

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Vliv technického stavu součástí spalovacího motoru
na jeho provozní parametry**

Diplomová práce

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

Vypracoval: Bc. Eduard Wellner

PRAHA 2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Eduard Wellner

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vliv technického stavu součástí spalovacího motoru na jeho provozní parametry

Název anglicky

Effect of technical condition of combustion engine on its operational parameters

Cíle práce

Na základě studia odborné literatury, vypracovat literární rešerši zaměřenou na měření emisí spalovacích motorů. Experimentálně ověřit vliv technického stavu vybraných součástí spalovacího motoru na provozní parametry zvoleného vozidla.

Metodika

- 1) Úvod
- 2) Rozbor současného stavu (popis spalovacího motoru, popis a měření provozních parametrů – výkon, emise, spotřeba paliva)
- 3) Cíl práce
- 4) Metodika
- 5) Výsledky (experimentální ověření vlivu technického stavu součástí motoru, ovlivňujících produkci škodlivých emisí, na provozní parametry vozidla)
- 6) Závěr

Doporučený rozsah práce

50-60

Klíčová slova

spalovací motor, emise, technický stav

Doporučené zdroje informací

HALDERMAN, J D. – MITCHELL, C D. *Diagnosis and troubleshooting of automotive, electrical, electronic, and computer systems*. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall, 2006. ISBN 0-13-113327-6.

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

LINDER, J. – HALDERMAN, J D. *Automotive fuel and emissions control systems James D. Halderman, Jim Linder*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, 2006. ISBN 013110442.

Předpisy, normy a periodika.

VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel : výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, říditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy*. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Čedík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 6. 11. 2018

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 3. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 06. 03. 2019

PROHLÁŠENÍ O AUTORSTVÍ

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Vliv technického stavu součástí spalovacího motoru na jeho provozní parametry 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.“

dne.....

podpis studenta.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Jakubu Čedíkovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost a cenné rady, jenž mi pomohly při zpracování této práce. Dále děkuji panu Ing. Petru Jindrovi, Ph.D. který mi umožnil využít válcovou zkušebnu a asistoval při měření jízdních cyklů.

Bc. Eduard Wellner

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá vlivem technického stavu součástí spalovacího motoru na jeho provozní parametry. Práce je rozdělena do čtyř částí. První část pojednává o principu funkce spalovacích motorů, dále o typech emisí produkovaných spalovacími motory a v neposlední řadě o systémech, které mají vzniku škodlivých emisí předcházet či jejich vznikající množství alespoň minimalizovat. Druhá část stanovuje obecný a konkrétní cíl této diplomové práce. Konkrétní cíl je zde popsán několika body, pomocí kterých bylo tohoto cíle dosaženo. Třetí část popisuje metodiku, která byla použita pro měření emisí a výkonu zkoumaného motoru automobilu Suzuki Swift 1.0, včetně popisu veškerého použitého technického vybavení a technických údajů. Čtvrtá část popisuje výsledky měření emisí a výkonu. Tyto výsledky jsou detailně zpracovány a rozvedeny pomocí grafů a tabulek s naměřenými hodnotami.

Klíčová slova: spalovací motor, emise, technický stav

Effect of technical condition of combustion engine on its operational parameters

Summary: This thesis is dealing with the effect of the technical condition of components of the internal combustion engine on its operational parameters. The thesis is divided into four parts. The first part deals with the principle of the operation of internal combustion engines, the types of emissions produced by internal combustion engines and systems that should prevent the production of harmful emissions or at least minimize their quantity. The second part sets out the general and specific objective of this diploma thesis. The specific objective is described by several points by which this objective has been achieved. The third part describes the methodology used to measure emissions and the performance of the Suzuki Swift 1.0 engine, including a description of all the technical equipment and technical datasheets. The fourth part describes the results of emission and performance measurements. These results are dealt with by graphs and tables with measured values.

Key words: internal combustion engine, exhaust emissions, technical condition

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	2
2.1	Popis spalovacího motoru	2
2.2	Rozdělení podle způsobu přeměny tepelné energie na mechanickou práci	2
2.3	Rozdělení podle způsobu přívodu tepelné energie	2
2.4	Rozdělení podle typu pohybu pístu	3
2.5	Rozdělení podle skupenství použitého paliva	4
2.6	Rozdělení podle počtu dob v pracovním cyklu	5
2.6.1	<i>Dvoudobý motor</i>	<i>5</i>
2.6.2	<i>Čtyřdobý motor</i>	<i>7</i>
2.7	Rozdělení podle způsobu plnění válce směsí	8
2.8	Rozdělení podle způsobu zažehnutí směsi	9
2.9	Rozdělení podle uspořádání a počtu válců	10
2.10	Rozdělení podle typu chlazení motoru	13
2.10.1	<i>Kapalinou chlazené motory</i>	<i>13</i>
2.10.2	<i>Vzduchem chlazené motory</i>	<i>14</i>
2.11	Rozdělení podle použitého rozvodového mechanismu	15
2.11.1	<i>Rozvod SV – Side Valves</i>	<i>15</i>
2.11.2	<i>Rozvod OHV – Over Head Valve</i>	<i>16</i>
2.11.3	<i>Rozvod OHC – Over Head Camshaft</i>	<i>17</i>
2.11.4	<i>Rozvod DOHC – Double Over Head Camshaft</i>	<i>18</i>
2.11.5	<i>Desmodromický rozvod</i>	<i>19</i>

2.12	Složení emisí výfukových plynů	19
2.12.1	<i>Oxid uhličitý (CO₂)</i>	20
2.12.2	<i>Oxid uhelnatý (CO)</i>	21
2.12.3	<i>Oxidy dusíku (NO_x)</i>	21
2.12.4	<i>Nespálené uhlovodíky (HC)</i>	22
2.12.5	<i>Pevné částice (PM)</i>	22
2.13	Snižování emisí výfukových plynů	23
2.14	Opatření před motorem	23
2.15	Opatření u motoru.....	24
2.15.1	<i>Změna kompresního poměru</i>	24
2.15.2	<i>Recirkulace výfukových plynů</i>	24
2.16	Opatření za motorem	25
2.16.1	<i>Katalyzátor</i>	25
2.16.2	<i>Lambda sonda</i>	26
2.16.3	<i>DPF filtr – Filtr pevných částic (Diesel Particulate Filter)</i>	27
2.16.4	<i>SCR – Selektivní katalytická redukce (Selective Catalytic Reduction)</i>	28
3	CÍL PRÁCE	30
4	METODIKA	31
4.1	Popis měření emisí	31
4.1.1	<i>Jízdní cyklus CADC</i>	33
4.2	Popis měření výkonu motoru	34
4.3	Zařízení, přístroje a vybavení použité pro provedení experimentu	35
4.3.1	<i>Automobil Suzuki Swift GL 1.0 – 1990</i>	35
4.3.2	<i>Analyzátor výfukových plynů BrainBee AGS – 200</i>	36

4.3.3	<i>Snímač hmotnostního průtoku vzduchu Sierra Fast-Flo 620S</i>	<i>37</i>
4.3.4	<i>A/D převodník LabJack U6.....</i>	<i>38</i>
4.3.5	<i>Mobilní diagnostický přístroj POWER-TESTER</i>	<i>39</i>
4.3.6	<i>Válcová zkušebna.....</i>	<i>40</i>
5	VÝSLEDKY	42
5.1	Výsledky měření emisí.....	42
5.2	Výsledky měření výkonu.....	48
6	ZÁVĚR.....	50
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
8	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	54
9	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK.....	56
10	SEZNAM ZKRATEK	57

1 ÚVOD

V této diplomové práci s názvem „Vliv technického stavu součástí spalovacího motoru na jeho provozní parametry“ je text rozdělen do čtyř kapitol. Struktura práce je sestavena tak, aby odpovídala zadání diplomové práce.

Úvodní část této diplomové práce je zaměřena na důkladný rozbor funkce spalovacího motoru. Postupně jsou zde popsány jednotlivé typy spalovacích motorů, které jsou rozděleny do kategorií dle jejich typu a konstrukce. Následuje popis jednotlivých typů škodlivých emisí, které spalovací motory produkují, společně s metodami, jejichž cílem je omezení vzniku těchto škodlivých emisí, či přímo zabránění jejich vzniku.

Druhá část práce popisuje a definuje samotný cíl této diplomové práce. Ten je definován ve dvou krocích. Prvním krokem je stanovení obecného cíle práce, druhým krokem je potom detailní popis konkrétního cíle, kterému se tato diplomová práce věnuje a jenž je detailně rozveden v několika bodech.

Třetí část práce se zabývá metodikou, pomocí které bylo dosaženo konkrétních výsledků. Je zde popsán způsob, kterým byla prováděna jednotlivá měření společně s definicí podmínek, za kterých byla tato měření provedena. Dále je zde úplný výčet veškerého použitého technického vybavení, společně s technickými údaji použitých přístrojů a jejich detailním popisem.

Čtvrtá a zároveň poslední kapitola popisuje výsledky všech měření. Ty jsou zde prezentovány pomocí tabulek s výslednými hodnotami, a také pomocí grafických průběhů, popisujících změnu produkce jednotlivých složek emisí či změnu výkonu a točivého momentu zkoumaného vozidla.

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU

2.1 Popis spalovacího motoru

Spalovací motor je tepelný stroj, který spalováním paliva získává tepelnou energii a využitím vhodného plynného média ji převádí na mechanickou práci. Energie plynného média je využívána buď jako energie potenciální (tlak spalin) u pístových spalovacích motorů, nebo energie kinetická (rychlost proudu spalin) u spalovacích turbín. [12]

2.2 Rozdělení podle způsobu přeměny tepelné energie na mechanickou práci

Dle způsobu přeměny tepelné energie na mechanickou práci rozlišujeme motory pístové, turbínové a proudové. Tato diplomová práce se zabývá pístovými spalovacími motory, jelikož v osobní a nákladní automobilové dopravě jsou nejrozšířenější pohonnou jednotkou. [2, 12]

Pístové spalovací motory přeměňují energii uloženou v palivu na mechanický pohyb pístu, který je pomocí klikového mechanismu transformován na pohyb rotační. Tento rotační pohyb je následně veden přes soustavu převodů na hnací nápravu vozidla a tím ho posouvá vpřed. Principiálně se tedy velmi liší např. od motorů proudových, které využívají k dosažení pohybu reakční energie spalin opouštějících spalovací prostor. [2, 12]

2.3 Rozdělení podle způsobu přívodu tepelné energie

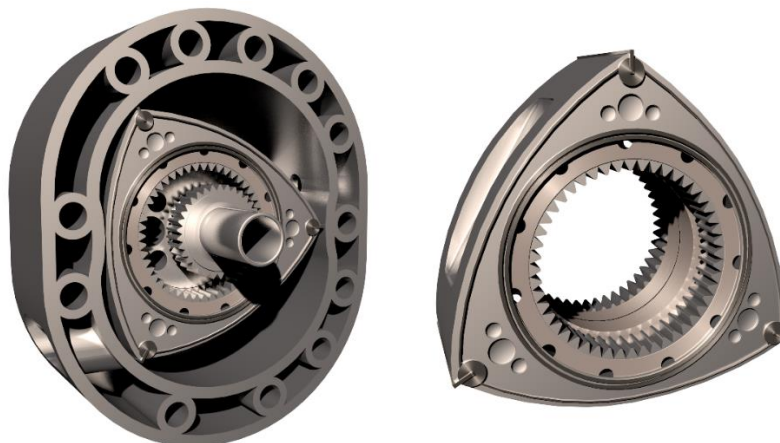
Spalovací motory můžeme dále rozdělit dle místa, ve kterém se chemická energie uložená v palivu přeměňuje na energii tepelnou. Pokud k této přeměně dochází přímo uvnitř pracovního prostoru válce, jedná se o motor s vnitřním spalováním. Nejběžnějšími zástupci motoru s vnitřním spalováním jsou zážehový a vznětový motor, dále také proudové

či turbínové motory. Palivo je zažehnuto uvnitř pracovního prostoru a tepelná energie rovnou přechází na píst či turbínu, kde se transformuje na mechanickou energii. Oproti tomu v případě motorů s vnějším spalováním se přeměna z chemické energie na tepelnou odehrává mimo pracovní prostor pístu. Tepelná energie je pomocí vhodného média transportována z místa jejího vzniku do pracovního prostoru válce a až ve válci dochází k přeměně na mechanickou energii. Jako toto médium se nejčastěji používá vodní pára či vzduch. Typickým zástupcem motoru s vnějším spalováním je parní stroj či Stirlingův motor. [6]

2.4 Rozdělení podle typu pohybu pístu

Dle typu pohybu pístu můžeme rozlišovat mezi motory s pohybem přímočarým vratným či s pohybem rotačním. Motory s přímočarým vratným pohybem pístu jsou nejrozšířenější pohonnou jednotkou dnešních automobilů, hlavně díky jejich jednoduchosti a spolehlivosti. Jejich největší nevýhodou, která vychází z principu jejich funkce, je nutnost konstantního zrychlování a zpomalování pohybu pístu, čímž dochází k plýtvání značného množství energie. Snaha eliminovat tento problém vedla k vytvoření motoru s krouživým pohybem pístu. Ten pístu umožňuje vykonávat pohyb rotační namísto přímočarého vratného, čímž je eliminována nutnost píst neustále zrychlovat a zpomalovat. Nejznámějším zástupcem tohoto typu motorů je Wankelův rotační motor. Wankelův rotační motor pracuje ve čtyřech dobách, obdobně jako motor s přímočarým pohybem pístu. Zvláštností tohoto motoru je však to, že tyto doby probíhají zároveň. Motor je osazen speciálním tříbokým pístem, který se pohybuje uvnitř bloku motoru, jenž má tvar epitrochoidy (obrázek č. 1). Motor neobsahuje klasický klikový hřídel, namísto toho je osazen výstředníkovým hřídelem, který prochází středem trojbokého pístu. Píst při pohybu střídavě odkrývá a zakrývá sací a výfukové kanály, čímž je řízen rozvod motoru. Motor je schopen dosahovat mnohem vyšších otáček než běžné motory s přímočarým pohybem pístu mimo jiné i díky absenci ventilového rozvodového mechanismu. Provází jej však i řada neduhů, jako např. vyšší spotřeba paliva, která je způsobená nepříznivým tvarem spalovacího prostoru a tím i nižší účinností, nutnost ztrátového mazání těsnících ploch

či problematické utěsnění spalovacího prostoru, jelikož na opačných stranách motoru jsou vždy rozdílné teploty. To je dáno tím, že na jedné straně motoru probíhá pouze sání, na opačné straně probíhá pouze spalování paliva. Tyto problémy pravděpodobně zabránili masivnějšímu rozšíření Wankelova motoru. Z moderních automobilů se motory s krouživým pohybem pístu dostaly pouze do dvou sportovních automobilů značky Mazda, konkrétně do modelů RX-7 a RX-8. [13, 16]



Obrázek č. 1 Wankelův rotační motor

Zdroj: autor

2.5 Rozdělení podle skupenství použitého paliva

Spalovací motory mohou ke svému provozu využívat jak plyných, tak kapalných paliv, přičemž každé z těchto typů paliv má své výhody a nevýhody. Nejrozšířenějšími jsou v dnešním automobilovém průmyslu motory spalující kapalná paliva, konkrétně benzín či naftu. Největšími přednostmi kapalných paliv jsou snadná manipulace a velmi jednoduché skladování. Palivo není nutné skladovat pod tlakem a jeho doplňování je velmi jednoduché a rychlé, jelikož se jedná o prostou kapalinu. Plyná paliva jsou z hlediska přípravy směsi výhodnější než paliva kapalná. Mají lepší antidekonační vlastnosti než paliva kapalná a umožňují lepší promísení a snadnější dodržení směšovacího poměru paliva se vzduchem. Díky tomu je obsah škodlivin ve výfukových plynech menší. Plyná paliva také nesmývají olejový film ze stěn válce, neředí olej v klikové skříni motoru a nezpůsobují vznik karbonových úsad ve spalovacím prostoru. Avšak k nevýhodám plyných paliv patří nižší

výhřevnost, problematičtější skladování a v neposlední řadě také méně hustá síť čerpacích stanic oproti kapalným palivům. [13]

2.6 Rozdělení podle počtu dob v pracovním cyklu

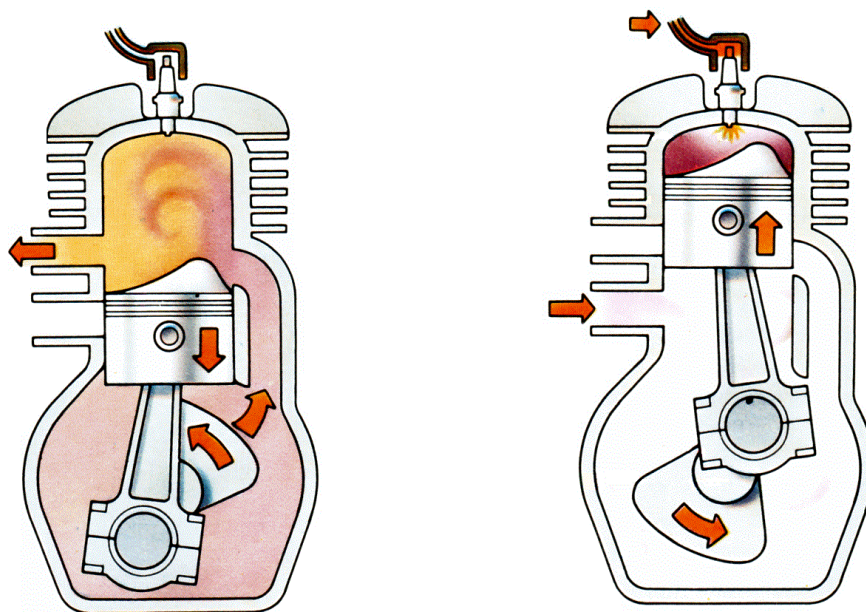
Dle počtu dob v pracovním cyklu motoru můžeme rozlišit motory na dvoudobé a čtyřdobé. Nejvýznamnějším rozdílem mezi dvoudobým a čtyřdobým motorem je počet otáček klikové hřídele na jeden pracovní cyklus. [6, 16]

Pracovní cyklus dvoudobého motoru se skládá z jedné otáčky klikového hřídele, cyklus čtyřdobého motoru ze dvou otáček klikového hřídele. Počet dob poměrně úzce souvisí s řízením rozvodu motoru. Zatímco u dvoudobého motoru je rozvod řízen pohybem pístu a palivo je nasáváno do prostoru pod pístem, ze kterého je přepouštěno nad píst, u čtyřdobých motorů je rozvod řízen pomocí vačkového hřídele, který ve správný okamžik otevírá a uzavírá ventily a palivo je nasáváno pouze do prostoru nad pístem. Pohyb vačkového hřídele je synchronizován s klikovým hřídelem pomocí rozvodového mechanismu, který může být realizován prostřednictvím řemene či řetězu, případně pomocí ozubených kol. [2, 6]

2.6.1 Dvoudobý motor

Dvoudobé motory jsou oproti čtyřdobým motorům konstrukčně jednodušší a lehčí, avšak produkují výrazně větší množství škodlivých emisí než čtyřdobé motory. Dvoudobé motory bývají obvykle chlazeny pomocí vzduchu a používají se v menších a lehčích strojích, než jsou osobní a nákladní automobily, typicky např. malé motocykly či skútry nebo ruční nářadí, jako např. řetězová pila. Dalším významným rozdílem oproti čtyřdobým motorům je způsob mazání motoru. Mazivo je nejčastěji smícháno s palivem v prostoru palivové nádrže, případně může být do paliva vstříkováno v závislosti na otáčkách. Palivo s mazivem poté promazává všechny pohyblivé součásti motoru. Pracovní cyklus dvoudobého motoru se opakuje každou otáčku klikového hřídele ve dvou dobách. Rozvod motoru je nejčastěji

řízen pomocí pohybu pístu, existují však ještě další typy rozvodových mechanismů, např. šoupátkový či membránový, případně speciální typ rozvodu s ventily či výfukovou přívěrou. V první době probíhá sání paliva pod píst, avšak zároveň probíhá komprese paliva nad pístem. Při pohybu pístu od dolní úvrati směrem k horní úvrati vzniká pod pístem podtlak, který nasává směs paliva s mazivem do prostoru klikové skříně. Poté nastává druhá doba, ve které probíhá v prostoru nad pístem expanze a zároveň v prostoru klikové skříně probíhá komprese. Při dosažení dolní úvrati píst odkrývá přepouštěcí kanály, které umožní stlačenému palivu pod pístem uniknout do prostoru nad pístem (obrázek č. 2). Poté se znovu opakuje první doba, tedy píst opět nasává čerstvou směs do prostoru klikové skříně, avšak zároveň stlačuje směs v prostoru nad pístem. [2, 10, 12]



Obrázek č. 2 Pracovní cyklus dvoudobého motoru

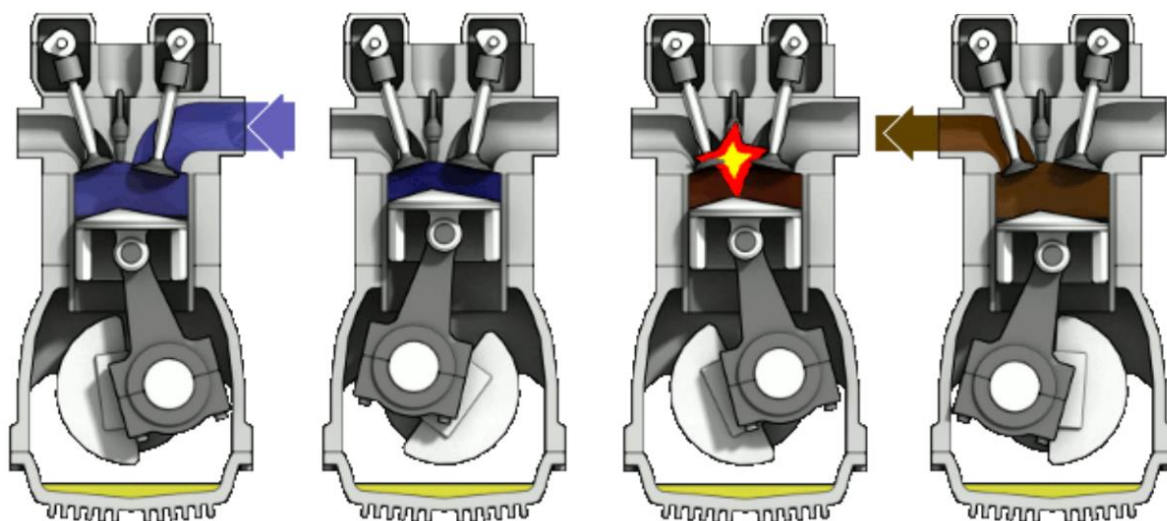
Zdroj: [10]

V druhé době je palivo zažehnuto zapalovací svíčkou a tlačí píst dolů. Při pohybu pístu od horní úvrati směrem k dolní úvrati jsou odkryty výfukové kanály, kterými mohou výfukové plyny uniknout pryč ze spalovacího prostoru. To však mimo jiné způsobuje, že část tlakové energie uniká do výfuku, aniž by byla zcela využita, což zapříčiňuje horší účinnost motoru spolu s vyšší produkcí škodlivých emisí oproti čtyřdobým motorům. Ve výfukových plynech dvoudobých motorů je obsaženo výrazně vyšší množství nespáleného paliva

než ve výfukových plynech čtyřdobých motorů, dále výfukové plyny obsahují částečně spálený olej, který byl do paliva přimíchán v palivové nádrži. [2, 10, 12]

2.6.2 Čtyřdobý motor

Čtyřdobé motory jsou oproti dvoudobým motorům rozměrnější, mají větší hmotnost a jsou složitější, avšak jsou také úspornější a produkují méně škodlivých emisí než motory dvoudobé. Cyklus čtyřdobého motoru je rozdělen do čtyř fází. Sání, komprese, expanze a výfuk (obrázek č. 3). [9, 12, 16]



Obrázek č. 3 Pracovní cyklus čtyřdobého motoru

Zdroj: [9]

V první době se píst pohybuje směrem dolů od horní úvrati směrem k dolní úvrati. Při tomto pohybu vzniká v prostoru nad pístem podtlak, který je využíván k naplnění prostoru nad pístem vzduchem, případně směsí vzduchu a paliva. Zároveň se otevírá sací ventil, který umožňuje vstup směsi do válce. V druhé době se sací ventil uzavírá a píst se pohybuje směrem k horní úvrati. Při tomto pohybu dochází ke stlačování směsi nasáté během první doby. Když píst dosáhne horní úvrati, nastává třetí doba neboli expanze, v jejímž průběhu je zažehnuta směs stlačeného vzduchu a paliva v prostoru nad pístem. V případě, že se

jedná o zážehový motor, je směs zažehnuta pomocí zapalovací svíčky, v případě vznětového motoru je to pomocí vysoké teploty vzduchu. Přesný okamžik zažehnutí paliva se mění v závislosti na otáčkách. U zážehových motorů se okamžik, kdy je směs zapálena zapalovací svíčkou nazývá předstih, u vznětových motorů se okamžik vstříknutí paliva nazývá předvstřík. K zažehnutí paliva musí dojít ještě předtím, než píst dosáhne horní úvrati, aby palivo mělo čas se rozhořet a tlak ve válci začal stoupat v době dosažení horní úvrati. Nárůst tlaku v prostoru nad pístem tlačí píst dolů směrem k dolní úvrati. Jedná se o jedinou dobu z čtyřdobého cyklu, kdy motor vykonává práci. V poslední čtvrté době, ve které píst opět stoupá k horní úvrati, je otevřen výfukový ventil, který umožňuje vytlačení a únik výfukových plynů z pracovního prostoru válce, čímž je vytvořen prostor pro nasátí nové čerstvé směsi v následující první době. Cyklus se poté znovu opakuje. [2, 9, 12, 16]

2.7 Rozdělení podle způsobu plnění válce směsí

Válce spalovacího motoru mohou být plněné směsí pomocí podtlaku či přetlaku. Standardní atmosféricky plněné motory jsou plněny podtlakem. Tento podtlak je vyvoláván pohybem pístu směrem k dolní úvrati. Po otevření sacího ventilu je směs pomocí podtlaku nasáta do pracovního prostoru válce. Přepřňované neboli přetlakem plněné motory využívají vzduchu o vyšším než atmosférickém tlaku k naplnění pracovního prostoru válce, čímž lze dosáhnout jeho většího naplnění. Naplnění pracovního prostoru větším množstvím vzduchu umožňuje spalování většího množství paliva při zachování stechiometrického poměru. Tím je docíleno vyššího točivého momentu a vyššího výkonu motoru. Zdroje přetlaku mohou být různé, nejčastěji se používají turbokompresory nebo turbodmychadla, případně může být použito speciálně nalažené rezonanční sací potrubí. [7, 14, 16, 18]

Turbodmychadla jsou nejčastěji využívaným způsobem přepřňování motorů. Jejich největší výhodou je schopnost zužitkovat energii obsaženou ve výfukových plynech, která by za normálních okolností odcházela nevyužitá výfukem ve formě přebytečného tepla a kinetické energie spalin. Turbodmychadlo tuto energii výfukových plynů využívá k roztáčení turbíny, pohánějící dmychadlo, které vhání vzduch pod tlakem do motoru. Tím lze docílit vyšší účinnost motoru. Nevýhodou tohoto systému může být jistá prodleva mezi

sešlápnutím plynového pedálu a roztočením turbíny turbodmychadla, avšak moderní motory jsou schopny tento problém téměř eliminovat. [7, 14, 16, 18]

Turbokompresory jsou méně častou variantou přepřehování motorů. Jejich největší nevýhodou je spotřeba výkonu motoru pro jejich vlastní pohon. Nejčastěji jsou poháněny řemenem od klikové hřídele motoru. Přímé propojení s motorem však umožňuje okamžitou reakci turbokompresoru na otáčky motoru a při sešlápnutí pedálu akcelérátoru nedochází k žádné prodlevě reakce motoru. [7, 14, 18]

Další variantou přepřehování je použití rezonančního sacího potrubí. To sice není schopno dosáhnout tak vysokých plnicích tlaků jako turbodmychadlo nebo turbokompresor, nedochází tedy k tak velikému nárůstu točivého momentu a výkonu, avšak konstrukčně jde o mnohem jednodušší součást motoru. Pro dosažení přepřehování je využívána energie infinitesimální podtlakové vlny, která je vyvolána pohybem pístu při sání a šíří se rychlostí zvuku sacím potrubím. Tato vlna se na volném konci potrubí odráží jako vlna přetlaková a pohybuje se rychlostí šíření zvuku v daném prostředí zpět do válce motoru. Pokud je vhodně zvolena rezonanční délka potrubí a jeho objem, tato vlna dospěje do válce motoru před uzavřením sacího ventilu a zvýší tak hmotnostní naplnění válce motoru. [7, 14, 18]

2.8 Rozdělení podle způsobu zažehnutí směsi

Dle způsobu, jakým je směs v motoru zažehnuta, rozlišujeme motory zážehové a vznětové. Zážehové motory se vyznačují menší hmotností, kultivovanějším chodem a obvykle jsou schopny dosahovat vyšších otáček než motory vznětové. Mají však nižší účinnost a tedy i vyšší spotřebu paliva. Zažehnutí paliva je docíleno pomocí zapalovací svíčky, která pomocí jiskry zažehne stlačenou směs paliva a vzduchu na konci kompresního zdvihu motoru. Oproti tomu vznětové motory nevyužívají k zažehnutí paliva jiskru, nýbrž pouze vysokou teplotu stlačeného vzduchu, do kterého je vstříknuto palivo. Musí proto pracovat s mnohem vyššími tlaky než motory zážehové pro dosažení potřebné teploty vzduchu. Vznětové motory využívají přímého vstřiku paliva, jenž je nutné vstříknout do spalovacího prostoru na konci kompresního zdvihu motoru. Jelikož je nutné vstříknout palivo pod vyšším tlakem, než jaký je uvnitř spalovacího prostoru v okamžiku maximální komprese, vyžadují

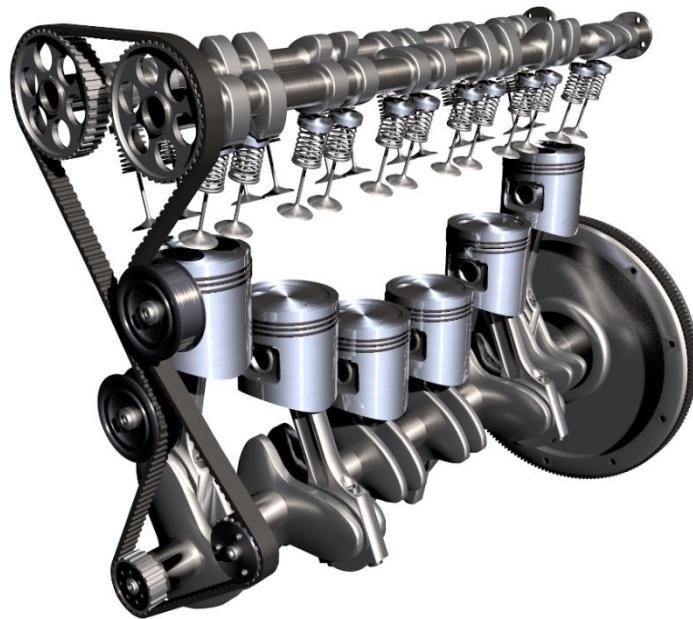
vznětové motory řádově mnohonásobně vyšší vstřikovací tlaky než motory zážehové, které palivo vstřikují buď do sacího potrubí, či během kompresního zdvihu, nikoliv však na jeho konci. Hlavní předností vznětových motorů je jejich vyšší účinnost a vyšší točivý moment. Nejsou však schopny dosahovat tak vysokých otáček jako zážehové motory, jelikož jejich konstrukce musí být více robustní než u zážehových motorů. To zvyšuje hmotnost a setrvačnost vnitřních součástí vznětového motoru. Vznětové motory jsou také ve vyšších otáčkách limitovány délkou pracovního zdvihu, která je obvykle delší než u zážehových motorů, pro zajištění vyššího kompresního poměru. [2, 7, 16]

Dalším důležitým rozdílem mezi zážehovým a vznětovým motorem je způsob regulace jejich otáček a výkonu. Zážehové motory jsou regulovány kvantitativně, tedy množstvím směsi dopravené do válce. Tato směs má ve standardních režimech motoru téměř vždy stechiometrický poměr paliva a vzduchu, tedy 14,7 : 1. Množství této směsi je regulováno pomocí škrticí klapky, která reguluje množství nasávaného vzduchu. V závislosti na množství nasátého vzduchu je do motoru vstříknuto odpovídající množství paliva pomocí vstřikovače. Oproti tomu vznětové motory jsou regulovány pomocí změny poměru paliva a vzduchu, tedy kvalitativně. Množství motorem nasávaného vzduchu není regulováno, jelikož vznětové motory neobsahují škrticí klapku. Otáčky a výkon motoru jsou tak regulovány pouze množstvím vstřikované směsi do válce. Vznětové motory proto téměř vždy pracují v režimu chudé až stechiometrické směsi a reguluje se pouze chudost této směsi. [7, 16]

2.9 Rozdělení podle uspořádání a počtu válců

Pístové spalovací motory se vyrábějí v mnoha různých provedeních konfigurace válců, od jednoválcových motorů přes víceválcové motory až po víceřadé motory s dvanácti či více válci. Nejběžněji používaným motorem v osobní automobilové dopravě je bezpochyby řadový čtyřválec. Oproti tříválcovým či dvouválcovým motorům je menším zdrojem vibrací a zároveň disponuje kompaktnějšími rozměry než řadové pětiválce či šestiválce. Řadový šestiválec je oproti tomu skvěle vyváženým motorem (obrázek č. 4), který však díky svým

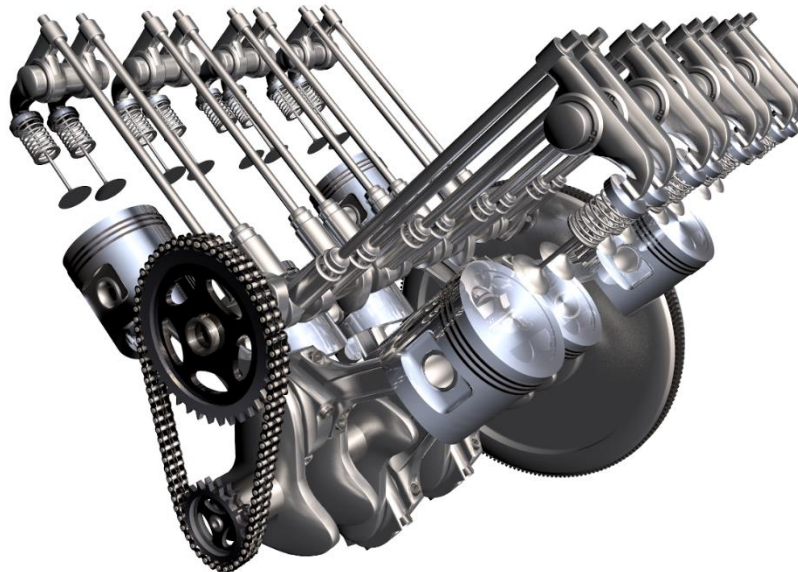
rozměrům nelze namontovat příčně ale pouze podélně. To z něj činí méně universální pohonnou jednotku, jelikož trendem dnešní doby je výroba stále menších motorů. [2, 18]



Obrázek č. 4 Jednořadový šestiválcový motor s rozvodem DOHC

Zdroj: autor

Problém s místem lze kompenzovat použitím dvouřadých motorů, tedy motorů, jenž mají uspořádány válce do tvaru písmene V. Úhel mezi válci obvykle leží v rozmezí $60^\circ - 90^\circ$ (obrázek č. 5).



Obrázek č. 5 Vidlicový osmiválcový motor s rozvodem OHV

Zdroj: autor

Tyto motory se nazývají vidlicové a nejčastěji se můžeme setkat s šestiválci či osmiválci, v případě supersportovních automobilů se lze setkat také s desetiválcovými či dvanáctiválcovými motory. Při použití šestiválcového či osmiválcového vidlicového motoru má motor přibližně srovnatelnou délku jako řadový tříválec či čtyřválec, avšak díky většímu množství válců motory disponují větším točivým momentem. [2, 12, 18]

Speciálním typem vidlicového motoru je tzv. boxer. Tento typ motoru má úhel mezi válci 180° . Rozdíl oproti standardním vidlicovým motorům je však ten, že válce jsou protiběžné. Toho je docíleno tím, že protilehlé písty mají samostatné čepy pro ojnice na klikovém hřídeli (obrázek č. 6). Běžné vidlicové motory mají dvojici ojníc uloženou na jednom čepu klikové hřídele. Protiběžný pohyb pístů vyrušuje vibrace a zajišťuje motoru klidný chod. Díky úhlu 180° má motor velmi nízko položené těžiště, což zlepšuje ovladatelnost automobilu v zatáčkách z důvodu menších bočních náklonů automobilu. [2, 12, 18]



Obrázek č. 6 Čtyřválcový motor boxer s rozvodem DOHC

Zdroj: autor

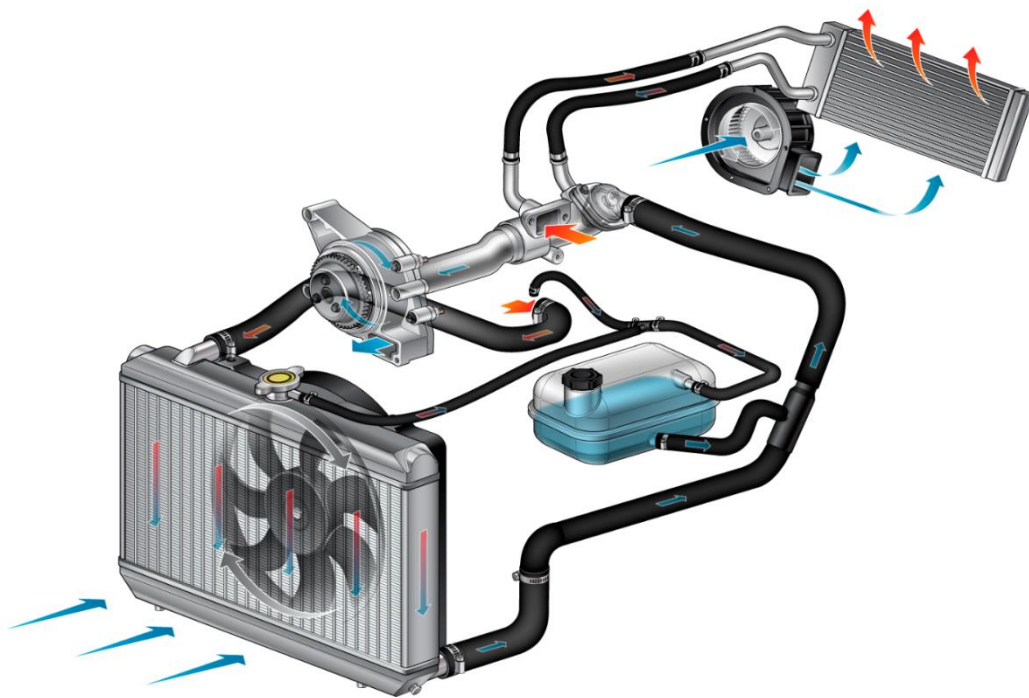
Speciálním typem motoru jsou víceřadé motory. V automobilovém průmyslu se s víceřadými motory setkáme pouze výjimečně. Nejznámějším zástupcem víceřadých motorů je motor W16 montovaný do automobilů Bugatti Veyron a Bugatti Chiron. [3]

2.10 Rozdělení podle typu chlazení motoru

Jelikož při práci spalovacího motoru vzniká poměrně značné množství přebytečného tepla, je nutné toto teplo odvádět pryč od motoru pro udržení jeho konstantní pracovní teploty. K chlazení se obvykle používá kapalina či proud vzduchu. [21]

2.10.1 Kapalinou chlazené motory

Motory chlazené pomocí chladicí kapaliny mají větší hmotnost a systém chlazení je podstatně složitější, než v případě vzduchem chlazených motorů. Avšak výhodou tohoto systému chlazení je schopnost udržovat optimální teplotu motoru ve všech jeho pracovních režimech. Chladicí kapalina protéká kanály uvnitř bloku motoru, ze kterého odebírá přebytečné teplo. Po dosažení pracovní teploty motoru se otevírá termostat, umožňující proudění chladicí kapaliny do chladiče, ve kterém kapalina odevzdává teplo okolí a ochlazuje se (obrázek č. 7). [21]



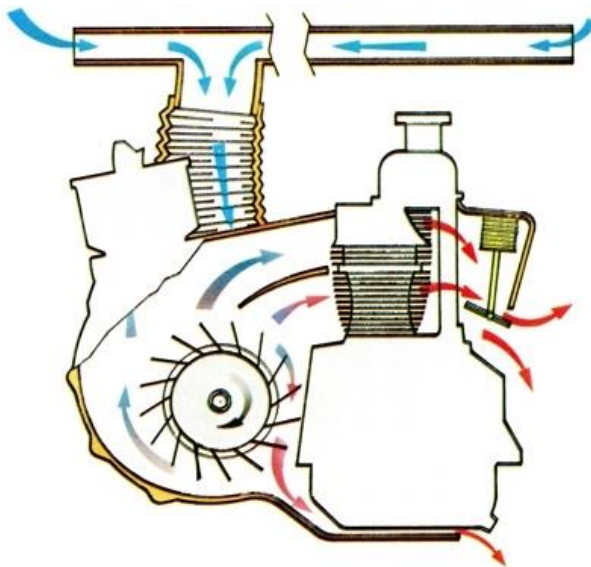
Obrázek č. 7 Schéma kapalinového chladičového systému spalovacího motoru

Zdroj: [5]

Chladicí kapalina je skrze okruh čerpána pomocí čerpadla, které je poháněno rozvodovým či drážkovým řemenem od klikové hřídele motoru. V neposlední řadě chlazení kapalinou napomáhá snížit hladinu hluku, který motor vyzařuje, a chladicí kapalina lze velmi snadno využít i pro vytápění kabiny automobilu. [21]

2.10.2 Vzduchem chlazené motory

Hlavní výhodou vzduchem chlazených motorů je jejich nižší hmotnost oproti kapalinou chlazeným motorům. Kromě nízké hmotnosti jsou tyto motory také konstrukčně jednodušší a systém chlazení je velmi spolehlivý. Povrch motoru je opatřen chladícími žebry, které zvětšují jeho teplosměnnou plochu a umožňují co nejefektivnější odvod tepla od motoru. Vzduch je k motoru dopravován buď pomocí ventilátoru v případě nuceného chlazení (obrázek č. 8), či pouhým vystavením motoru proudu vzduchu při pohybu vozidla. Tento systém se nazývá náporové chlazení. Nevýhodou tohoto jinak velice jednoduchého systému je nerovnoměrnost chlazení v různých pracovních režimech. V režimu nízkého zatížení a vysoké rychlosti vozidla klesá pracovní teplota motoru pod optimální hodnotu, oproti tomu při velkém zatížení a nízké rychlosti, např. při jízdě do kopce, hrozí naopak přehřátí motoru. [21]



Obrázek č. 8 Schéma vzduchem chlazeného spalovacího motoru s nuceným chlazením

Zdroj: [11]

2.11 Rozdělení podle použitého rozvodového mechanismu

Pro činnost pístového čtyřdobého spalovacího motoru s vnitřním spalováním je nezbytné zajistit výměnu obsahu válce, tedy naplnění válce směsí paliva a vzduchu a odstraňování spalin. Zařízení obstarávající tuto funkci se nazývá rozvod motoru. V dnešní době se téměř výhradně používá ventilový rozvod. Ten je ovládán pomocí vačkového hřídele, který jednotlivé ventily v přesně stanovený okamžik otevírá. Vačkový hřídel je pevně spojen s klikovým hřídelem v poměru 1:2. Vačkový hřídel tedy vykoná jednu otáčku každé dvě otáčky klikového hřídele. O uzavírání ventilů se nejčastěji stará vratná pružina, avšak ve speciálních případech se používá i stlačený plyn či mechanické uzavírání ventilů. Ventilové rozvody můžeme rozdělit do mnoha kategorií, v závislosti na místě uložení vačkového hřídele či samotných ventilů. [19]

2.11.1 Rozvod SV – Side Valves

Velmi jednoduchým a dnes již zastaralým a téměř nepoužívaným typem ventilového rozvodu je rozvod SV. Největší výhodou tohoto rozvodu byla jeho jednoduchost a spolehlivost. Vačkový hřídel a samotné ventily byly uloženy uvnitř bloku motoru, což velmi zjednodušovalo konstrukci hlavy motoru, která nemusela obsahovat pohyblivé části rozvodu a mohla dosahovat menších rozměrů (obrázek č. 9).



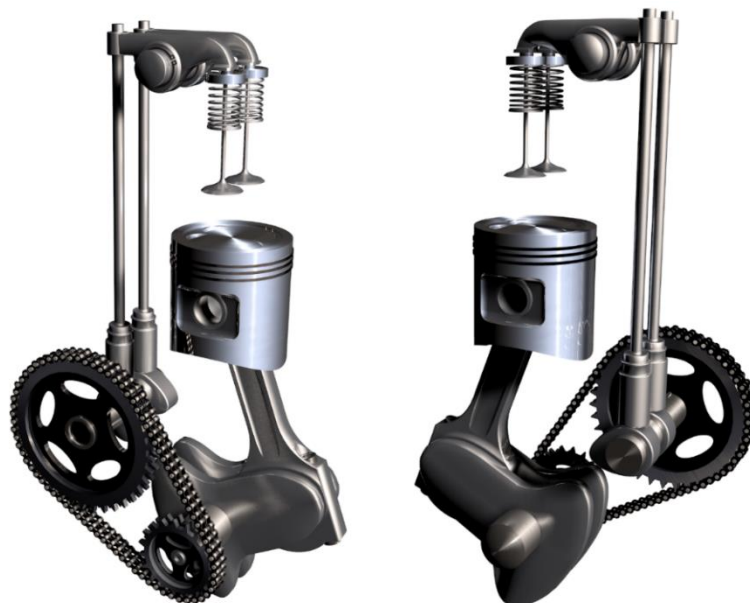
Obrázek č. 9 Rozvod SV

Zdroj: autor

Díky umístění ventilů uvnitř bloku motoru také nehroutil kontakt ventilu s pístem při příliš vysokých otáčkách či při selhání rozvodového mechanismu. Avšak umístění ventilů do bloku motoru přinášelo i nevýhody v podobě velmi nepříznivého tvaru spalovacího prostoru či nízkého kompresního poměru. Proto se s tímto typem rozvodového mechanismu u moderních automobilů již nelze setkat. Tento typ rozvodového mechanismu byl používán např. v motoru dnes již legendárního historického vozu Ford model T. [12, 18, 19]

2.11.2 Rozvod OHV – Over Head Valve

Ventilový rozvod OHV se již v moderních automobilech také příliš nepoužívá, avšak stále se s ním můžeme setkat u starších a jednodušších motorů, či u velkých vidlicových osmiválcových motorů. Rozvod disponuje ventily umístěnými v hlavě motoru, díky čemuž má spalovací prostor mnohem příznivější tvar pro spalování a zároveň je možné dosahovat vyššího kompresního poměru než u rozvodu SV. Vačkový hřídel je umístěn uvnitř bloku motoru, což umožňuje snadné propojení s klikovým hřídelem, nejčastěji pomocí krátkého řetězu či ozubených kol. Vačkový hřídel ovládá ventily přes soustavu zdvihátek a vahadel (obrázek č. 10).



Obrázek č. 10 Rozvod OHV

Zdroj: autor

Motory jsou limitovány v práci ve vyšším spektru otáček kvůli setrvačným silám. Ty jsou způsobeny značným množstvím součástí rozvodového mechanismu, které musí vykonávat vratný pohyb. Ve vyšším spektru otáček by tak vratná pružina nestíhala včas zavírat ventily a hrozila by destrukce motoru při kontaktu pístu s ventilem, který se nestihl včas uzavřít. [12, 18, 19]

2.11.3 Rozvod OHC – Over Head Camshaft

Tento ventilový rozvod je jedním z nejčastěji používaných typů rozvodů v moderních automobilech. Vačkový hřídel je společně s ventily umístěn v hlavě motoru (obrázek č. 11). Hlavní výhoda rozvodu OHC spočívá v menším množství působících setrvačných sil a ve vyšší přesnosti rozvodu. Motory s tímto rozvodovým mechanismem proto mohou dosahovat vyšších otáček než motory s rozvodem OHV. Oproti tomu hlavní nevýhodou tohoto rozvodového mechanismu je větší rozměr hlavy motoru a její větší konstrukční složitost. Rozvod je nejčastěji realizován pomocí řemene, méně často pak pomocí řetězu. [12, 18, 19]

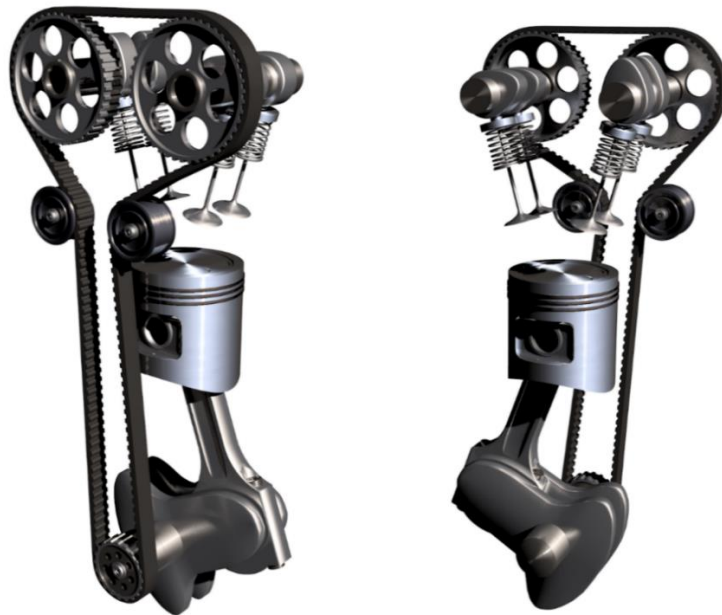


Obrázek č. 11 Rozvod OHC

Zdroj: autor

2.11.4 Rozvod DOHC – Double Over Head Camshaft

Rozvodový mechanismus DOHC je velmi podobný rozvodu OHC s tím rozdílem, že v hlavě motoru jsou dvě vačkové hřídele (obrázek č. 12). Díky tomu je možné ovládat větší množství ventilů, typicky čtyři ventily na válec – dva sací a dva výfukové, což umožňuje lepší proudění vzduchu ve vyšším spektru otáček a tedy i vyšší výkon.



Obrázek č. 12 Rozvod DOHC

Zdroj: autor

U motorů s rozvodem DOHC se také můžeme setkat s lichým počtem ventilů na jeden válec, např. tři sací a dva výfukové. Zároveň lze díky oddělenému vačkovému hřídeli pro sací a výfukové ventily snadno aplikovat systém variabilního časování ventilů. Tento systém bývá ovládán pomocí tlaku motorového oleje a umožňuje ve vysokých otáčkách motoru změnit zdvih či okamžik otevření a zavření ventilů, tedy jejich překrytí. Tím lze dosáhnout vyššího výkonu ve vyšším spektru otáček, avšak v nižších otáčkách může být provoz motoru úspornější a ekonomičtější s nižší spotřebou paliva. [12, 18, 19]

2.11.5 Desmodromický rozvod

Speciálním typem ventilového rozvodu, využívaným ve vysokootáčkových motocyklových motorech firmy Ducati je desmodromický rozvod. Ten se na rozdíl od klasického ventilového rozvodu nespolehá na vratnou pružinu, která uzavírá ventily. Namísto toho je vačkový hřídel vybaven speciální vačkou, která ventil uzavírá (obrázek č. 13). Díky tomuto systému mohou motory dosahovat vyšších otáček než při použití běžných pružin a nehrozí střetnutí pístu s uzavírajícím se ventilem, jelikož uzavírání ventilu je přesně řízenou speciální vačkou. Nevýhodou tohoto rozvodu je kromě mechanické složitosti a vyšší výrobní ceny i nutnost velmi přesného seřízení. [19, 20]



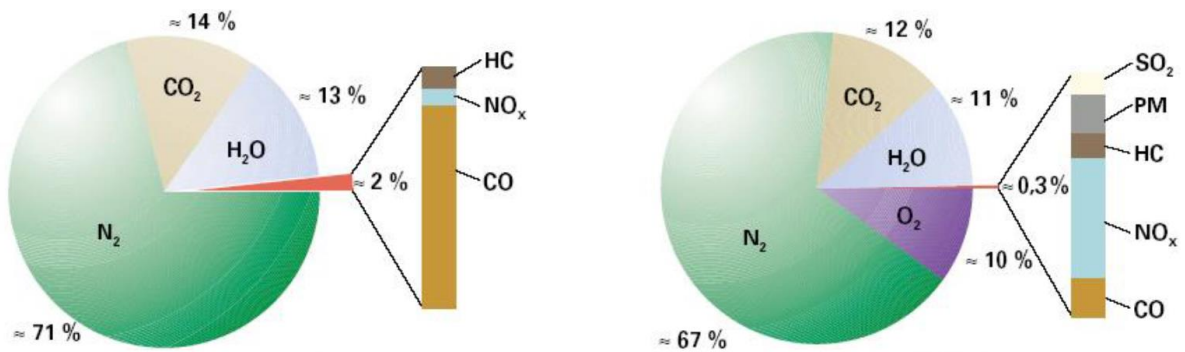
Obrázek č. 13 Desmodromický rozvod

Zdroj: autor

2.12 Složení emisí výfukových plynů

Výfukové plyny obsahují mnoho více či méně škodlivých produktů. Výrobci automobilů se snaží jejich vzniku předcházet, či alespoň snižovat jejich koncentrace na co nejnižší možnou hodnotu. Největší část výfukových plynů je tvořena dusíkem (N_2). Výfukové plyny dále obsahují oxid uhelnatý (CO) a nespálené uhlovodíky (HC), což jsou produkty nedokonalé oxidace, tedy nedokonalého spalování. Naopak produktem dokonalé

oxidace je oxid uhličitý (CO_2) a vodní pára (H_2O). Oxidací při vysokých teplotách vznikají oxidy dusíku (NO_x). Při spalování neodpařených kapek paliva potom vznikají pevné částice (PM). Na obrázku č. 14 je zobrazeno procentuální zastoupení těchto složek a porovnání složení výfukových plynů zážehových a vznětových motorů. [12, 30, 31]



Obrázek č. 14 Porovnání složení výfukových plynů zážehového motoru (vlevo) a vznětového motoru

Zdroj: [12]

2.12.1 Oxid uhličitý (CO_2)

Oxid uhličitý vzniká jako produkt dokonalého hoření (dokonalé oxidace), jeho přítomnost ve výfukových plynech je tedy znakem kvalitně probíhajícího spalovacího procesu. Jedná se o bezbarvý plyn bez zápachu, který je málo reaktivní a velmi stabilní. Je běžně obsažený v zemské atmosféře a nezpůsobuje žádné zdravotní komplikace. Pokud by ovšem jeho koncentrace byla příliš velká, začne ze vzduchu vytěšňovat kyslík. Jelikož je oxid uhličitý jedním ze skleníkových plynů, jeho hlavním negativním dopadem na životní prostředí je přispívání ke globálnímu oteplování. Není možné ho eliminovat z výfukových plynů, naopak další škodlivé látky z výfukových plynů (např. oxid uhelnatý či nespálené uhlovodíky) jsou v katalyzátoru přeměňovány právě na oxid uhličitý. Jediná možnost, jak snížit množství oxidu uhličitého obsaženého ve výfukových plynech automobilu je snížení spotřeby paliva. Tato potřeba vede výrobce automobilů k produkci stále menších a úspornějších, ve většině případů přeplňovaných motorů. [12, 30, 31]

2.12.2 Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý jedovatý plyn, vznikající při nedokonalém spalování uhlíku, tedy při spalování příliš bohaté směsi ($\lambda < 1$) s nedostatkem kyslíku. Vzniká tedy převážně v zážehových motorech. Vznětové motory pracují téměř výhradně s chudou směsí ($\lambda > 1$), tedy vždy s přebytkem kyslíku, proto jsou koncentrace oxidu uhelnatého ve vznětových motorech řádově nižší než u motorů zážehových. Nebezpečnost oxidu uhelnatého spočívá v jeho schopnosti vázat se na krevní barvivo hemoglobin, se kterým vytváří karboxyhemoglobin (COHb). Ten znemožňuje přenos kyslíku z plic do krevního oběhu a tkání. Již při koncentracích okolo 450mg CO/m³ či 500 ppm (0,05%) dochází k zablokování až 50% procent hemoglobinu v krvi, což může vést ke zkolabování organismu a následné smrti. Díky jeho silné vazbě na hemoglobin trvá vyloučení z krve mnoho hodin až dní. Důsledkem toho jsou orgány poškozovány nedostatkem kyslíku bez ohledu na to, kolik kyslíku postižená osoba vdechuje do plic. Příznaky otravy oxidem uhelnatým se začínají projevovat již při přeměně deseti procent hemoglobinu na karboxyhemoglobin. [1, 12, 30]

2.12.3 Oxidy dusíku (NO_x)

Škodlivost samotných oxidů dusíku není příliš veliká, avšak hlavním nebezpečím je jejich přeměna na kyselinu dusičnou (HNO₃). K této přeměně dochází při vdechování oxidů dusíku na stěnách sliznic. Na to reaguje dýchací systém a omezuje přístup vzduchu do plic, což vede k dušnosti a kašli. Tato skutečnost nastává již při velmi nízkých koncentracích a krátkodobém kontaktu s touto látkou. Nejvíce oxidů dusíku vzniká při spalování mírně chudé směsi, jelikož spalování mírně chudé směsi je provázeno vysokou teplotou ve spalovacím prostoru. Množství vznikajících oxidů dusíku lze redukovat pomocí EGR technologie či pomocí snížení kompresního poměru motoru, to však také vede k nežádoucímu snížení účinnosti motoru. Vznětové motory produkují více škodlivých emisí oxidů dusíku (NO_x) než zážehové motory, metoda jejich eliminace z výfukových plynů je oproti zážehovým motorům také odlišná. Zatímco zážehový motor se oxidů dusíku zbaví pomocí redukce v redukčním katalyzátoru, vznětové motory musejí využívat

Selektivní katalytické redukce (SCR), která navíc vyžaduje pravidelné doplňování látky AdBlue, což je roztok obsahující 32,5% močoviny a 67,5% vody. [12, 24, 30]

2.12.4 Nespálené uhlovodíky (HC)

Nespálené uhlovodíky jsou složeny ze směsi uhlovodíků obsažených v původním palivu a z produktů spalování původních uhlovodíkových molekul, u kterých proces oxidace proběhl pouze z části. Nejméně škodlivou složkou nespálených uhlovodíků jsou látky obsažené v původním palivu. Oproti tomu nejvíce škodlivou a nebezpečnou látkou jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), například Benzo[a]pyren, jenž má prokazatelně karcinogenní účinky. Nespálené uhlovodíky vznikají v důsledku předčasně ukončených oxidačních reakcí, např. vlivem přílišného ochlazení o stěnu válce spalovacího prostoru či v důsledku nepravidelného zapalování. Největší množství nespálených uhlovodíků vzniká v oblasti bohaté směsi ($\lambda < 1$), kdy je ve spalovacím prostoru nedostatek kyslíku. [30, 31]

2.12.5 Pevné částice (PM)

Pevné částice vznikají převážně u motorů s přímým vstřikem paliva, jak zážehových tak vznětových, kde jsou tvořeny při spalování neodpařených kapek paliva. Množství vzniklých pevných částic tedy úzce souvisí s kvalitou rozprášení a promísení paliva se vzduchem. Proto se problematika pevných částic začala řešit jako první pouze u vznětových motorů, jelikož vznětové motory principiálně vyžadují přímé vstřikování paliva pro zajištění jejich funkce. Starší zážehové motory vybavené karburátorem či nepřímým vstřikem paliva obcházely tento problém pomocí tvorby směsi paliva a vzduchu mimo spalovací prostor, kapky paliva proto měly dostatek času na odpaření. Jelikož však převážná většina moderních zážehových motorů využívá přímého vstřiku paliva pro dosažení vyšší efektivity provozu, problematika pevných částic přestala být doménou pouze vznětových motorů, ale je nutno ji řešit také u moderních zážehových motorů. Pevné částice obsahují organický a elementární uhlík, dále malé množství vody, dusíku a sulfátu, nicméně jejich přesné

složení závisí na typu motoru. Hlavní nebezpečí však představuje schopnost pevných částic absorbovat další škodlivé látky, které vznikají při spalování paliva. Jedná se např. o polyaromatické uhlovodíky (PAU), které mohou být roznášeny krevním řečištěm po těle. Při kontaktu s pevnými částicemi dochází k podráždění dýchacích cest či očí, při dlouhodobém vystavení působení těchto částic na člověka může docházet k histopatologickým změnám v plicích a dýchacích cestách. Dle velikosti částic můžeme rozlišovat jejich nebezpečnost. Čím jsou částice drobnější, tím jsou nebezpečnější. Částice velikosti pět až deset mikrometrů jsou zachytávány v horních cestách dýchacích, avšak menší částice než pět mikrometrů mohou proniknout až do plic a částice menší než jeden mikrometr se mohou dostat až do krevního oběhu, odkud jsou roznášeny po celém těle do všech orgánů. To je činí ještě více nebezpečnými. [12, 31]

2.13 Snižování emisí výfukových plynů

Ke snižování emisí spalovacích motorů lze přistupovat několika způsoby. Můžeme se snažit eliminovat příčiny vzniku emisí uvnitř spalovacího motoru, tzv. opatření u motoru, nebo se můžeme snažit eliminovat škodlivé látky po opouštění motoru ve výfukovém potrubí, tzv. opatření za motorem. Také můžeme eliminovat faktory, které umožňují vznik škodlivých látek během spalování tím, že nastavíme optimální směšovací poměr paliva a vzduchu vstupující do spalovacího motoru, tzv. opatření před motorem. [7]

2.14 Opatření před motorem

Jelikož proces odstraňování nežádoucích látek během spalování či ve výfuku může být poměrně náročným technologickým problémem, je nejvýhodnější variantou omezit množství vznikajících škodlivých látek na minimum dříve, než vůbec začnou vznikat během spalovacího procesu. Toho lze docílit správným rozprášením a promícháním paliva se vzduchem, dále také dodržáním ideálního směšovacího poměru mezi vzduchem a palivem. Tento optimální směšovací poměr je kompromisem mezi vznikajícím množstvím

jednotlivých škodlivých látek, z nichž každá látka vzniká při lehce odlišných podmínkách. Např. pro omezení vzniku oxidu uhelnatého (CO) by se mohlo jevit jako nejvýhodnější zvolit velmi chudou směs, což by eliminovalo problém nedostatku kyslíku při spalování a zabránilo vzniku oxidu uhelnatého, avšak při příliš chudé směsi by mohlo docházet k vynechávání zápalů a vzrostla by produkce nespálených uhlovodíků (HC). Nejlepším kompromisem je tedy stechiometrický poměr ($\lambda = 1$). Jedná se o směs vzduchu a paliva v poměru, který je roven přibližně 14,7 : 1. Ve skutečnosti se tato hodnota může mírně lišit v závislosti např. na molekulární struktuře paliva, která nemusí být vždy shodná. [7]

2.15 Opatření u motoru

Cílem opatření u motoru je obdobně jako u opatření před motorem předcházení vzniku, či redukce tvorby škodlivých látek během spalovacího procesu. Toho lze docílit pomocí spalování stechiometrické směsi paliva ($\lambda = 1$), dále také pomocí úpravy kompresního poměru motoru či pomocí systému recirkulace výfukových plynů. [7, 27]

2.15.1 Změna kompresního poměru

Pomocí změny kompresního poměru, respektive jeho snížením, lze docílit nižší teploty spalování paliva, čímž lze redukovat vznikající množství oxidů dusíku (NO_x). Avšak snížení kompresního poměru zhoršuje účinnost motoru a snižuje jeho výkon, proto je třeba stanovit optimální hodnotu kompresního poměru, která je kompromisem mezi výkonem motoru a produkcí oxidů dusíku. [16]

2.15.2 Recirkulace výfukových plynů

Systém recirkulace výfukových plynů neboli systém EGR (Exhaust Gas Recirculation) představuje další variantu, kterou lze snížit množství škodlivých látek ve výfukových plynech. Princip recirkulace výfukových plynů spočívá v přepouštění části výfukových plynů

skrze EGR ventil zpět do sání motoru, kde dochází k jejich smíchání s čerstvou směsí a opětovnému spalování. Díky tomu lze snížit obsah nespáleného paliva ve výfukových plynech a zároveň dochází ke snížení množství produkovaných oxidů dusíku (NO_x). Naplnění části spalovacího prostoru výfukovými plyny vede ke zmenšení prostoru, do kterého lze nasát čerstvou směs paliva se vzduchem. Díky tomu je válec naplněn menším množstvím směsi při zachování správného poměru vzduchu a paliva, což vede k nižší teplotě v průběhu spalování a tedy k nižší produkci oxidů dusíku, jejichž tvorba je přímo závislá na teplotě spalování. Tato technologie však přináší i nevýhody v podobě mírného snížení výkonu vlivem menšího naplnění válce směsí vzduchu a paliva, dále také způsobuje zanášení sacího potrubí a sacích ventilů částicemi rozptýlenými ve výfukových plynech. Tyto částice ulpívají na stěnách sacího potrubí, což může omezovat výkon v motoru, zejména ve vysokých otáčkách. [16, 27]

2.16 Opatření za motorem

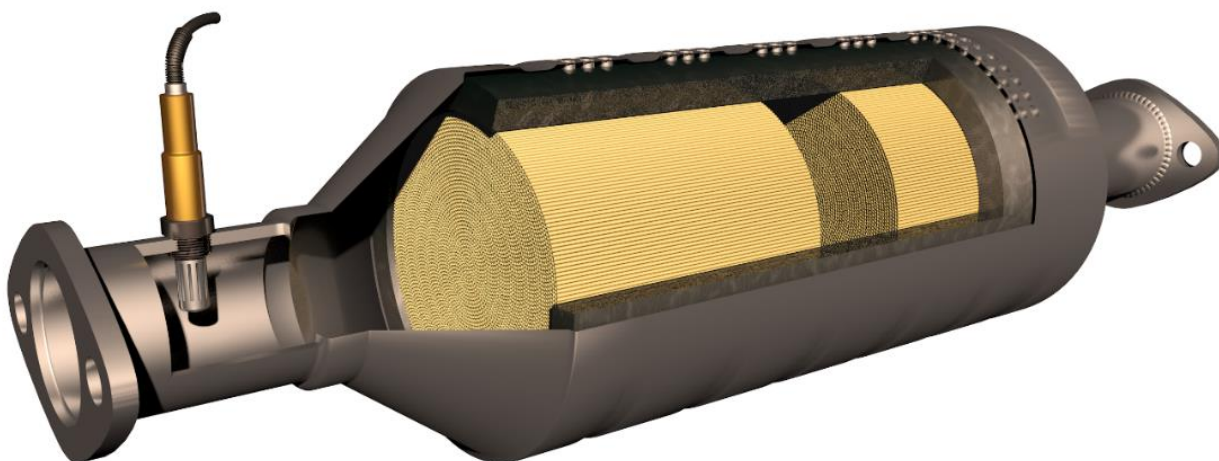
Cílem mnoha opatření za motorem je eliminace či zachytávání škodlivých látek vzniklých během spalovacího procesu a jejich přeměna na látky, které škodlivými nejsou. Toho je docíleno pomocí oxidace či redukce, případně pomocí filtru pevných částic. [7]

2.16.1 Katalyzátor

Hlavním účelem katalyzátoru je snížení množství či eliminace škodlivých látek obsažených ve výfukových plynech automobilu. Jmenovitě se jedná o oxid uhelnatý (CO), nespálené uhlovodíky (HC) a oxidy dusíku (NO_x). Každá z těchto látek vzniká za jiných podmínek. Nespálené uhlovodíky (HC) a oxid uhelnatý (CO) vznikají při spalování příliš bohaté směsi, tedy směsi s přebytkem paliva a nedostatkem vzduchu. Vlivem nedostatku vzduchu není možné spálit veškeré palivo obsažené ve spalovacím prostoru, které poté ve formě nespálených uhlovodíků pokračuje do výfukového potrubí a katalyzátoru. Oxid uhelnatý vzniká jako produkt nedokonalého spalování a hoření v důsledku nedostatku vzduchu. Tyto

prvky jsou z výfukových plynů eliminovány právě v katalyzátoru, kde probíhá oxidace těchto prvků za vzniku oxidu uhličitého (CO_2) a vodní páry (H_2O). [16]

Oxidy dusíku (NO_x) oproti tomu vznikají při naprosto odlišných podmínkách. Vznikají při spalování mírně chudé či stechiometrické směsi, tedy směsi s přebytkem vzduchu a nedostatkem paliva. V tomto případě je dokonale spálen veškerý obsah paliva ve válci, avšak teplota hoření je vyšší, než při spalování bohaté směsi. Výsledkem spalování směsi při příliš vysoké teplotě je vznik oxidů dusíku (NO_x). Pro jejich eliminaci v katalyzátoru je potřeba provést redukci, při které vzniká dusík (N_2) a vodní pára (H_2O), tedy plyny běžné obsažené v atmosféře. V katalyzátoru tedy musí probíhat jak oxidace, tak redukce. Toho je docíleno použitím třícestného neboli tříložkového katalyzátoru (obrázek č. 15). Ten se skládá z oxidačního a redukčního katalyzátoru, jenž jsou uzavřeny v jednom pouzdře a z lambda sondy před katalyzátorem. [16]



Obrázek č. 15 Řez třícestným katalyzátorem s lambda sondou

Zdroj: autor

2.16.2 Lambda sonda

Lambda sonda neboli snímač obsahu kyslíku ve výfukových plynech, bývá umístěna ve výfukovém potrubí před katalyzátorem, kde je vystavena proudu výfukových plynů. Pomocí elektrického signálu sděluje lambda sonda řídicí jednotce informace o okamžitém obsahu kyslíku ve výfukových plynech a tedy o odchylce složení směsi od stechiometrického

poměru $\lambda = 1$. Současné moderní motory často obsahují lambda sondy dvě, jednu před katalyzátorem a druhou za ním. [8, 28, 29]

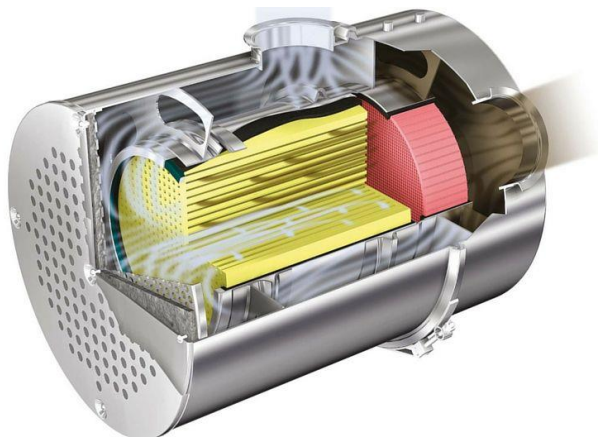
Jelikož lambda sonda může plnit svoji funkci pouze po zahřátí na správnou provozní teplotu, rozlišujeme, zda se jedná o lambda sondu vyhřívanou či nevyhřívanou. Výhodou vyhřívané lambda sondy je rychlejší ohřev na provozní teplotu, při které je schopna měřit množství obsaženého kyslíku ve výfukových plynech. Dokud lambda sonda nedosáhne správné provozní teploty, není schopna měřit množství vzduchu ve výfukových plynech. Nevyhřívané lambda sondě trvá ohřev na provozní teplotu podstatně déle, jelikož se spoléhá pouze na ohřev proudícími výfukovými plyny. [8, 28, 29]

Rozlišujeme, zda se jedná o lambda sondu skokovou či širokopásmovou. Skoková lambda sonda bývá často použita ve starších modelech automobilů. Není schopna určit přesné množství obsaženého kyslíku ve výfukových plynech, je však schopna rozlišit, zda je kyslík ve výfukových plynech obsažen či nikoliv, což přepíná výstupní signál mezi hodnotami 0,1 V a 0,9 V. Širokopásmová lambda sonda je schopna určit množství obsaženého kyslíku ve výfukových plynech přesněji a tím pádem umožňuje dokonalejší nastavení poměru paliva a kyslíku v motoru. Tato lambda sonda dokáže rozlišit hodnotu lambda v intervalu $\lambda = 0,7$ až $\lambda = 4$. Často se používá v kombinaci s druhou lambda sondou za katalyzátorem. Řídící jednotka motoru je schopna porovnávat výstupní hodnoty z lambda sondy před katalyzátorem a za ním. Pokud by se hodnoty shodovaly, znamenalo by to, že katalyzátor správně neplní svoji funkci a že může být poškozen. [8, 28, 29]

2.16.3 DPF filtr – Filtr pevných částic (Diesel Particulate Filter)

Filtr pevných částic, neboli DPF filtr (Diesel Particulate Filter) je zařízení, používané nejčastěji u vznětových ale stále častěji také u moderních zážehových motorů s přímým vstřikem paliva. Účelem filtru pevných částic je zachytávat a vyfiltrovat velmi jemné prachové částice (PM – Particulate Matter) obsažené ve výfukových plynech. Tyto částice jsou zachytávány uvnitř filtru pevných částic, který je umístěn ve výfukovém potrubí automobilu. Uvnitř filtru pevných částic jsou částice zachytávány na porézním sítku (obrázek č. 16). Zároveň jsou tyto částice uvnitř filtru pevných částic spalovány, pokud

výfukové plyny dosáhnou dostatečně vysoké teploty (350 – 500°C), vlivem vyššího zatížení motoru a jeho provozem ve vyšších otáčkách, nejčastěji tedy při provozu automobilu na dálnici. Jelikož se filtr pevných částic během provozu motoru nepřetržitě plní jemnými prachovými částicemi, je jejich spalování naprosto nezbytnou podmínkou pro správnou funkci filtru. Pokud se automobil používá na krátkých trasách či v městském provozu a nedochází k dostatečnému ohřevu filtru a spalování částic, je nutné přistoupit k aktivní regeneraci filtru. Jinak by došlo k jeho úplnému zaplnění. Aktivní regenerace je aktivována, pokud řídicí jednotka zaznamená zvýšení tlaku ve výfukovém potrubí signalizující zaplnění filtru pevnými částicemi. Aktivní regenerace spočívá v úpravě množství spalované směsi a časování vstřikovačů, což vede ke zvýšení teploty výfukových plynů až k 600°C a zapříčiní vyhoření zachycených částic na sítku ve filtru. [16, 17]



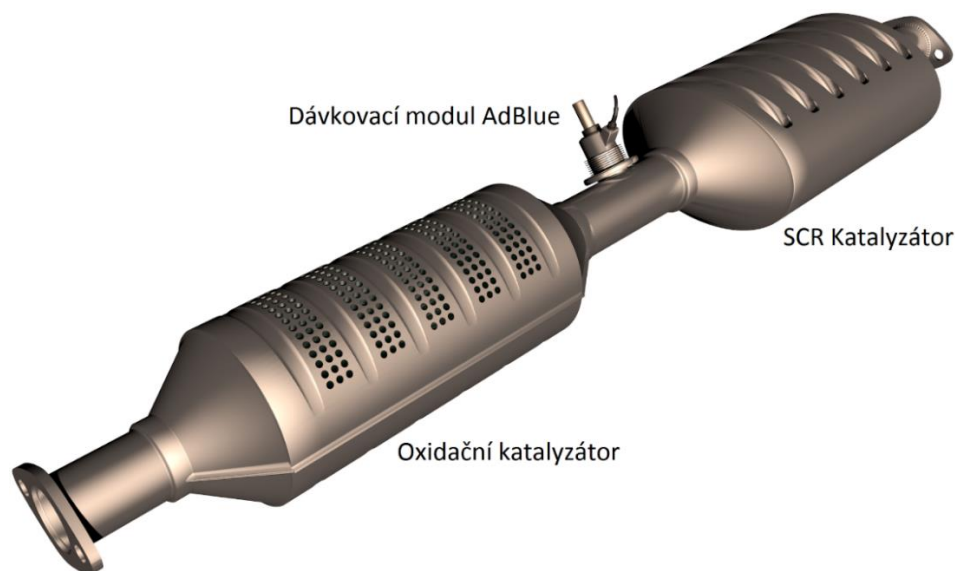
Obrázek č. 16 Řez filtrem pevných částic

Zdroj: [17]

2.16.4 SCR – Selektivní katalytická redukce (Selective Catalytic Reduction)

Hlavním úkolem selektivní katalytické redukce je eliminace obsahu oxidů dusíku (NO_x) ve výfukových plynech vznětových motorů. Nutnost použití této technologie u vznětových motorů na rozdíl od zážehových motorů vychází ze způsobu přípravy směsi paliva. Na rozdíl od zážehových motorů, které obvykle pracují v oblasti stechiometrické směsi $\lambda = 1$, vznětové motory pracují v oblasti chudé směsi paliva, tedy $\lambda > 1$. Díky tomu není možné oxidy dusíku redukovat v redukční části katalyzátoru stejným způsobem jako u zážehových motorů a je nutné použít selektivní katalytickou redukci. Systém SCR se skládá

z SCR katalyzátoru a ze vstřikovací jednotky, která přesně dávkuje speciální roztok AdBlue (obrázek č. 17). Jedná se o 32,5% roztok vody a močoviny. Roztok AdBlue je vstřikován pomocí vstřikovače před SCR katalyzátor do výfukového potrubí. [16]



Obrázek č. 17 Selektivní katalytická redukce

Zdroj: autor

Ve výfukovém potrubí se roztok AdBlue smísí s výfukovými plyny a uvnitř SCR katalyzátoru se rozkládá na oxid uhličitý (CO_2) a amoniak (NH_3). Následně probíhá chemická reakce, při které reaguje amoniak (NH_3) s oxidy dusíku (NO_x). Výsledkem této chemické reakce je vodní pára (H_2O) a dusík (N_2). Výfuk tedy opouští vodní pára (H_2O), dusík (N_2) a oxid uhličitý (CO_2), tedy plyny běžně obsažené v atmosféře, které nejsou zdraví škodlivé. Systém selektivní katalytické redukce je velmi citlivý na správnou teplotu a na přesné dávkování roztoku AdBlue. Jelikož amoniak obsažený v roztoku AdBlue je toxická látka, je nezbytné, aby do výfukového potrubí bylo vstřikováno přesně takové množství, které bude spotřebováno během chemické reakce. Při nedostatečně velké dávce by výfuk opouštěla část oxidů dusíku, ovšem při příliš velké dávce by z výfuku odcházel přebytečný a toxický amoniak, který by byl uvolňován do okolního ovzduší a do atmosféry. Je proto velmi důležité, aby k tomuto procesu nedocházelo. Jelikož roztok AdBlue obsahuje 67,5% vody, je nutné systém v zimních měsících vyhřívat, aby nedošlo k zamrznutí roztoku a k poškození systému SCR. [16]

3 CÍL PRÁCE

Obecným cílem této diplomové práce je přispět ke zlepšení ekologie životního prostředí, které je ohrožováno škodlivými emisemi produkovanými zážehovými a vznětovými spalovacími motory. Jelikož s životním prostředím také úzce souvisí lidské zdraví, je cílem této práce také přispět ke zlepšení zdraví obyvatel, kteří bydlí ve městech nebo blízko dálnic a silnic prvních tříd a působení výfukových emisí jsou vystaveni nejvíce.

Konkrétním cílem této diplomové práce je experimentální ověření vlivu technického stavu zážehového spalovacího motoru automobilu Suzuki Swift GL 1.0 1990 na jeho točivý moment, výkon a produkci škodlivých emisí, přeneseně tedy také vliv na životní prostředí a lidské zdraví.

Konkrétní cíl práce byl realizován v následujících bodech:

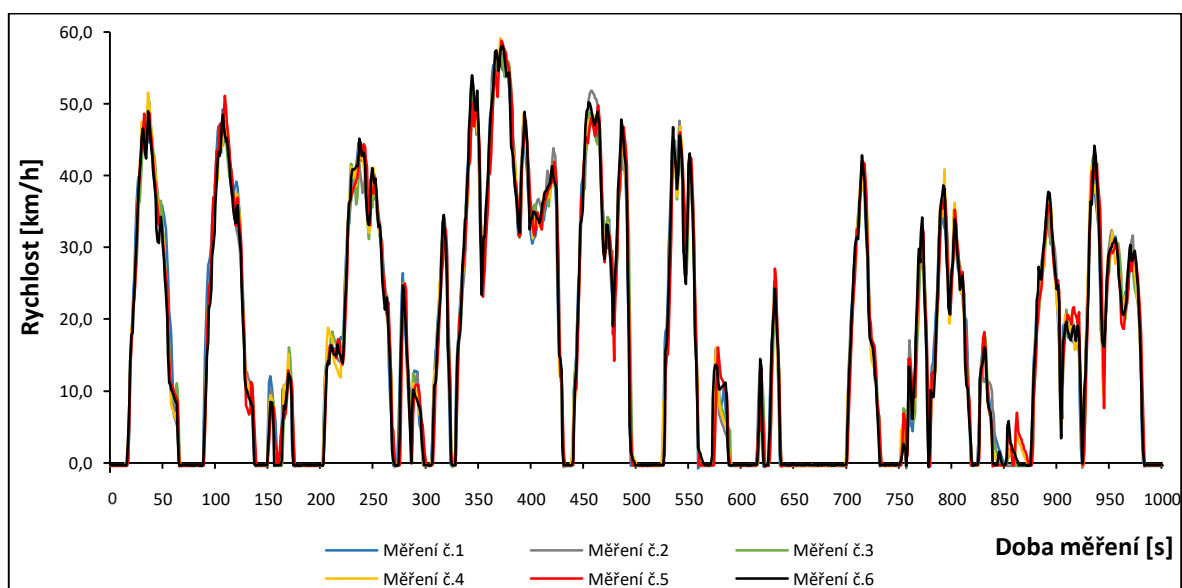
- Měření produkce škodlivých emisí, točivého momentu a výkonu motoru se znečištěným vzduchovým filtrem.
- Měření produkce škodlivých emisí, točivého momentu a výkonu motoru po výměně vzduchového filtru za nový.
- Měření produkce škodlivých emisí, točivého momentu a výkonu motoru po montáži sportovního vzduchového filtru.
- Měření produkce škodlivých emisí, točivého momentu a výkonu motoru bez vzduchového filtru.
- Měření produkce škodlivých emisí, točivého momentu a výkonu motoru po odpojení lambda sondy.

4 METODIKA

Metodika diplomové práce zpřesňuje a rozvádí způsob, jakým bylo dosaženo dílčích cílů této diplomové práce. Popisuje metodiku měření produkce škodlivých emisí, točivého momentu, výkonu motoru a veškeré použité přístroje

4.1 Popis měření emisí

Zkoumané vozidlo Suzuki Swift 1.0 bylo umístěné na válcové zkušební katedry vozidel a pozemní dopravy, vyrobené firmou Schenck 3604/GS56, kde byly měřeny emise produkované motorem za použití jízdních cyklů. Pro měření byl zvolen jízdní cyklus CADC (Common Artemis Driving Cycle) typu Urban, tedy cyklus o délce 4,87 km simulující městský provoz, který je pro toto vozidlo optimálním prostředím, vzhledem k jeho vnějším rozměrům, jízdním vlastnostem a výkonu motoru. Před samotným měřením emisí byly provedeny odpovídající úpravy na motoru, u nichž byla sledována změna produkce a složení výfukových plynů. Motoru byly měněny vzduchové filtry a připojována a odpojována lambda sonda. Na níže uvedeném obrázku č. 18 je uvedeno porovnání jednotlivých jízd na válcové zkušební. Z výsledků je patrné, že všechny jízdy cyklu CADC byly téměř totožné, či pouze s minimálními odchylkami.



Obrázek č. 18 Porovnání jednotlivých měření na válcové zkušební

Měření emisí probíhalo na válcové zkušebně katedry vozidel a pozemní dopravy. Zde bylo umístěno zkoumané vozidlo Suzuki Swift 1.0 (obrázek č. 19). Vozidlo bylo vpředu a vzadu pevně ukotveno za vlečná oka a spaliny z motoru byly odváděny pomocí systému odsávání pryč z prostoru válcové zkušebny. Na sací potrubí motoru byl připojen snímač hmotnostního průtoku vzduchu Sierra Fast-Flo 620S, kterým byl měřen hmotnostní průtok vzduchu motorem. Měření probíhala v následujících variantách:

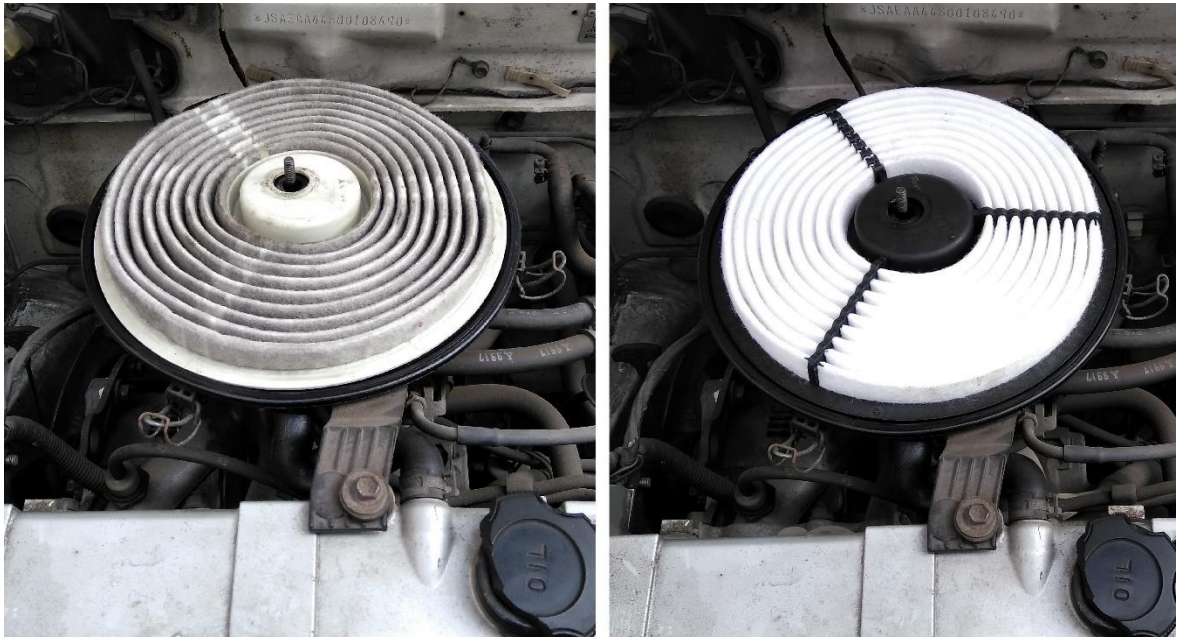
- měření se znečištěným vzduchovým filtrem,
- měření s novým vzduchovým filtrem,
- měření se sportovním vzduchovým filtrem,
- měření bez použití vzduchového filtru,
- měření s odpojenou lambda sondou a s novým vzduchovým filtrem.



Obrázek č. 19 Automobil Suzuki Swift 1.0 při měření emisí na válcové zkušebně

Zdroj: autor

Nový a znečištěný filtr byly vloženy do originálního filtr boxu (obrázek č. 20), sportovní filtr byl připojen na začátek potrubí se snímačem hmotnostního průtoku vzduchu.



Obrázek č. 20 Porovnání starého a nového vzduchového filtru

Zdroj: autor

4.1.1 Jízdní cyklus CADC

Jízdní cyklus CADC (Common Artemis Driving Cycle) pochází původem ze Švédska. Tento cyklus je založený na statistické analýze rozsáhlé databáze evropských modelů řízení v reálném prostředí a používá se pro tvorbu modelu znečištění, které je produkováno silniční dopravou. Dle charakteru provozu lze cyklus CADC rozdělit do následujících simulací:

- simulace městského provozu - CADC Urban,
- simulace meziměstského provozu - CADC Road,
- simulace dálničního provozu - CADC Motorway.

Tyto jednotlivé simulace se odlišují kilometrovou délkou a dobou trvání, také mají odlišný jízdní profil (tabulka č. 1). V průběhu každého jízdního cyklu jsou měřeny škodlivé emise produkované motorem automobilu. Na základě naměřených emisí je poté dopočítána spotřeba paliva metodou uhlíkové bilance. V rámci této diplomové práce byl proveden cyklus simulace městského provozu – CADC Urban. [4, 23, 25]

Tabulka č. 1 Charakteristiky jízdních cyklů CADC [4]

Charakteristika	Urban	Road	Motorway 130	Motorway 150
Délka (s)	993	1082	1068	1068
Vzdálenost (km)	4,874	17,275	28,737	29,547
Průměrná rychlost (km/h)	17,7	57,5	96,9	99,6
Maximální rychlost (km/h)	57,3	111,1	131,4	150,4
Rozdělení rychlostí (%)				
- Volnoběh (0 km/h)	21	2	1	1
- Nízká rychlost (0 – 50 km/h)	77	32	15	14
- Střední rychlost (50 - 90 km/h)	2	59	14	14
- Vysoká rychlost (90 -150 km/h)	0	7	70	71

4.2 Popis měření výkonu motoru

Pro měření výkonu motoru automobilu Suzuki Swift 1.0 byla použita metoda dynamického měření, tzv. akcelerační metoda. Při použití této metody je motor zatěžován pouze svými vlastními setrvačnými silami, nikoliv silami vnějšími. Jedná se tedy o poměrně jednoduché a rychlé měření, které je vhodné pro porovnávání parametrů téhož motoru před úpravami a po úpravách. Pro přesné určení absolutní hodnoty točivého momentu a výkonu motoru by bylo nutné velmi přesně určit moment setrvačnosti motoru.

Jelikož měření výkonu pomocí této metody trvá pouze několik vteřin, je tato metoda vhodná pouze pro atmosféricky plněné motory. Pro motory přeplňované je tato metoda nevhodná, neboť měření je příliš krátké a turbodmychadlo není schopné poskytovat dostatečně vysoký plnicí tlak dříve, než měření skončí.

Pro výpočet výkonu motoru je nejprve nutné stanovit jeho točivý moment podle vztahu (1).

$$Mt = \varepsilon * I \quad (1)$$

Kde: Mt – točivý moment (Nm), ε – úhlové zrychlení klikového hřídele (rad/s^2), I – moment setrvačnosti pohybujících se hmot motoru redukovaných na klikový hřídel (kg.m^2). V průběhu měření je nutné sledovat veličiny ω a ε , tedy úhlovou rychlost a úhlové zrychlení motoru. Samotný výkon motoru je poté vypočítán podle vztahu (2), jako součin točivého momentu a úhlové rychlosti.

$$P = Mt * \omega \quad (2)$$

Kde: P – výkon motoru (W), ω – úhlová rychlost klikového hřídele (rad/s).

Pro měření výkonu motoru automobilu Suzuki Swift 1.0 byl použit mobilní diagnostický přístroj POWER-TESTER. Ten byl připojen k vysokonapěťové cívce rozdělovače motoru, ze které byla podle počtu impulsů za sekundu zjištěna úhlová rychlost a úhlové zrychlení motoru. Po zahájení měření byl sešlápnut pedál akceleračního do krajní pozice, ve které je škrticí klapka motoru plně otevřena. Po dosažení maximální hodnoty otáček motoru bylo měření ukončeno. Výkon byl měřen s různými konfiguracemi motoru a lambda sondy. Výkon byl měřen s novým filtrem sání, dále se starým znečištěným filtrem, se sportovním filtrem a bez vzduchového filtru. Poté byl výkon motoru měřen s připojenou a s odpojenou lambda sondou.

4.3 Zařízení, přístroje a vybavení použité pro provedení experimentu

Pro měření škodlivých emisí, točivého momentu a výkonu motoru bylo použito následující vybavení:

- automobil Suzuki Swift GL 1.0 – 1990,
- analyzátor výfukových plynů BrainBee AGS – 200,
- snímač hmotnostního průtoku vzduchu Sierra Fast-Flo 620S,
- A/D převodník LabJack U6 použitý pro měření průtoku nasávaného vzduchu,
- mobilní diagnostický přístroj pro měření výkonových parametrů POWER-TESTER,
- válcová zkušebna vyrobená firmou Schenck 3604/GS56 v roce 1983.

4.3.1 Automobil Suzuki Swift GL 1.0 – 1990

Všechna měření byla provedena na motoru vozidla Suzuki Swift GL s rokem výroby 1990 (obrázek č. 21). Vozidlo má tříválcový motor o objemu 993 cm³ s výkonem 39 kW. Rozvodový mechanismus je typu OHC (Over Head Camshaft), který je ke klikové hřídeli připojen pomocí rozvodového řemene. Motor je osazen jednobodovým vstřikováním paliva před škrticí klapkou MonoJetronic. Zapalování a předstih jsou řízeny mechanickým rozdělovačem, který je připojen na konec vačkové hřídele. Výfukový systém vozidla se

skládá z třicestného katalyzátoru, před kterým je umístěna skoková lambda sonda bez vyhřívání. Výfuk za katalyzátorem pokračuje středovým a koncovým tlumičem, do kterého byla umístěna měřící sonda analyzátoru výfukových plynů BrainBee AGS – 200.



Obrázek č. 21 Automobil Suzuki Swift GL 1.0 - 1990

Zdroj: autor

4.3.2 Analyzátor výfukových plynů BrainBee AGS – 200

Pro analýzu složení výfukových plynů vozidla Suzuki Swift byl použit analyzátor výfukových plynů BrainBee AGS – 200. Modul pro analýzu výfukových plynů využívá infračervených paprsků a je připojen k měřicímu počítači pomocí sériového portu. Přístroj pracuje s přesností a parametry uvedenými v tabulce č. 2 a 3, přístroj je schopen pracovat v následujících módech [26]:

- měření karburační křivky,
- automatická diagnostika,
- měření efektivnosti funkce katalyzátoru výfukových plynů,
- měření a porovnávání výstupů ze dvou lambda sond,
- měření těsnosti hlavy válců motoru,
- měření tepelné efektivity.

Tabulka č. 2 Přesnost analyzátoru výfukových plynů BrainBee AGS - 200 [26]

Složka emisí	Rozlišení	Přesnost
CO	0,01% obj.	0,03% obj. nebo 5% z měřené hodnoty
CO ₂	0,1% obj.	0,5% obj. nebo 5% z měřené hodnoty
HC	1 ppm obj.	10 ppm obj. nebo 5% z měřené hodnoty
O ₂	0,01% obj.	0,1% obj. nebo 5% z měřené hodnoty
NO _x	1 ppm obj.	10 ppm obj. nebo 5% z měřené hodnoty
Teplota	1°C	2,5°C

Tabulka č. 3 Technické parametry analyzátoru výfukových plynů BrainBee AGS - 200 [26]

Měřicí člen	AMB2 senzor
Průtok měřeného plynu	4 l/min
Test těsnosti	Poloautomatický
Regulace průtoku	Automatická
Automatická kompenzace okolního tlaku	850 – 1060 KPa
Nulování	Automatické
Čas ohřevu na 20°C	Max 10 minut
Reakční čas pro CO, CO ₂ , HC	< 10 s
Reakční čas pro O ₂	< 60 s
Tiskárna	Ne
Display	Ne
Napájecí napětí	12 V DC
Napájecí proud	1,5 A
Pracovní teplota	5 - 40°C
Rozměry	220 x 140 x 430 mm
Hmotnost	5 Kg

4.3.3 Snímač hmotnostního průtoku vzduchu Sierra Fast-Flo 620S

Pro měření hmotnostního průtoku vzduchu, který byl během jízdního cyklu nasáván motorem automobilu Suzuki Swift 1.0, byl použit snímač hmotnostního průtoku vzduchu Sierra Fast-Flo 620S (tabulka č. 4). V závislosti na délce použité sondy snímače je řada 620S vhodná pro měření hmotnostního průtoku vzduchu potrubím o průměru 5 - 120 cm. Měřicí sonda se skládá ze dvou snímačů, konkrétně snímače rychlosti průtoku vzduchu a snímače teploty. Po připojení napájení je snímač rychlosti průtoku vzduchu ohříván na konstantní teplotu konstantním proudem. Protékající proud vzduchu snímač ochlazuje, čímž se mění hodnota proudu procházející čidlem. Po vyhodnocení této změny získáme údaj o rychlosti průtoku vzduchu. Snímač je umístěn

na špičce čidla o průměru 9,5 mm z nerezové oceli, která je vystavena proudu vzduchu (obrázek č. 22). [22]

Tabulka č. 4 Technické parametry snímače hmotnostního průtoku vzduchu Sierra Fast-Flo 620S [22]

Pracovní podmínky:	
Měřitelné plyny	Vzduch, dusík a ostatní nehořlavé nekorozivní plyny
Hmotnostní průtok	Min 0 – 1 Nm/s pro vzduch a dusík Max 0 – 100 Nm/s pro vzduch a dusík
Tlak plynu (MPa)	1,1 MPa při 80°C
Teplota měřeného plynu	-10°C - 80°C
Teplota okolního prostředí	0°C - 50°C
Napájecí napětí	11 – 30 V DC, 625 mA (max)
Výstupní signál	Lineární signál o napětí 0 – 10 V DC
Přesnost měření:	
Přesnost přístroje	± 1%
Opakovatelnost měření	± 0,24%
Teplotní koeficient	± 0,04% při ± 25°C ± 0,06% při ± 25 - 50°C



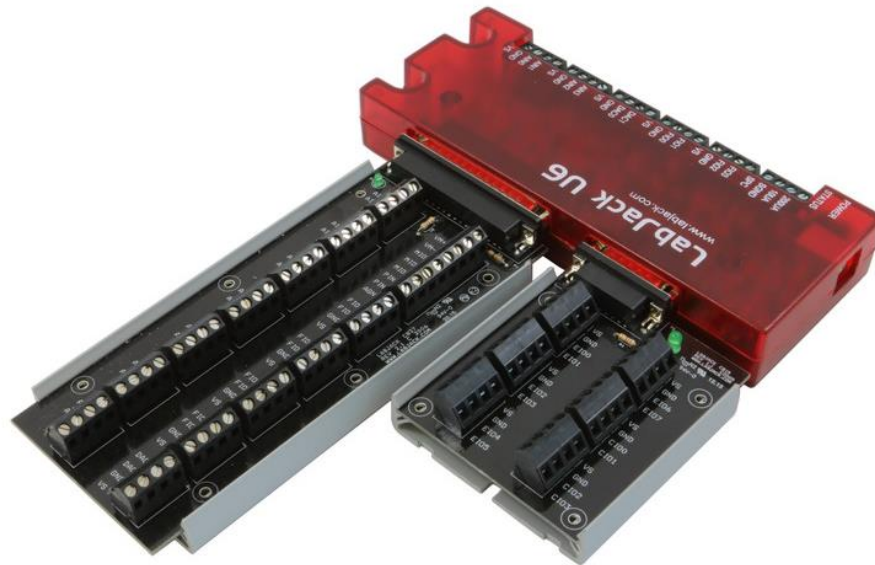
Obrázek č. 22 Senzor snímače hmotnostního průtoku vzduchu Sierra Fast-Flo 620S

Zdroj: [22]

4.3.4 A/D převodník LabJack U6

LabJack U6 je multifunkční analogově digitální převodník připojitelný přes rozhraní USB schopný zpracovávat až 14 externích analogových vstupů (obrázek č. 23). Maximální rozsah vstupního napětí je ± 10 V. Rozlišení analogového vstupního signálu je 16 bitů při maximální

záznamové rychlosti, při nižších rychlostech je rozlišení 18+ bitů. Tento převodník byl použit pro převod analogového výstupního signálu ze snímače hmotnostního průtoku vzduchu Sierra Fast-Flo 620S na signál digitální. [15]



Obrázek č. 23 Multifunkční A/D převodník LabJack U6

Zdroj: [15]

4.3.5 Mobilní diagnostický přístroj pro měření výkonových parametrů POWER-TESTER

Pro měření výkonových parametrů vozidla Suzuki Swift 1.0 byl použit mobilní diagnostický přístroj POWER-TESTER, který je určen pro operativní měření výkonových parametrů spalovacích motorů dynamickým způsobem měření, založeným na principu volné akcelerace. Čelní panel přístroje se skládá z ovládací klávesnice a LCD displeje, na kterém jsou zobrazovány naměřené hodnoty a grafy. Přístroj je vybaven konektorem pro připojení snímací sondy, která se připojuje na vysokonapěťové vedení primárního okruhu zapalování. Dále přístroj obsahuje konektor pro připojení tiskárny a napájení 12 V DC. Technické údaje jsou podrobněji specifikovány v tabulce č. 5 uvedené níže.

Tabulka č. 5 Technické parametry mobilního diagnostického přístroje POWER-TESTER

Obecné údaje:	
Rozměry přístroje	196 x 100 x 40 mm
Rozměry displeje	66 x 66 mm
Hmotnost přístroje	0,35 kg
Klávesnice	membránová
Napájení	9 – 30 V DC
Teplota prostředí při měření	-10 až +50°C
Rozsah měření:	
Výkonové parametry	bez omezení
Počet válců motoru	bez omezení
Otáčky motoru	max 24 000 min ⁻¹
Přesnost měření:	
Výkon (kW)	do 1,5%
Točivý moment (Nm)	do 1,0%
Otáčky (min ⁻¹)	do 0,5%

4.3.6 Válcová zkušebna

Všechna měření škodlivých emisí pro potřeby této diplomové práce byla provedena na modernizované válcové zkušebně katedry vozidel a pozemní dopravy, určené pro homologaci vozidel do 3,5t. Válcová zkušebna byla vyrobena firmou Schenck 3604/GS56 v roce 1983. Parametry válcové zkušebny jsou specifikovány v tabulce č. 6 uvedené níže.

Zkušebna se skládá ze dvou válců, které jsou vzájemně propojeny řetězem. Válce jsou opatřeny protiskluzovým povrchem pro dosažení co nejlepších adhezních vlastností mezi povrchem válce a pneumatikou kola zkoušeného stroje. Pro simulaci setrvačných hmot zkoušeného vozidla je možné podle potřeby připojit či odpojit přídatné setrvačníky. K válcům je dále připojena vířivá brzda o výkonu 125 kW, jež se používá pro potřeby statického měření výkonu a stejnosměrný elektrický motor o výkonu 56 kW, který je použit pro simulaci odporu vzduchu při pohybu vozidla. O sběr dat a ovládání celého pracoviště zkušebny se stará elektronický systém Datalab vytvořený firmou Moravské přístroje a.s. (obrázek č. 24).



Obrázek č. 24 Programové prostředí Datalab pro řízení válcové zkušebny

Tabulka č. 6 Technické parametry válcové zkušebny

Parametry válcové zkušebny	
DC motorgenerátor	Maximální brzdňý výkon 56 kW Maximální brzdňý moment 305 Nm Maximální otáčky 3000 min ⁻¹
Vířivý dynamometr	Maximální brzdňý výkon 125 kW Maximální brzdňý moment 478 Nm Maximální otáčky 8000 min ⁻¹
Válce zkušebny	Dva válce umístěny v páru, sloužící 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.

5 VÝSLEDKY

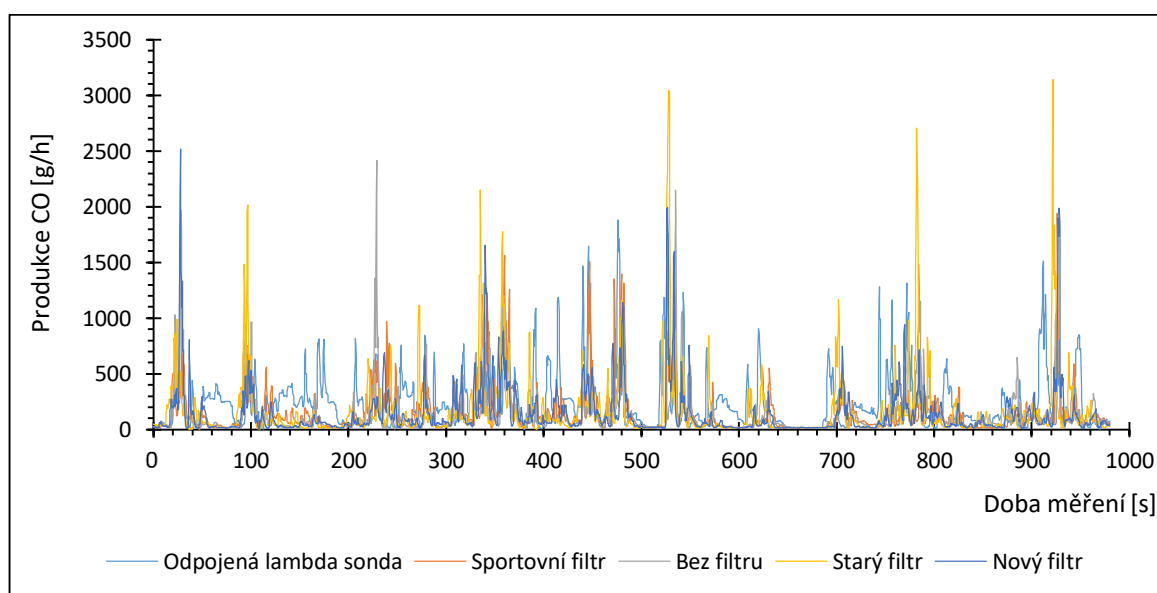
5.1 Výsledky měření emisí

Celkové množství vyprodukovaných škodlivých emisí za jeden jízdní cyklus CADC je uvedeno v tabulce č. 7. Tyto výsledky jsou graficky prezentovány pomocí grafů zobrazujících okamžitou produkci zkoumané složky emisí v průběhu jízdního cyklu v gramech za hodinu, následované porovnáním celkového vyprodukovaného množství zkoumané složky emisí.

Tabulka č. 7 Celkové množství vyprodukovaných složek emisí za jeden jízdní cyklus CADC

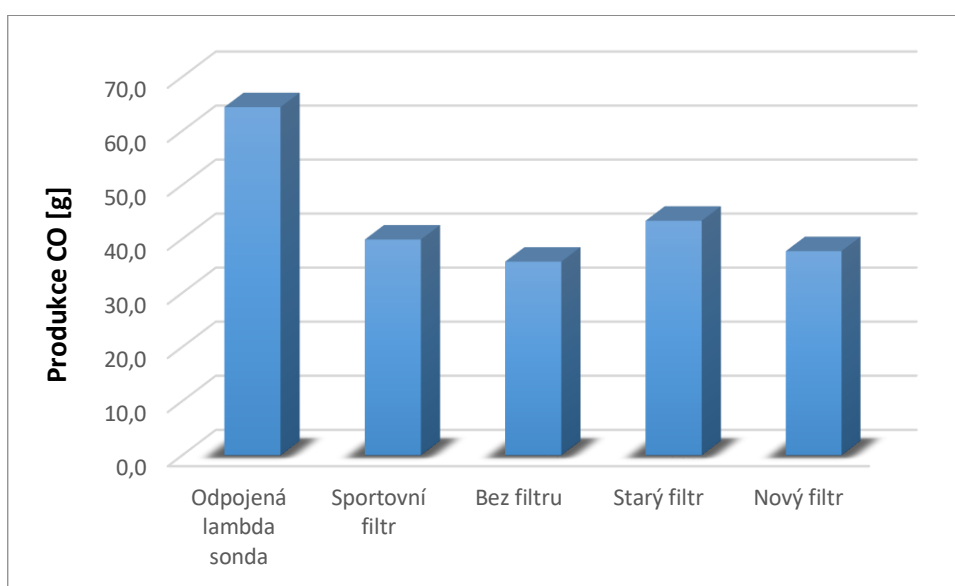
Stav motoru	Zkoumaná složka emisí			
	CO	CO ₂	HC	NO _x
Znečištěný vzduchový filtr	43,357 g	574,794 g	2,726 g	3,571 g
Nový vzduchový filtr	37,730 g	522,526 g	2,814 g	3,595 g
Sportovní vzduchový filtr	39,880 g	541,401 g	3,004 g	3,314 g
Demontovaný vzduchový filtr	35,785 g	531,819 g	2,477 g	3,203 g
Odpojená lambda sonda	64,402 g	546,612 g	2,628 g	2,932 g

Na obrázku č. 25 je znázorněna produkce emisí oxidu uhelnatého (CO) v průběhu celého cyklu CADC pro všechny měřené varianty.



Obrázek č. 25 Okamžitá produkce oxidu uhelnatého (CO) v průběhu jízdního cyklu CADC

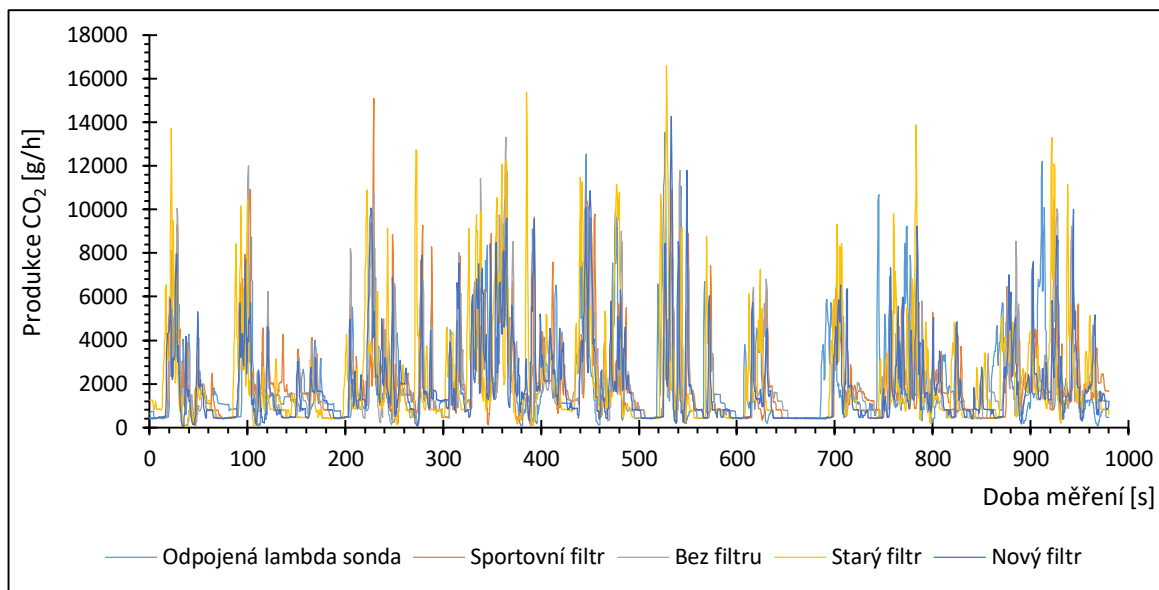
Na obrázku č. 26 je znázorněna celková produkce emisí oxidu uhelnatého (CO) za celý cyklus CADC pro všechny měřené varianty. Z obrázků č. 25 a 26 je patrné, že množství vznikajícího oxidu uhelnatého (CO) významně vzroste po odpojení lambda sondy. To je způsobeno tím, že po odpojení lambda sondy ztratí motor zpětnou vazbu o složení směsi a pracuje v režimu, ve kterém je směs více obohacena pro zabezpečení funkce spalovacího motoru i za cenu vyšší produkce škodlivých emisí. Nejvyšší naměřené hodnoty oxidu uhelnatého s připojenou lambda sondou bylo dosaženo se starým znečištěným vzduchovým filtrem, který kladl proudění vzduchu do motoru největší odpor.



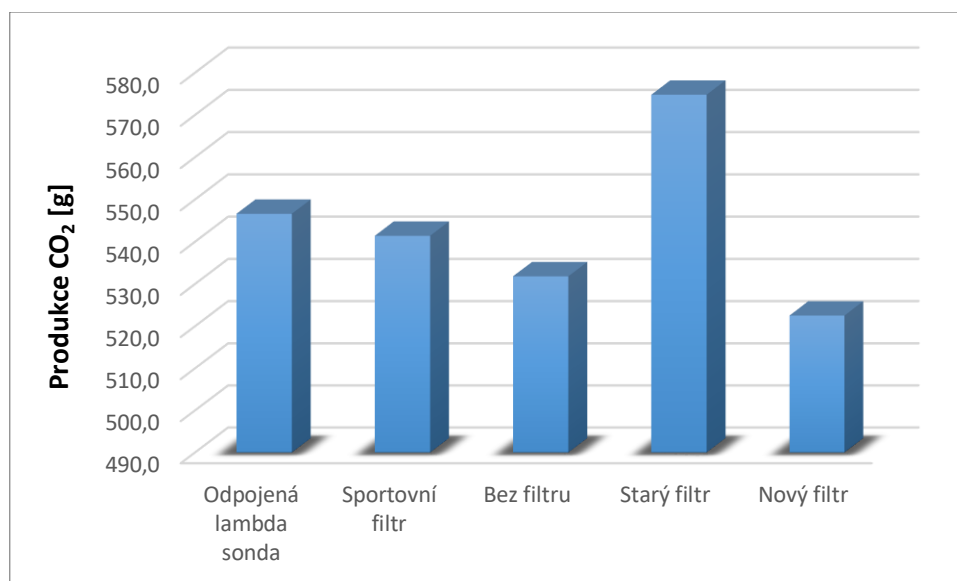
Obrázek č. 26 Celkové množství vyprodukovaného oxidu uhelnatého (CO) v průběhu jízdního cyklu CADC

Na obrázku č. 27 je znázorněna produkce emisí oxidu uhličitého (CO₂) v průběhu celého cyklu CADC pro všechny měřené varianty, na obrázku č. 28 je znázorněna celková produkce emisí oxidu uhličitého (CO₂) za celý cyklus CADC pro všechny měřené varianty.

Z obrázků č. 27 a 28 vyplývá, že největší vliv na produkci oxidu uhličitého (CO₂) má stav použitého vzduchového filtru. Nejvyšší produkce oxidu uhličitého bylo dosaženo s použitím starého a znečištěného vzduchového filtru, který kladl proudění vzduchu největší odpor. Naopak nejnižší produkce oxidu uhličitého bylo dosaženo za použití nového a čistého filtru, který motoru kladl odpor nejmenší.

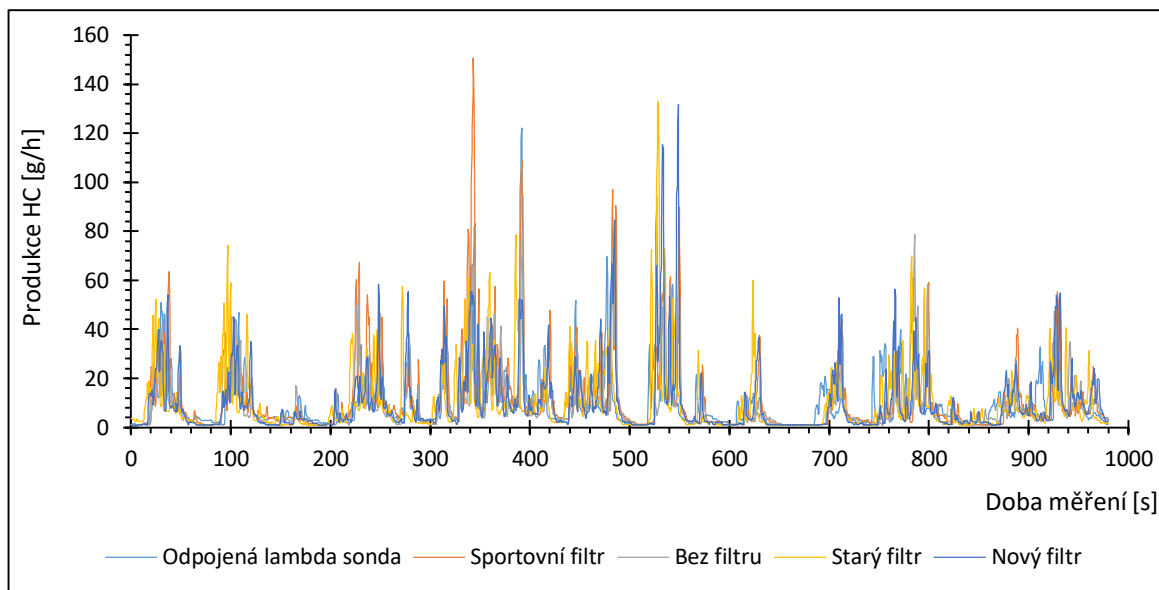


Obrázek č. 27 Okamžitá produkce oxidu uhličitého (CO₂) v průběhu jízdního cyklu CADC

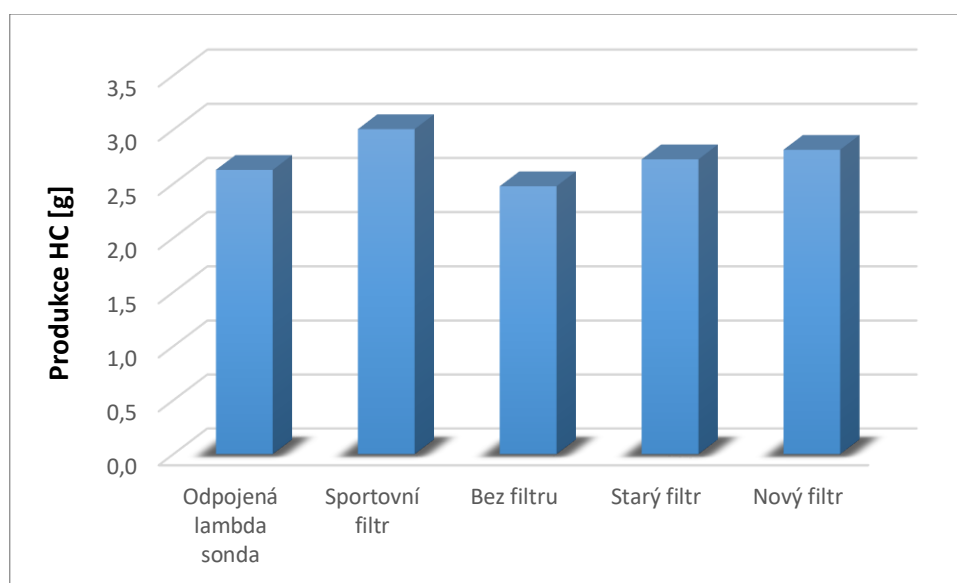


Obrázek č. 28 Celkové množství vyprodukovaného oxidu uhličitého (CO₂) v průběhu jízdního cyklu CADC

Na obrázku č. 29 je znázorněna produkce nespálených uhlovodíků (HC) v průběhu celého cyklu CADC pro všechny měřené varianty, na obrázku č. 30 je znázorněna celková produkce nespálených uhlovodíků (HC) za celý cyklus CADC pro všechny měřené varianty.



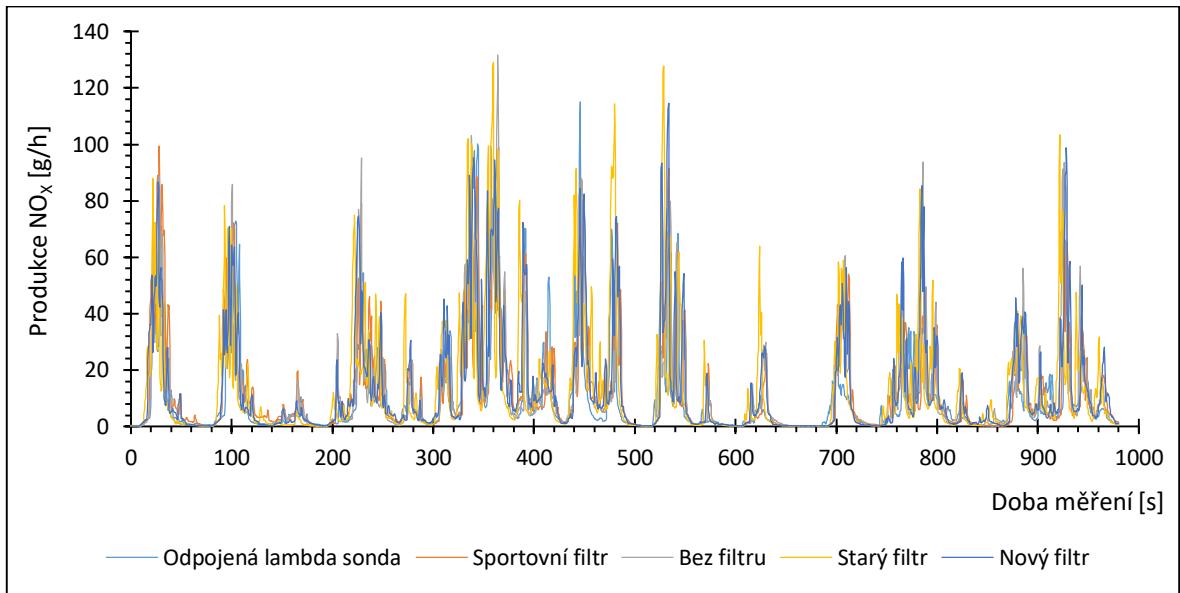
Obrázek č. 29 Okamžitá produkce nespálených uhlovodíků (HC) v průběhu jízdního cyklu CADC



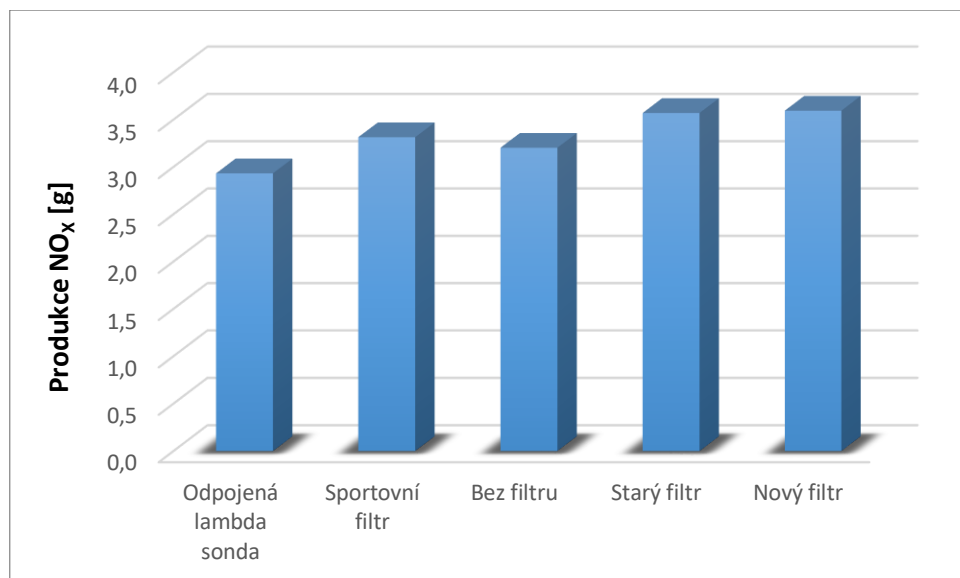
Obrázek č. 30 Celkové množství nespálených uhlovodíků (HC) v průběhu jízdního cyklu CADC

Z obrázků č. 29 a 30 je patrné, že technický stav vzduchového filtru a lambda sondy nemá výraznější vliv na množství vyprodukovaných nespálených uhlovodíků. Minimální rozdíly v jednotlivých měřeních tedy mohou být způsobeny vlivem nepřesnosti měřící techniky, či mírnou odlišností v dávkování paliva pedálem akcelérátoru v průběhu měření jízdního cyklu.

Na obrázku č. 31 je znázorněna produkce emisí oxidů dusíku (NO_x) v průběhu celého cyklu CADC pro všechny měřené varianty, na obrázku č. 32 je znázorněna celková produkce emisí oxidů dusíku (NO_x) za celý cyklus CADC pro všechny měřené varianty.



Obrázek č. 31 Okamžitá produkce oxidů dusíku (NO_x) v průběhu jízdního cyklu CADC



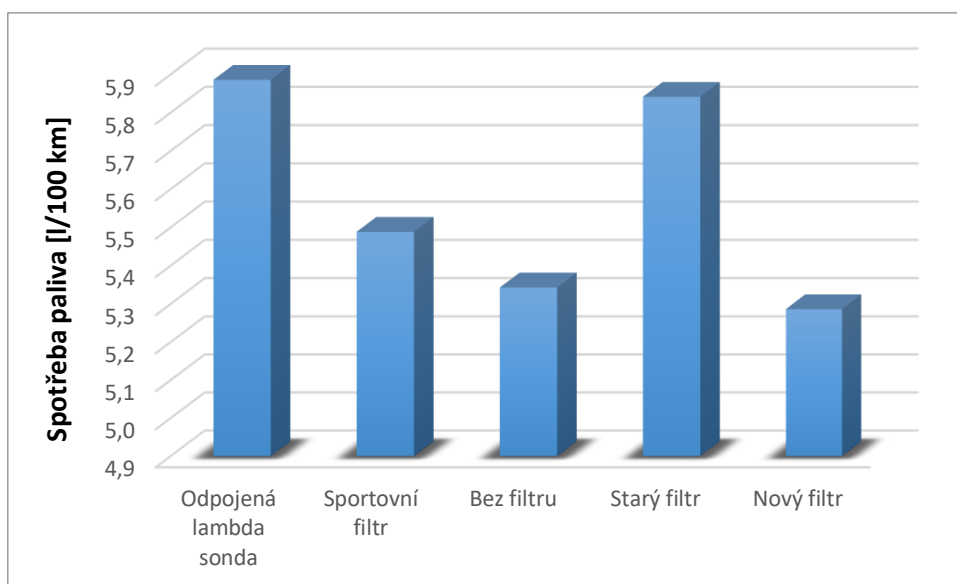
Obrázek č. 32 Celkové množství vyprodukovaných oxidů dusíku (NO_x) v průběhu jízdního cyklu CADC

Z obrázků č. 31 a 32 vyplývá, že technický stav vzduchového filtru nemá výraznější vliv na množství produkovaných oxidů dusíku (NO_x). Při odpojené lambda sondě bylo oxidů dusíku naměřeno nejmenší množství. Motor po odpojení lambda sondy ztratí zpětnou vazbu ohledně složení směsi a pro zabezpečení vlastní funkce mírně obohatí směs. Obohacení směsi způsobuje snížení teploty ve spalovacím prostoru, což je faktor, který má na produkci oxidů dusíku nejméně významný vliv.

Dalším krokem byl výpočet průměrné spotřeby paliva během měření jízdních cyklů pomocí metody uhlíkové bilance (tabulka č. 8). Na obrázku č. 33 je potom znázorněna průměrná spotřeba paliva za celý cyklus CADC pro všechny varianty.

Tabulka č. 8 Průměrná spotřeba paliva během jízdního cyklu CADC

Stav motoru	Spotřeba paliva
Znečištěný vzduchový filtr	5,842 l/100 km
Nový vzduchový filtr	5,286 l/100 km
Sportovní vzduchový filtr	5,489 l/100 km
Demontovaný vzduchový filtr	5,343 l/100 km
Odpojená lambda sonda	5,886 l/100 km

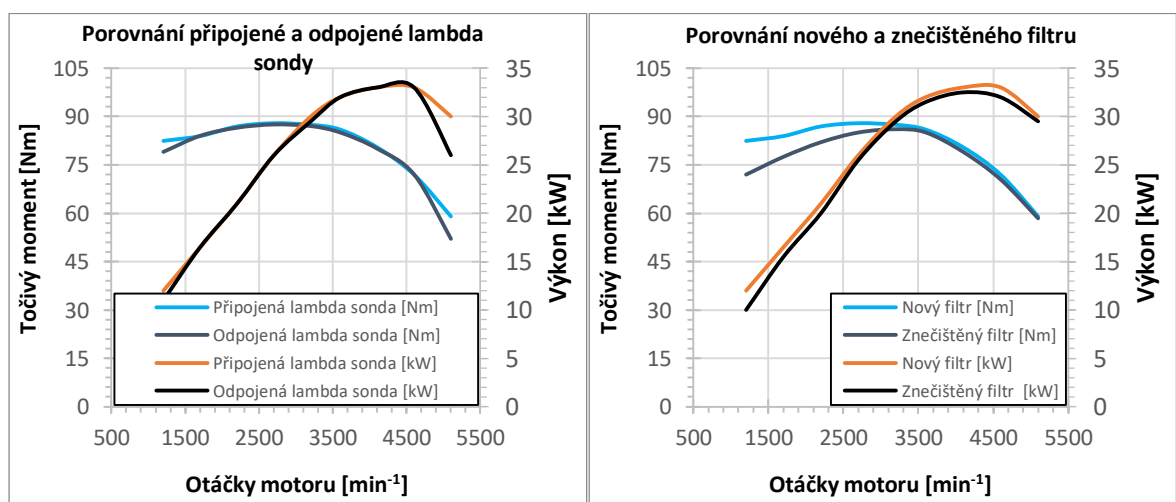


Obrázek č. 33 Průměrná spotřeba paliva během jízdního cyklu CADC

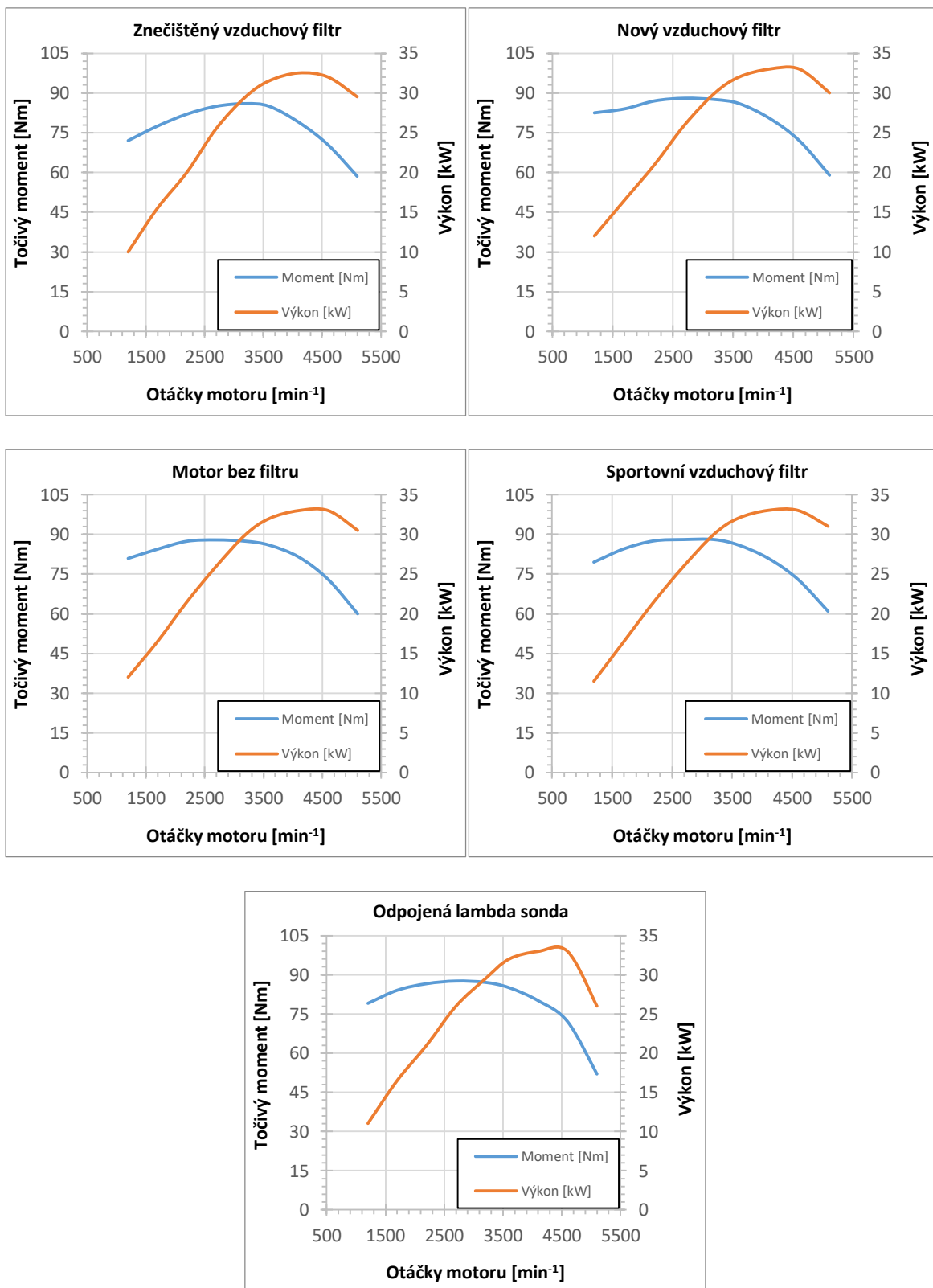
Z tabulky č. 8 a z obrázku č. 33 je patrné, že nejvyšší spotřeby paliva bylo dosaženo po odpojení lambda sondy či při použití starého a znečištěného vzduchového filtru. Po odpojení lambda sondy ztratí motor zpětnou vazbu o složení směsi. Řídící jednotka na tento fakt zareaguje obohacením směsi, což vede ke zvýšení spotřeby paliva. Starý a znečištěný vzduchový filtr klade motoru významně větší odpor při nasávání vzduchu než nový či žádný vzduchový filtr, což má za následek zvýšení spotřeby paliva. Naopak nejnižší spotřeby paliva bylo dosaženo s novým vzduchovým filtrem či při provozu motoru bez vzduchového filtru. Obě tyto varianty kladou motoru nejmenší odpor při sání vzduchu, což vede ke snížení spotřeby paliva.

5.2 Výsledky měření výkonu

Výsledné naměřené hodnoty točivého momentu a výkonu se při použití nového či sportovního filtru téměř neliší, rozdíl ve výsledcích je zanedbatelný. Motor bez filtru sání se chová téměř identicky jako motor se sportovním či novým filtrem (obrázek č. 35). Avšak při použití starého a znečištěného vzduchového filtru lze na obrázku č. 34 pozorovat pokles výkonu a točivého momentu oproti ostatním měřením. Pokles točivého momentu v nízkých otáčkách může být způsoben nepřesností měření, např. rozdílnou rychlostí sešlápnutí pedálu akcelérátoru, pokles točivého momentu ve vysokých otáčkách je způsoben větším odporem proudění vzduchu, který klade znečištěný vzduchový filtr. Při odpojení lambda sondy je viditelný výrazný propad točivého momentu a výkonu ve vysokých otáčkách.



Obrázek č. 34 Porovnání parametrů zkoumaného motoru Suzuki Swift 1.0



Obrázek č. 35 Výsledky měření výkonu motoru Suzuki Swift 1.0

6 ZÁVĚR

Předmětem této diplomové práce bylo posouzení vlivu technického stavu součástí spalovacího motoru na jeho provozní parametry. Toto posouzení bylo realizováno pomocí provedení praktického experimentu s automobilem Suzuki Swift 1.0 z roku 1990.

První část diplomové práce pojednává o spalovacím motoru a jeho funkci, společně se systémy redukcí množství produkovaných škodlivých emisí. Tato část je také doplněna o popis těchto škodlivých složek obsažených v emisích, včetně mechanismu jejich vzniku a jejich dopadu na zdraví člověka a životní prostředí. Následuje praktická část diplomové práce, ve které je popsán samotný experiment, pomocí kterého byl ověřen vliv technického stavu součástí spalovacího motoru na jeho provozní parametry.

Z diplomové práce vyplývá, že lambda sonda má významný vliv na složení emisí spalovacího motoru, především potom na množství oxidu uhelnatého (CO), jehož koncentrace se po odpojení lambda sondy zvýšila o více než 70%. Oproti tomu koncentrace oxidů dusíku (NO_x) klesla po odpojení lambda sondy o 18,5% v důsledku snížení teploty spalování.

Stav vzduchového filtru má dle výsledků experimentu také nezanedbatelný vliv na složení emisí a na spotřebu paliva automobilu. Znečištěný vzduchový filtr způsobuje nárůst produkce oxidu uhličitého (CO₂) o 15%, oxidu uhelnatého (CO) o 10% a spotřeby paliva o více než 10%.

Pro snížení množství produkovaného oxidu uhličitého (CO₂) a tím potažmo i snížení spotřeby paliva osobních a nákladních automobilů bych především doporučil pravidelný a důkladný servis, který včas provede veškeré předepsané preventivní údržby a výměny komponent a filtrů. Také může včas odhalit zhoršení funkce některých komponent ovlivňujících množství produkovaných škodlivých emisí, které jsou vypouštěny do ovzduší a ve výsledku tak může kromě ušetření nákladů na pohonné hmoty vozidla také vést ke zvýšení kvality životního prostředí a zdraví zvířat a lidí.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ADAMCOVÁ, Pavlína. Oxid uhelnatý zabíjí. BOZPinfo.cz, 2010, [online], [cit. - 2019-02-09], Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/oxid-uhelnaty-zabiji>
- [2] BENSON, Rowland S., WHITEHOUSE, N.D. Internal Combustion Engines: A Detailed Introduction to the Thermodynamics of Spark and Compression Ignition Engines, Their Design and Development. Pergamon, 1979, 216s. ISBN 978-0-08-022718-4.
- [3] Bugatti Chiron: Technical specifications [online]. [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://www.bugatti.com/chiron/>
- [4] Common Artemis Driving Cycles (CADC). DieselNet [online]. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.dieselnets.com/standards/cycles/artemis.php>
- [5] Engine-Cooling System [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.cars.com/auto-repair/glossary/engine-cooling-system/>
- [6] FERENC, Bohumil. Spalovací motory – karburátory, vstříkávání paliva a optimalizace parametrů motoru. Brno: Computer Press, a.s., 2009, 388s. ISBN 978-80-251-2545-8.
- [7] HALDERMAN, James D., MITCHELL, Chase D., GLASSMAN, Corey W. Advanced engine performance diagnosis, Third Edition. Upper Saddle River: Pearson / Prentice Hall, 2005, 516s. ISBN 978-0-13-113254-2
- [8] HALDERMAN James D, MITCHELL C D. Diagnosis and troubleshooting of automotive, electrical, electronic, and computer systems. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall, 2006. ISBN 0-13-113327-6.
- [9] How does a 4 stroke engine work. MechStuff [online]. [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://mechstuff.com/how-does-a-4-stroke-engine-work/>
- [10] How Does a Two-Stroke Engine Work. Bikes republic [online]. [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://www.bikesrepublic.com/featured/two-stroke-engine-work/>
- [11] How it Works: Air-Cooled Engine: Unique cars and parts [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://www.uniquecarsandparts.com.au/how_it_works_air_cooled_engine

- [12] HROMÁDKO Jan, HROMÁDKO Jiří, HÖNIG Vladimír, MILER Petr. Spalovací motory. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011, 296s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [13] HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012, 158s. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [14] KAMEŠ, Josef. Speciální motorová vozidla. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, 2002, 109s. ISBN 80-213-0895-8.
- [15] LabJack Measurement & Automation: LabJack U6 Datasheet [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://labjack.com/support/datasheets/u6>
- [16] LINDER Jim, HALDERMAN James D. Automotive fuel and emissions control systems. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, 2006. ISBN 013110442.
- [17] RAC drive: Diesel particulate filters: what you need to know [online]. 2018 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/diesel-particulate-filters/>
- [18] RAUSCHER, Jaroslav. Spalovací motory, studijní opory. Brno: VUT Fakulta strojního inženýrství, 2004, 235s.
- [19] REMEK, Branko. Automobil a spalovací motor: historický vývoj. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012, 159s. ISBN 978-80-247-3538-2.
- [20] RIVOLA, TRONCOSSI, DALPIAZ a CARLINI. Elastodynamic analysis of the desmodromic valve train of a racing motorbike engine by means of a combined lumped/finite element model. Mechanical Systems and Signal Processing. 2007, roč. 21, č. 2, s. 735 - 760
- [21] ROUMI, HAGHIGHAT, MADANI, BAHMANPOUR a OLSEN. An intelligent cooling system and control model for improved engine thermal management. Applied Thermal Engineering. 2018, roč. 128, č.5, s. 253-236
- [22] Sierra Instruments, inc.: Sierra Series 620S Fast-Flo Insertion Mass Flow Meter: Instruction manual. [online]. Amsterdam: Bolstoen 30A 1046 AV, 1999 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <http://www.sierrainstruments.com>
- [23] SILEGHEM, BOSTEELS, MAY, FAVRE a VERHELST. Analysis of vehicle emission measurements on the new WLTC, the NEDC and the CADC. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2014, roč. 32, s. 70-85.

- [24] SINDHU, RAO, MURTHY. Effective reduction of NO_x emissions from diesel engine using split injections. Alexandria Engineering Journal. 2018, roč. 57, č.3, s. 1379-1392.
- [25] ŠTĚRBA, Pavel. Problematika měření spotřeby paliva a vliv pomocných pohonů na její velikost v autobusech hromadné dopravy. Disertační práce, Mendelova univerzita v Brně – Agronomická fakulta, Brno, 2014, 141 s.
- [26] Technology garage: AGS-200 - Exhaust gas analyser for petrol engines [online]. [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: http://www.technology-garage.cz/editor/image/eshop_products_files/file_en_2210.pdf
- [27] VERMA, DAS, KAUSHIK a BHATTI. The effects of compression ratio and EGR on the performance and emission characteristics of diesel-biogas dual fuel engine. Applied Thermal Engineering. 2019, roč. 150, č. 5, s. 1090-1103
- [28] VLK, František. Automobilová elektronika 3. Brno: František Vlk, 2006, 355s. ISBN 80-239-7063-1.
- [29] VLK, František. Lexikon moderní automobilové techniky. Brno: František Vlk, 2005, 344s. ISBN 80-239-5416-4
- [30] VLK, F. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel: výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, řiditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.
- [31] YUSRI, MAMAT, AKASYAH, JAMLOS a YUSOP. Evaluation of engine combustion and exhaust emissions characteristics using diesel/butanol blended fuel. Applied Thermal Engineering. 2019, článek v tisku.

8 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1 Wankelův rotační motor

Obrázek č. 2 Pracovní cyklus dvoudobého motoru [10]

Obrázek č. 3 Pracovní cyklus čtyřdobého motoru [9]

Obrázek č. 4 Jednořadový šestiválcový motor s rozvodem DOHC

Obrázek č. 5 Vidlicový osmiválcový motor s rozvodem OHV

Obrázek č. 6 Čtyřválcový motor boxer s rozvodem DOHC

Obrázek č. 7 Schéma kapalinového chladicího systému spalovacího motoru [5]

Obrázek č. 8 Schéma vzduchem chlazeného spalovacího motoru s nuceným chlazením [11]

Obrázek č. 9 Rozvod SV

Obrázek č. 10 Rozvod OHV

Obrázek č. 11 Rozvod OHC

Obrázek č. 12 Rozvod DOHC

Obrázek č. 13 Desmodromický rozvod

Obrázek č. 14 Porovnání složení výfukových plynů zážehového motoru (vlevo) a vznětového motoru [12]

Obrázek č. 15 Řez třicístným katalyzátorem s lambda sondou

Obrázek č. 16 Řez filtrem pevných částic [17]

Obrázek č. 17 Selektivní katalytická redukce

Obrázek č. 18 Porovnání jednotlivých měření na válcové zkušebně

Obrázek č. 19 Automobil Suzuki Swift 1.0 při měření emisí na válcové zkušebně

Obrázek č. 20 Porovnání starého a nového vzduchového filtru

Obrázek č. 21 Automobil Suzuki Swift GL 1.0 - 1990

Obrázek č. 22 Senzor snímače hmotnostního průtoku vzduchu Sierra Fast-Flo 620S [22]

Obrázek č. 23 Multifunkční A/D převodník LabJack U6 [15]

Obrázek č. 24 Programové prostředí Datalab pro řízení válcové zkušebny

Obrázek č. 25 Okamžitá produkce oxidu uhelnatého (CO) v průběhu jízdního cyklu CADC

Obrázek č. 26 Celkové množství vyprodukovaného oxidu uhelnatého (CO) v průběhu jízdního cyklu CADC

Obrázek č. 27 Okamžitá produkce oxidu uhličitého (CO₂) v průběhu jízdního cyklu CADC

Obrázek č. 28 Celkové množství vyprodukovaného oxidu uhličitého (CO₂) v průběhu jízdního cyklu CADC

Obrázek č. 29 Okamžitá produkce nespálených uhlovodíků (HC) v průběhu jízdního cyklu CADC

Obrázek č. 30 Celkové množství nespálených uhlovodíků (HC) v průběhu jízdního cyklu CADC

Obrázek č. 31 Okamžitá produkce oxidů dusíku (NOX) v průběhu jízdního cyklu CADC

Obrázek č. 32 Celkové množství vyprodukovaných oxidů dusíku (NOX) v průběhu jízdního cyklu CADC

Obrázek č. 33 Průměrná spotřeba paliva během jízdního cyklu CADC

Obrázek č. 34 Porovnání parametrů zkoumaného motoru Suzuki Swift 1.0

Obrázek č. 35 Výsledky měření výkonu motoru Suzuki Swift 1.0

9 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka č. 1 Charakteristiky jízdnicích cyklů CADC [4]

Tabulka č. 2 Přesnost analyzátoru výfukových plynů BrainBee AGS - 200 [26]

Tabulka č. 3 Technické parametry analyzátoru výfukových plynů BrainBee AGS - 200 [26]

Tabulka č. 4 Technické parametry snímače hmotnostního průtoku vzduchu Sierra Fast-Flo 620S [22]

Tabulka č. 5 Technické parametry mobilního diagnostického přístroje POWER-TESTER

Tabulka č. 6 Technické parametry válcové zkušebny

Tabulka č. 7 Celkové množství vyprodukovaných složek emisí za jeden jízdnicí cyklus CADC

Tabulka č. 8 Průměrná spotřeba paliva během jízdnicího cyklu CADC

10 SEZNAM ZKRATEK

CADC – Common Artemis Driving Cycle

NO_x – Oxidy dusíku

CO – Oxid uhelnatý

CO₂ – Oxid uhličitý

N – Dusík

NH₃ – Amoniak (Čpavek)

HC – Nespálené uhlovodíky

H₂O – Voda

COHb – Karboxyhemoglobin

HNO₃ – Kyselina dusičná

PAH - Polycyklické aromatické uhlovodíky

EGR – Exhaust Gas Recirculation – Recirkulace výfukových plynů

DPF – Diesel Particulate Filter – Filtr pevných částic

PM – Particulate Matter – Pevné částice

SCR – Selective Catalytic Reduction – Selektivní katalytická redukce

OHV – Over Head Valve

OHC – Over Head Camshaft

SOHC – Single Over Head Camshaft

DOHC – Double Over Head Camshaft

SV – Side Valves