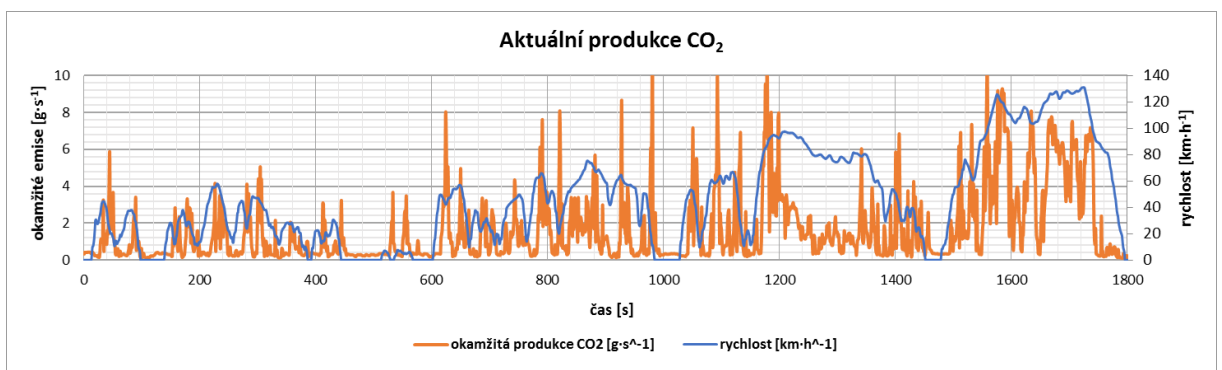
Graf 1 Aktuální produkce CO₂ – EFECTA 95 [Autor]



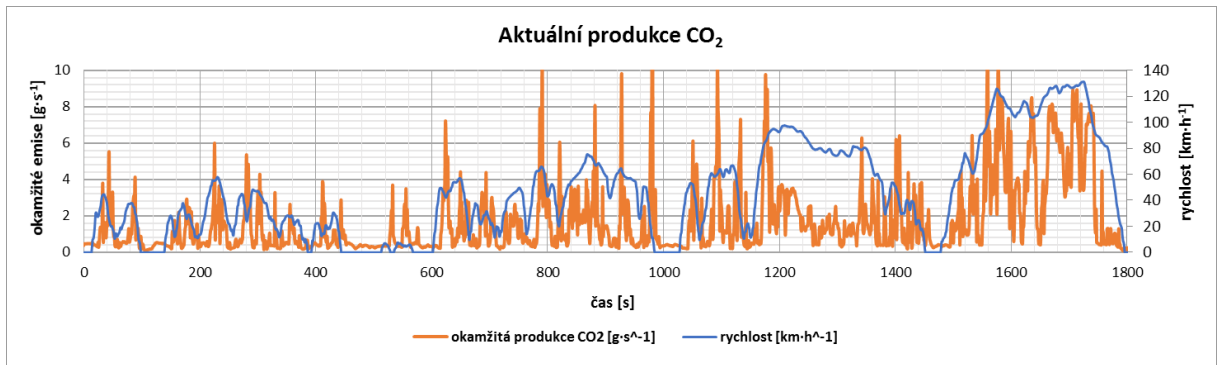
Graf 2 Aktuální produkce CO₂ – MOL EVO Natural 95 [Autor]



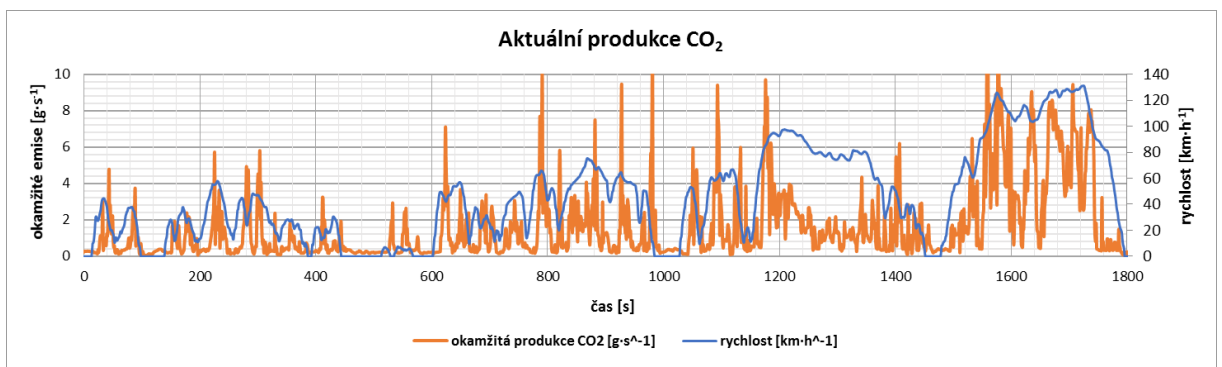
Graf 3 Aktuální produkce CO₂ – Natural 95 [Autor]



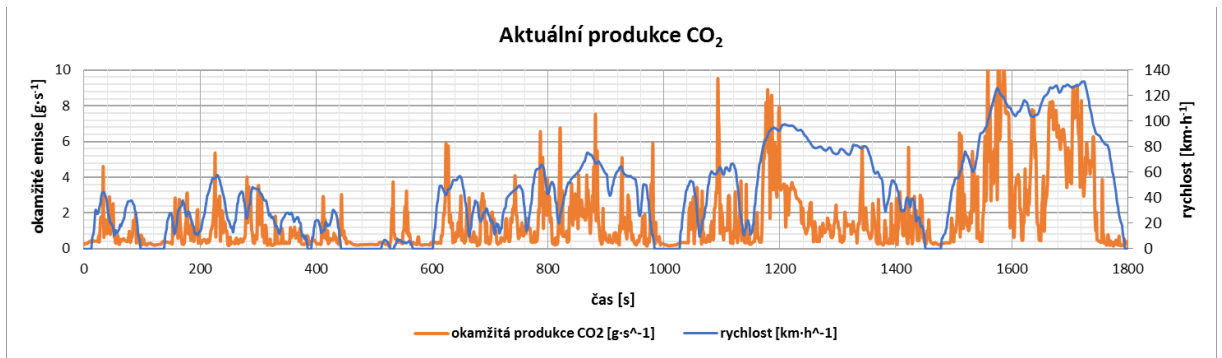
Graf 4 Aktuální produkce CO₂ – Natural 95 Premium [Autor]



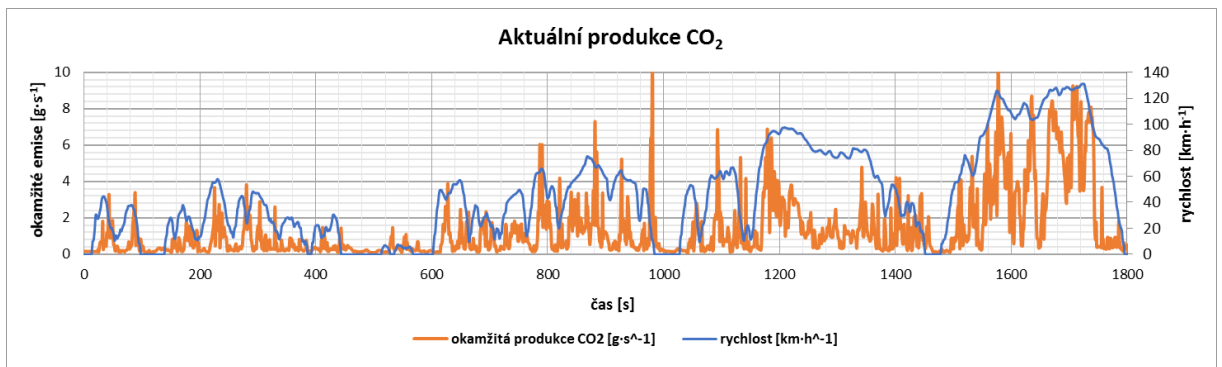
Graf 5 Aktuální produkce CO₂ – OMV MaxxMotion 95 [Autor]



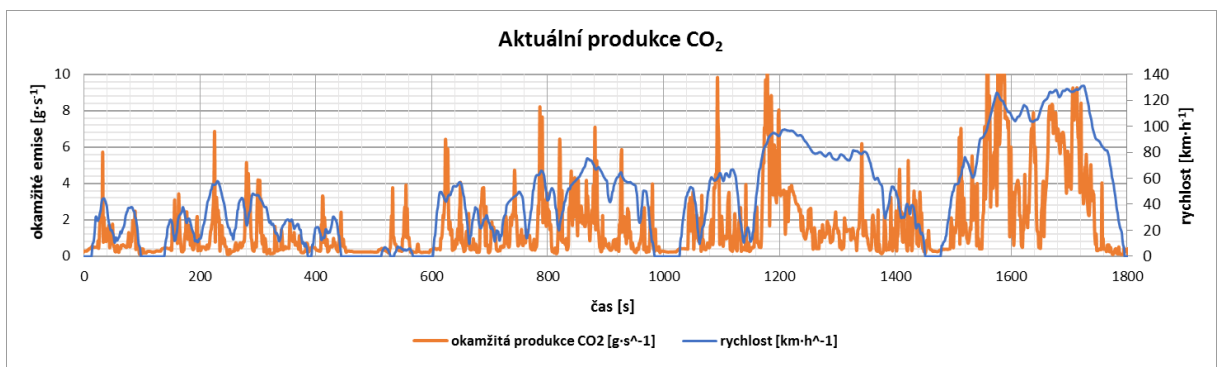
Graf 6 Aktuální produkce CO₂ – OMV Natural 95 [Autor]



Graf 7 Aktuální produkce CO₂ –Shell FuelSave 95 [Autor]

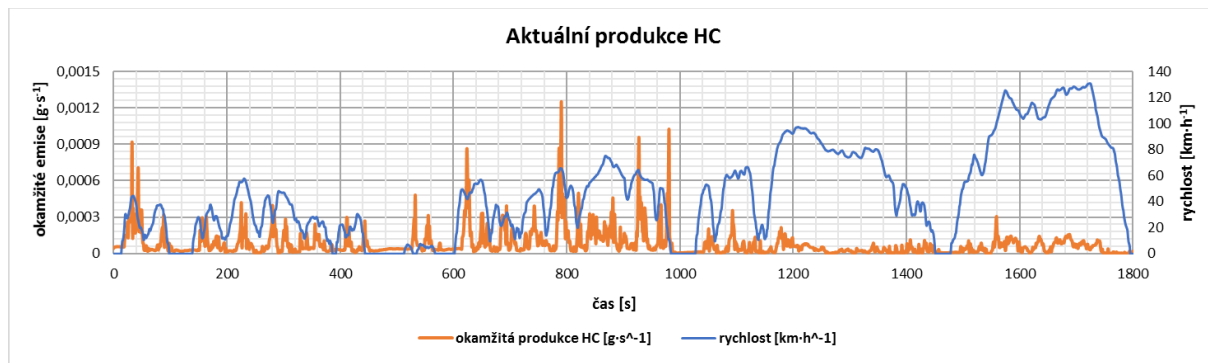


Graf 8 Aktuální produkce CO₂ –Shell V-POWER 95 [Autor]

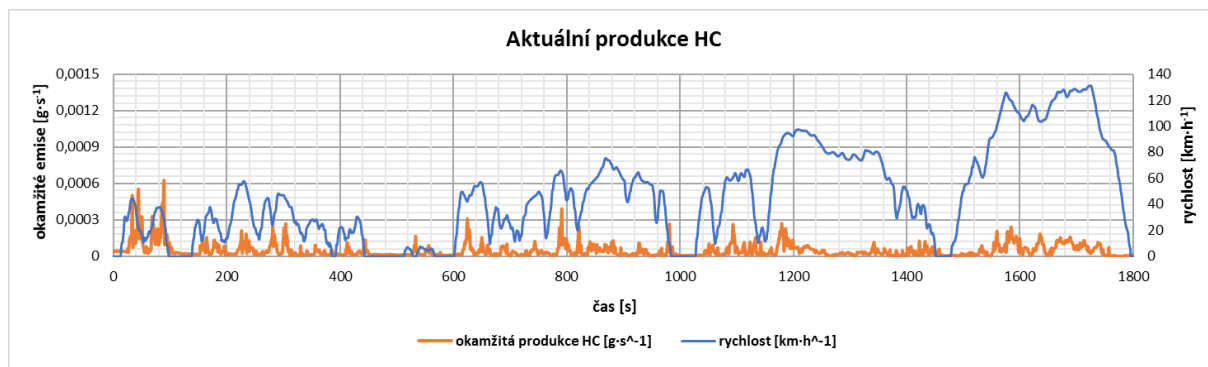


Příloha 16: Grafy aktuální produkce emisí HC během jízdního cyklu

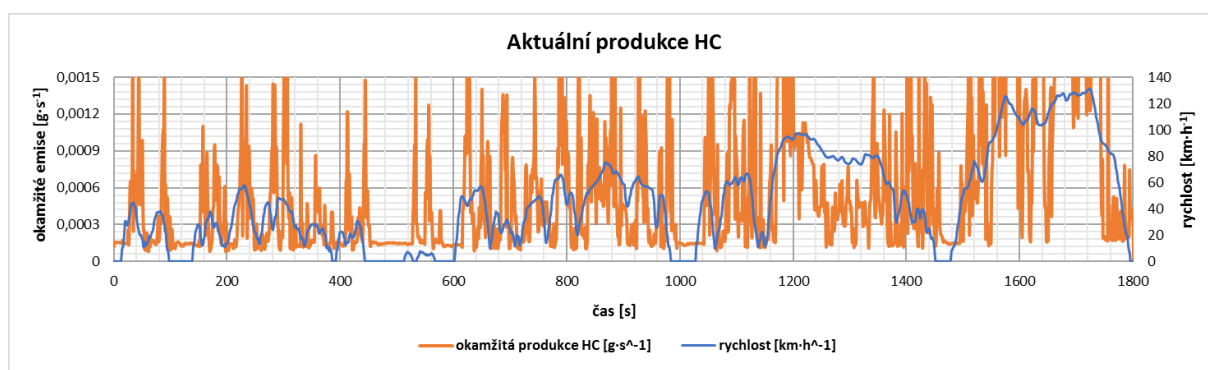
Graf 1 Aktuální produkce HC – EFACTA 95 [Autor]



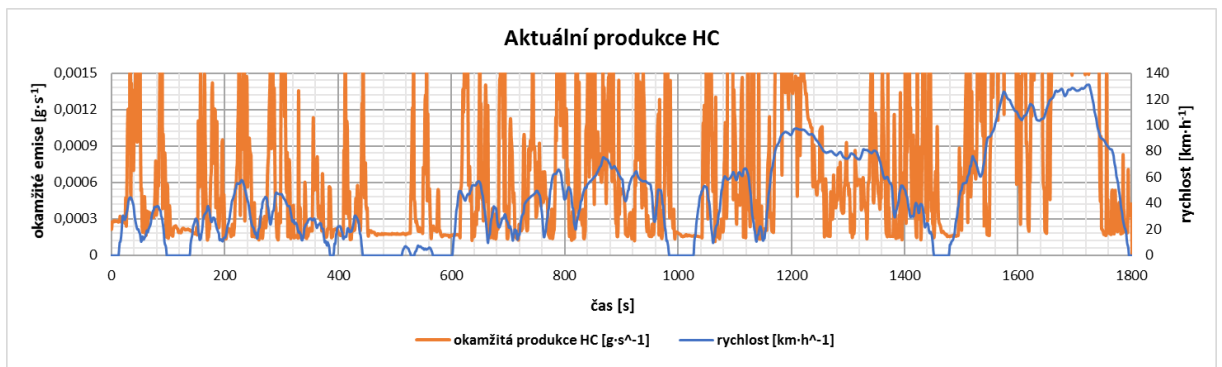
Graf 2 Aktuální produkce HC – MOL EVO Natural 95 [Autor]



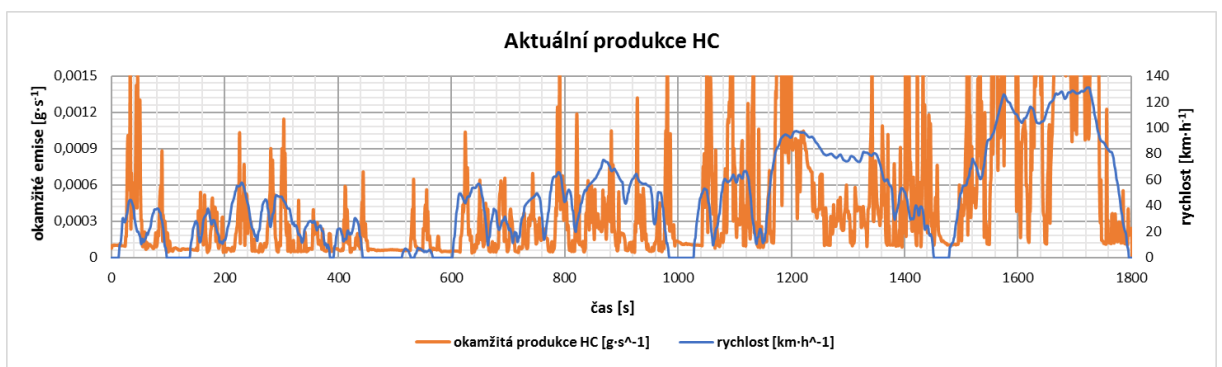
Graf 3 Aktuální produkce HC – Natural 95 [Autor]



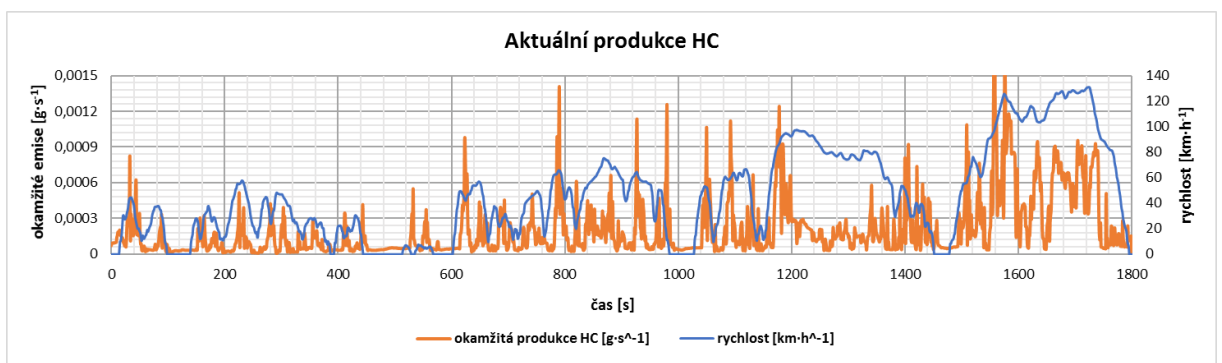
Graf 4 Aktuální produkce HC – Natural 95 Premium [Autor]



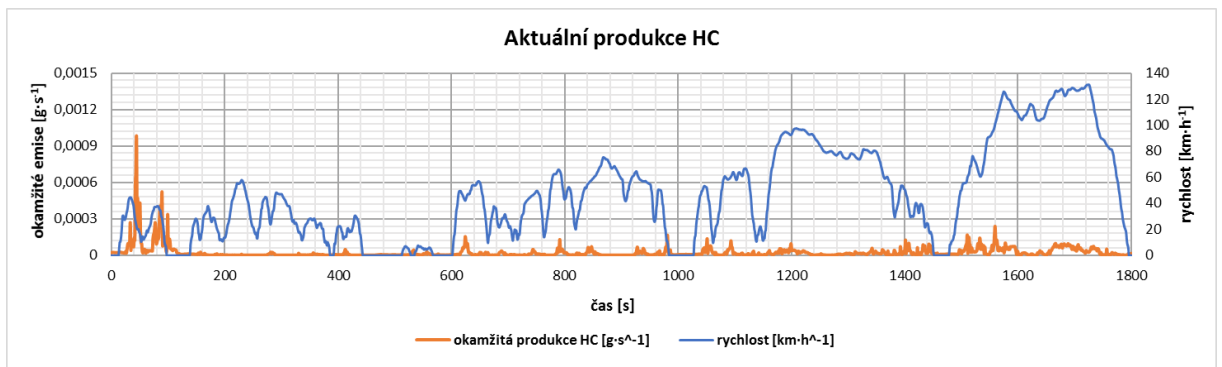
Graf 5 Aktuální produkce HC – OMV MaxxMotion 95 [Autor]



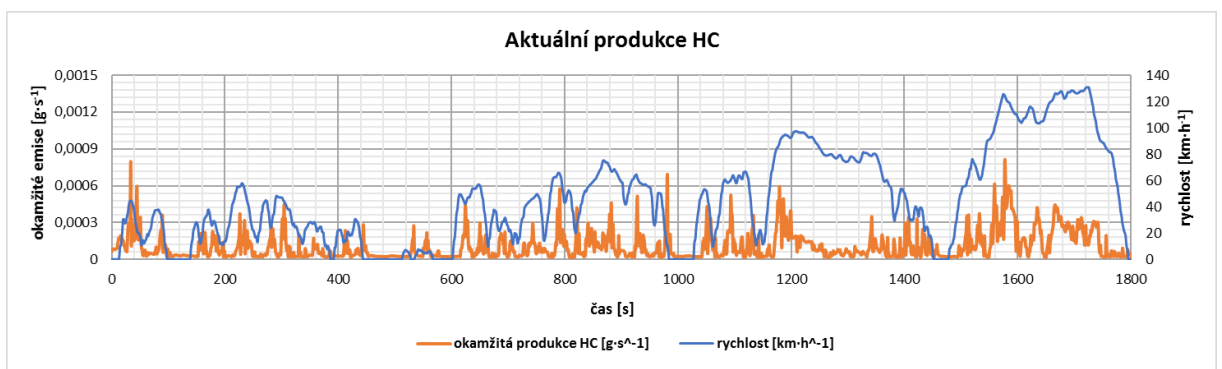
Graf 6 Aktuální produkce HC – OMV Natural 95 [Autor]



Graf 7 Aktuální produkce HC – Shell FuelSave 95 [Autor]

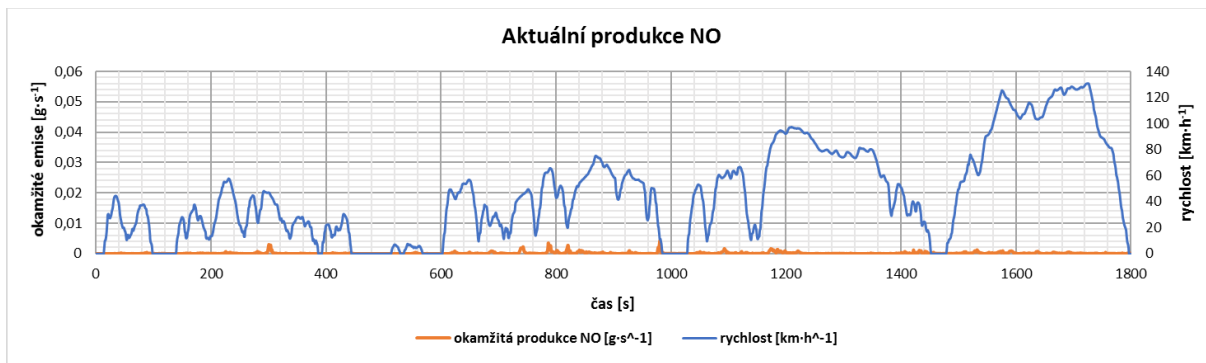


Graf 8 Aktuální produkce HC – Shell V-POWER 95 [Autor]

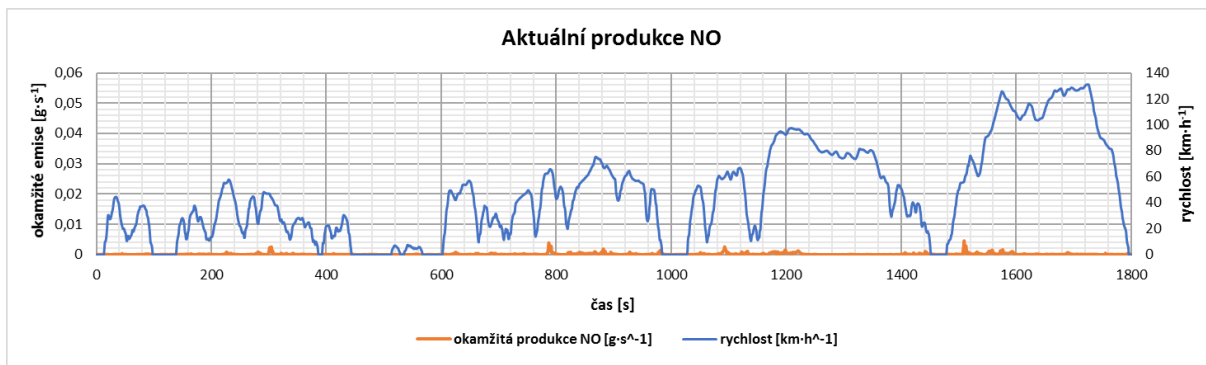


Příloha 17: Grafy aktuální produkce emisí NO během jízdního cyklu

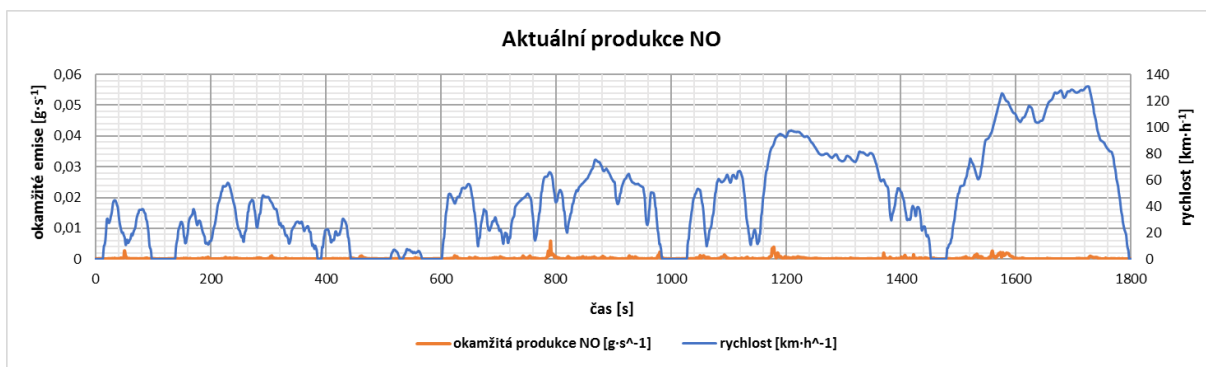
Graf 1 Aktuální produkce NO – EFACTA 95 [Autor]



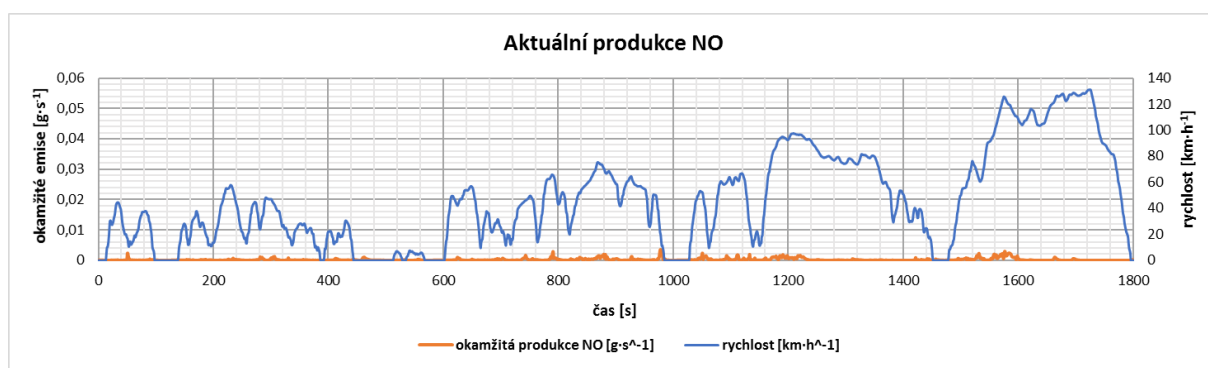
Graf 2 Aktuální produkce NO – MOL EVO Natural 95 [Autor]



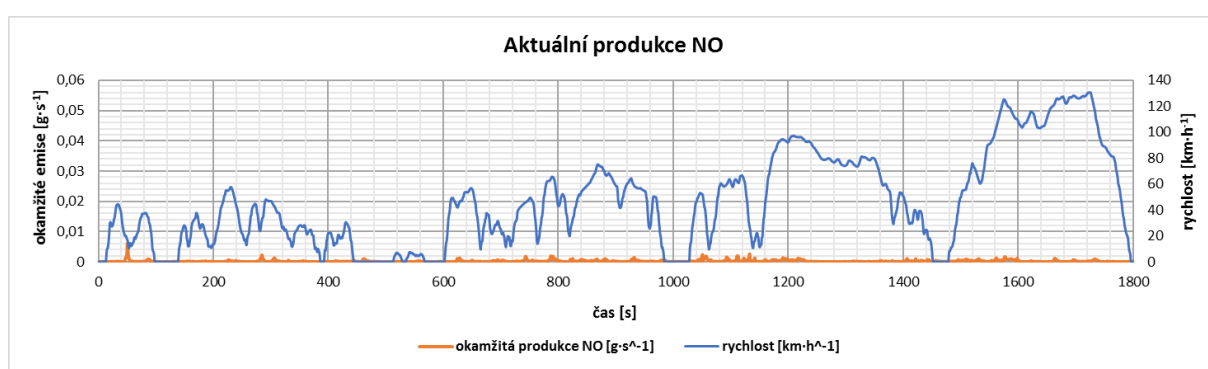
Graf 3 Aktuální produkce NO – Natural 95 [Autor]



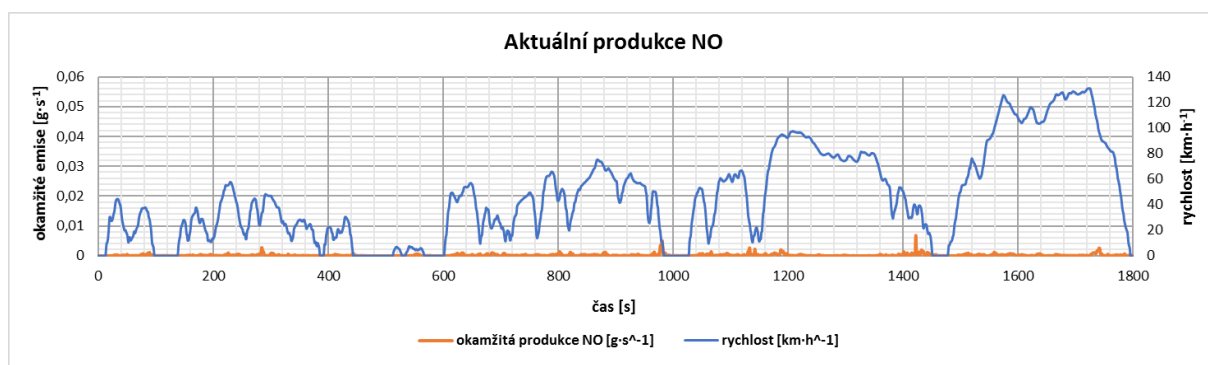
Graf 4 Aktuální produkce NO – Natural 95 Premium [Autor]



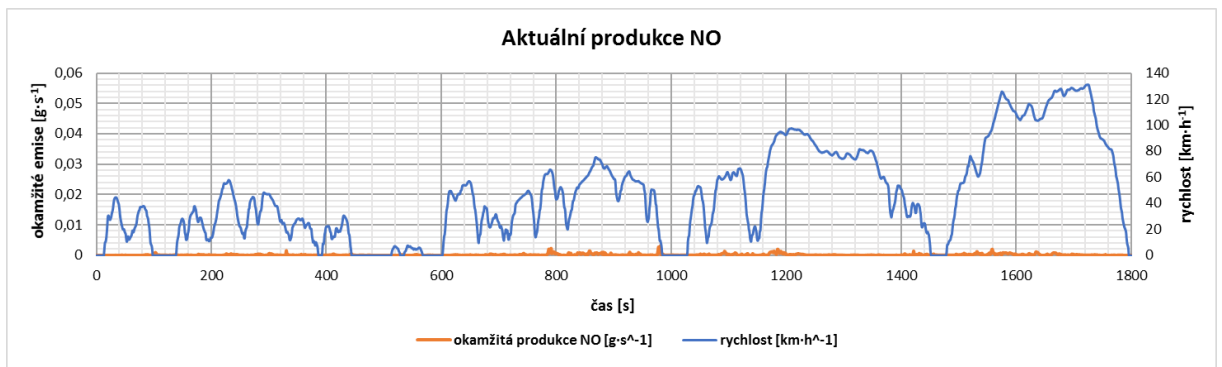
Graf 5 Aktuální produkce NO – OMV MaxxMotion 95 [Autor]



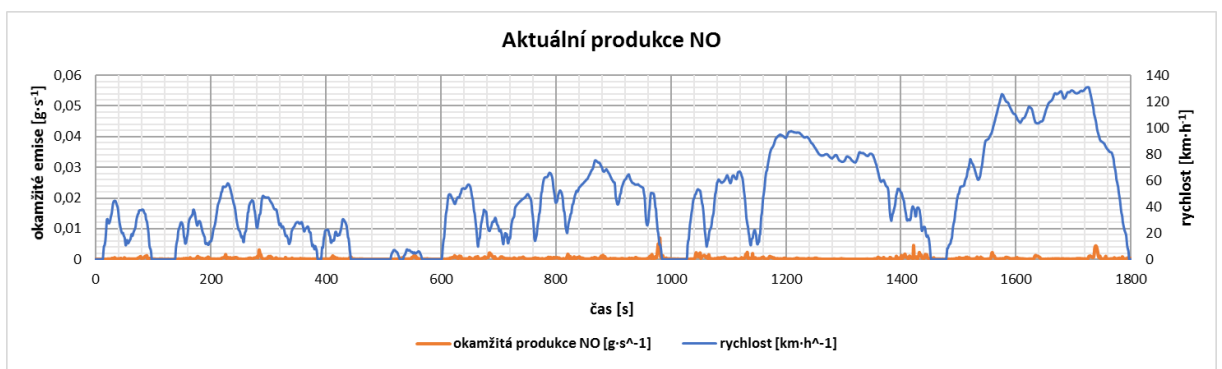
Graf 6 Aktuální produkce NO – OMV Natural 95 [Autor]



Graf 7 Aktuální produkce NO – Shell FuelSave 95 [Autor]

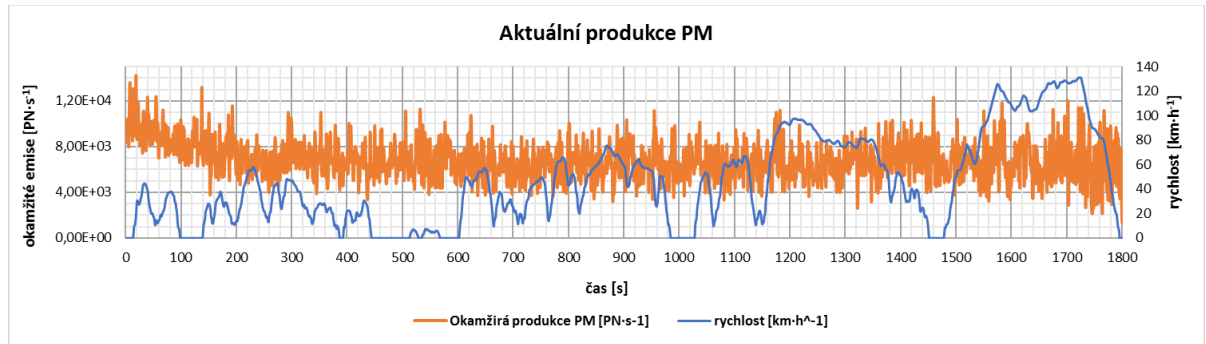


Graf 8 Aktuální produkce NO – Shell V-POWER 95 [Autor]

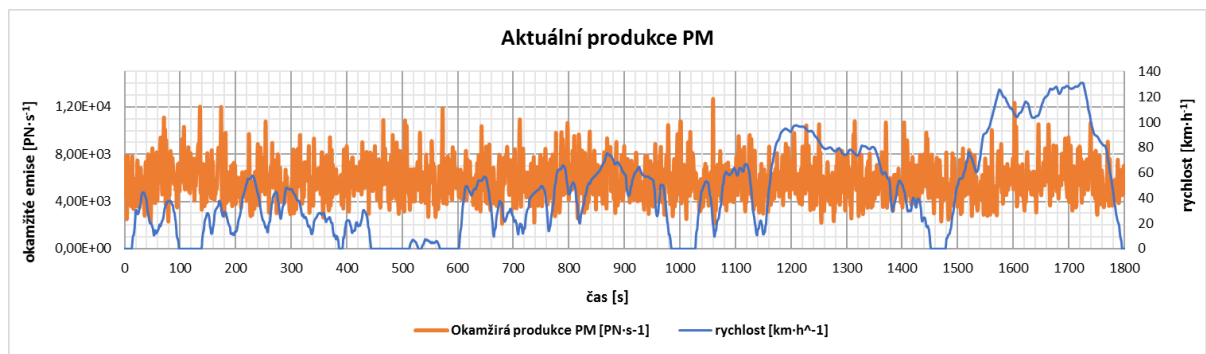


Příloha 18: Grafy aktuální produkce emisí PM během jízdního cyklu

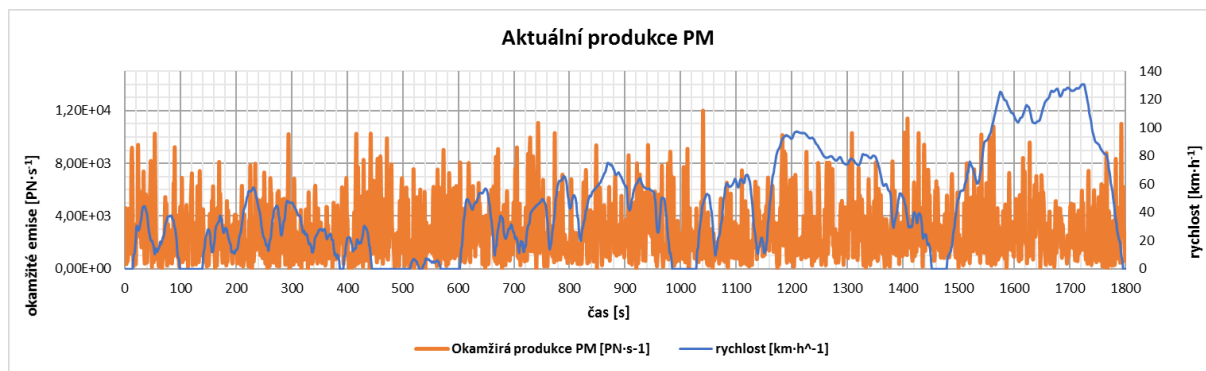
Graf 1 Aktuální produkce PM – EFACTA 95 [Autor]



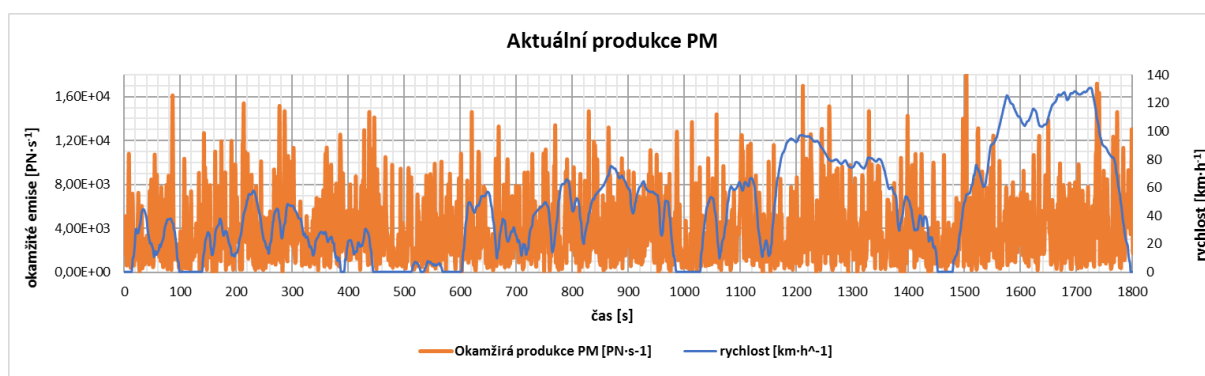
Graf 2 Aktuální produkce PM – MOL EVO Natural 95 [Autor]



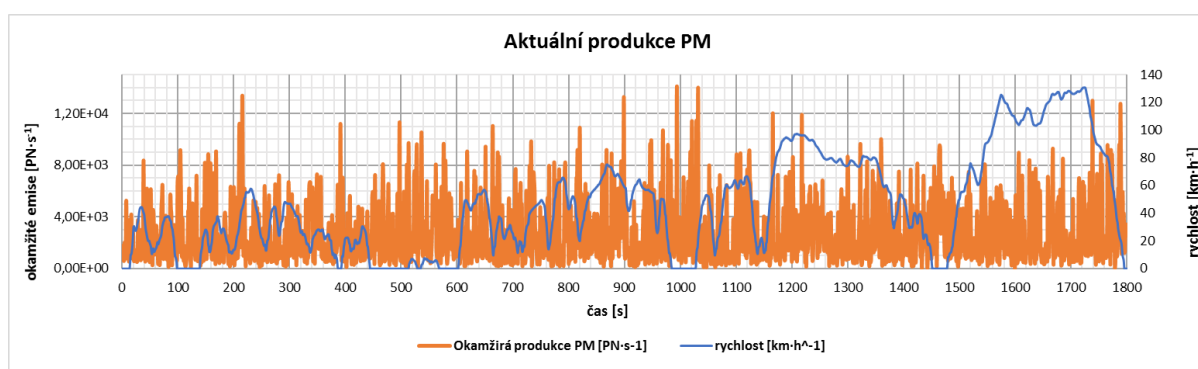
Graf 3 Aktuální produkce PM – Natural 95 [Autor]



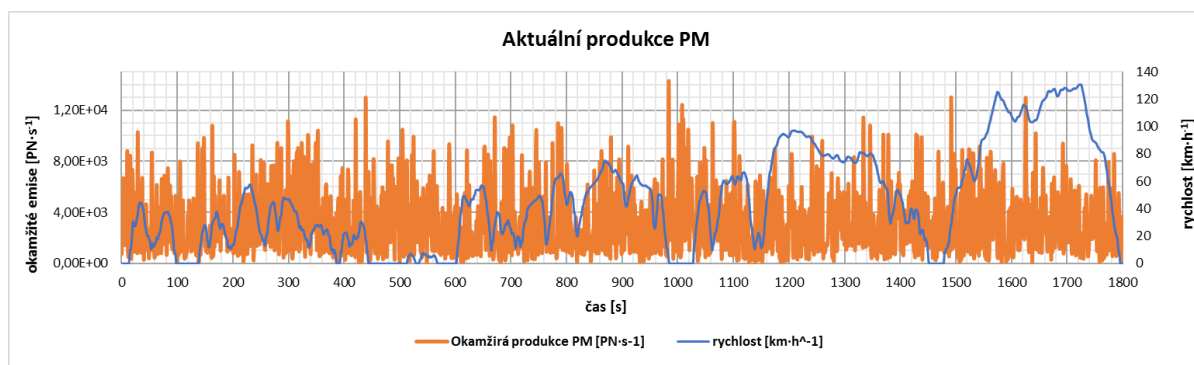
Graf 4 Aktuální produkce PM – Natural 95 Premium [Autor]



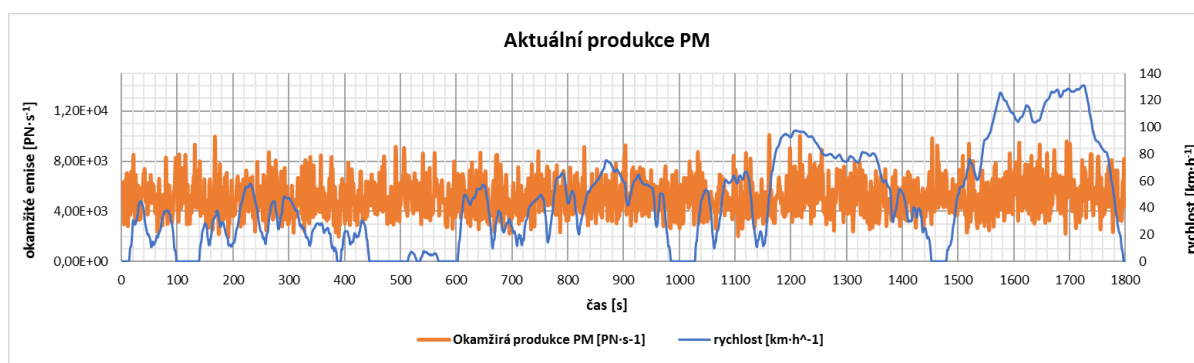
Graf 5 Aktuální produkce PM – OMV MaxxMotion 95 [Autor]



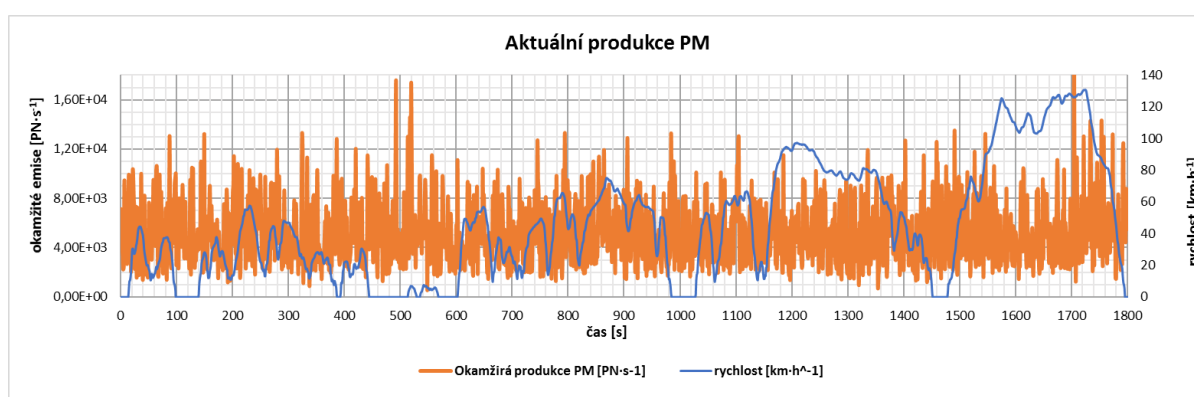
Graf 6 Aktuální produkce PM – OMV Natural 95 [Autor]



Graf 7 Aktuální produkce PM – Shell FuelSave 95 [Autor]

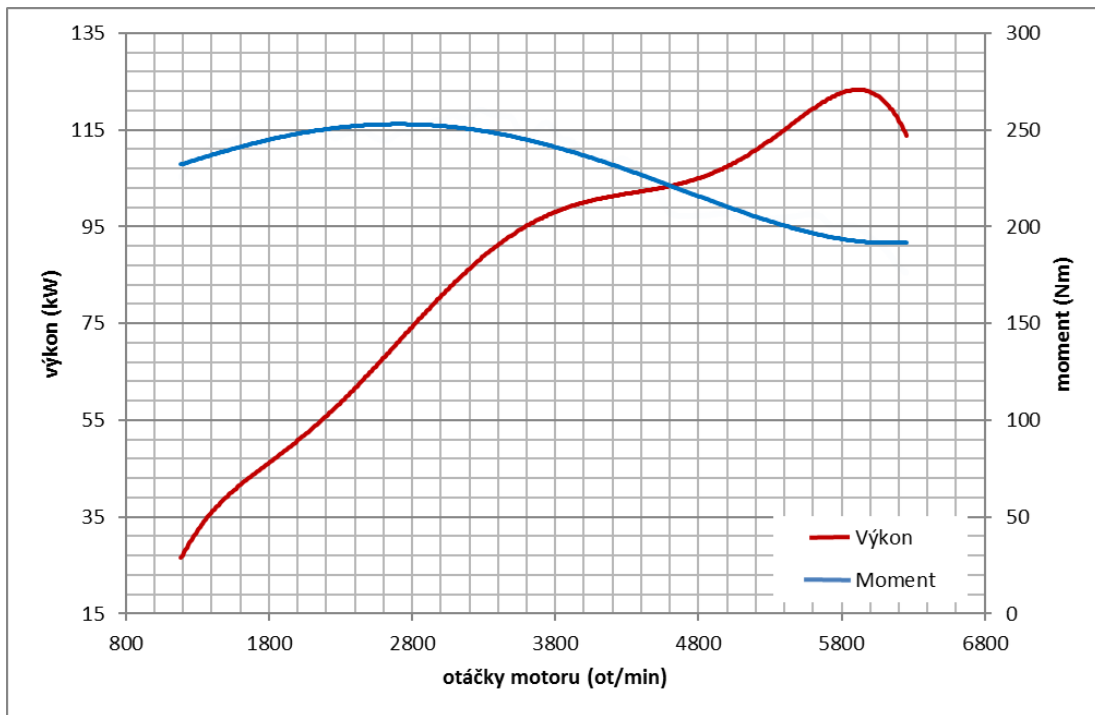


Graf 8 Aktuální produkce PM – Shell V-POWER 95 [Autor]

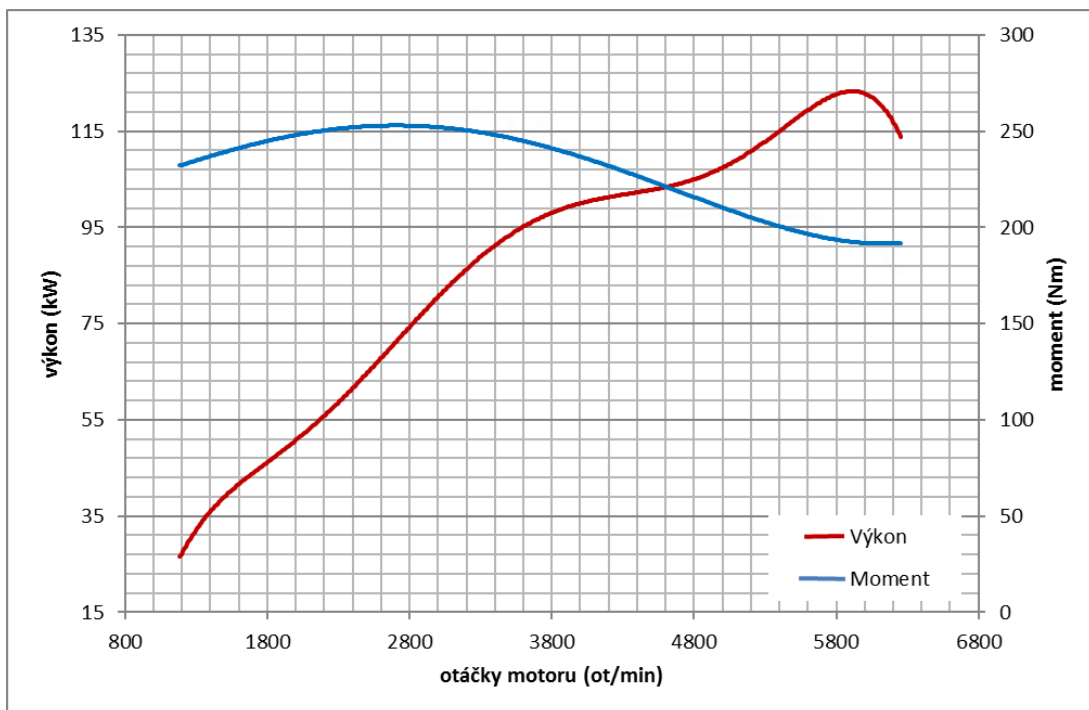


Příloha 19: Vnější otáčkové charakteristiky

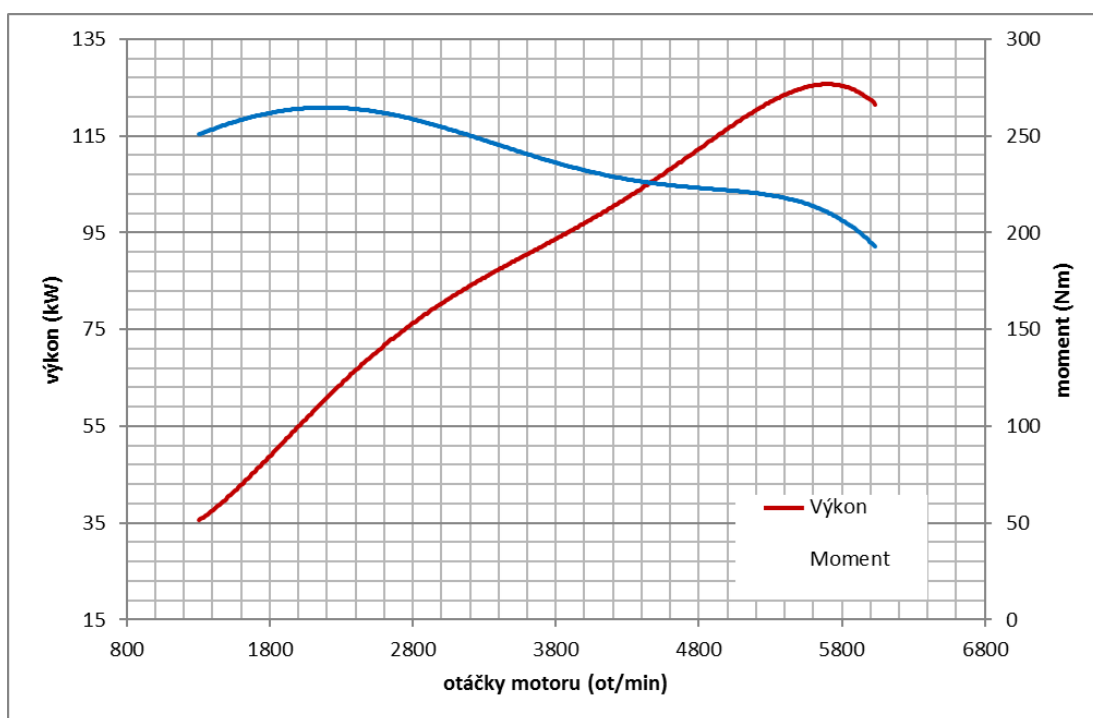
Graf 1 Vnější otáčková charakteristika – EFACTA 95 [Autor]



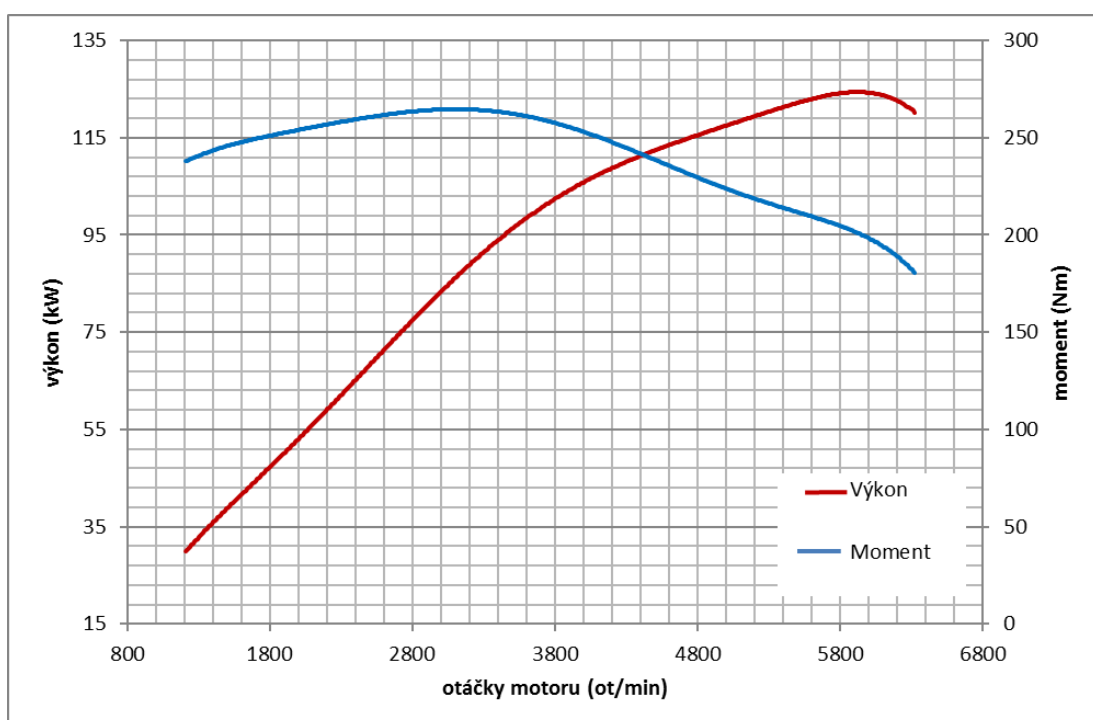
Graf 2 Vnější otáčková charakteristika – MOL EVO Natural 95 [Autor]



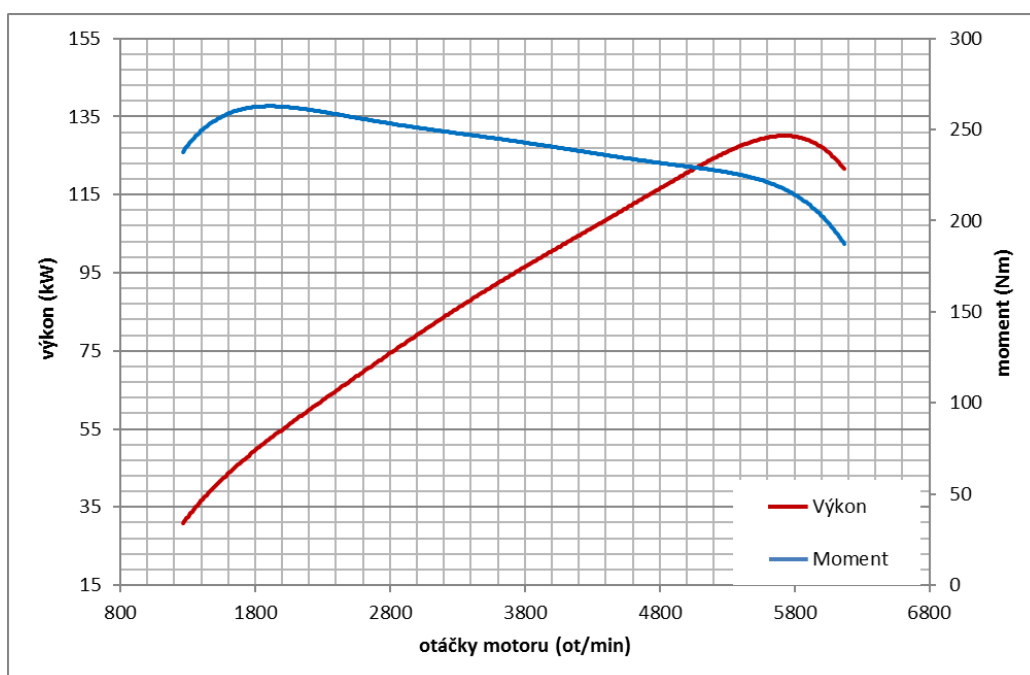
Graf 3 Vnější otáčková charakteristika – Natural 95 [Autor]



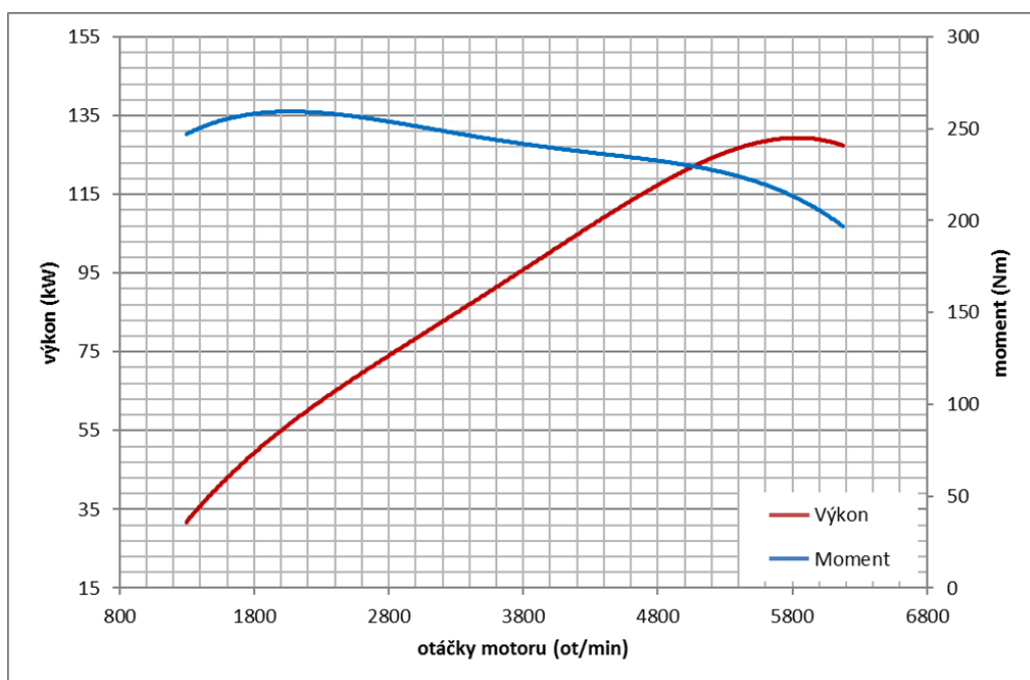
Graf 4 Vnější otáčková charakteristika – Natural 95 Premium [Autor]



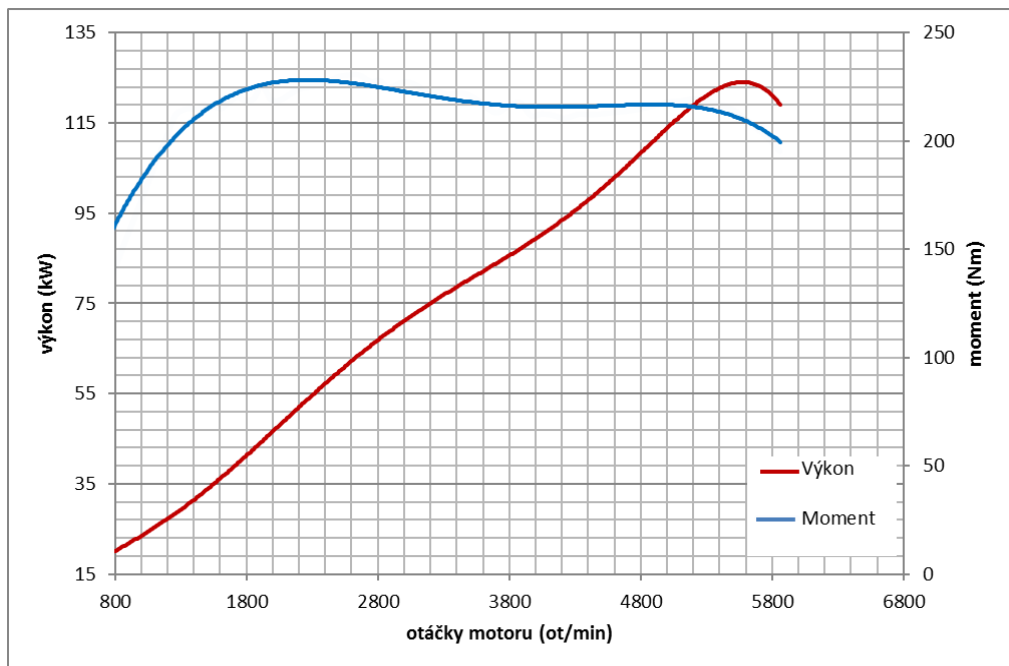
Graf 5 Vnější otáčková charakteristika – OMV MaxxMotion 95 [Autor]



Graf 6 Vnější otáčková charakteristika – OMV Natural 95 [Autor]



Graf 7 Vnější otáčková charakteristika – Shell FuelSave 95 [Autor]



Graf 8 Vnější otáčková charakteristika – Shell V-POWER 95 [Autor]

