

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH  
BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

---

Katedra:

Zemědělské techniky a služeb

Obor:

Zemědělská technika, obchod, servis a služby

---

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Téma:

**POROVNÁNÍ PALIV PRO SPALOVACÍ MOTORY Z HLEDISKA HODNOT  
EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ**

---

Vypracoval:

**Petr Václavík**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Václav Vávra, Ph.D.**

Rok odevzdání:

**2009**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr VÁCLAVÍK**  
Studijní program: **B4131 Zemědělství**  
Studijní obor: **Zemědělská technika, obchod, servis a služby**

Název tématu: **Porovnání paliv pro spalovací motory z hlediska hodnot emisí výfukových plynů.**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je porovnat zvolené alternativní paliva pro spalovací motory s konvenčními z hlediska hodnot emisí výfukových plynů.

V období na konci 2. světové války ropa ovládla trh s palivy a v současné době jsou nejužívanějšími pohonnými hmotami v dopravě benzín a nafta. Ropa jako výchozí surovina k výrobě paliv je ale vyčerpateľný zdroj, který se navíc často nachází v politicky nestabilních oblastech. Proto se hledají nová (či staronová) paliva, která by je nahradila, a snížila tak závislost na dovážené ropě. Dalším důvodem k zavádění alternativních paliv je snížení zátěže životního prostředí z emisí či podpora zemědělství při výrobě surovin pro biopaliva. Problematika alternativních paliv a pohonů v dopravě, zejména biopaliv, CNG, vodíkových technologií, elektrických a hybridních pohonů, jejich podpora zavádění a vliv na životní prostředí, je v současnosti vysoce aktuální téma, což se odráží mimo jiné v požadavcích evropské strategie k udržitelnému rozvoji a konkrétně ve směrnici 2003/30/ES.

Zadaná práce by měla obsahovat:

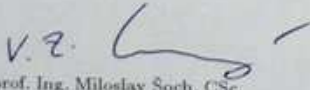
- možnosti náhrady konvenčních paliv na bázi ropy,
- technické řešení úprav spalovacích motorů pro použití alternativních paliv,
- řešení odlišné technologie pohonu vozidel,
- porovnání alternativních a klasických paliv pro spalovací motory,
- analýzu problematiky emisí výfukových plynů spalovacích motorů,
- vlastní měření emisí výfukových plynů s použitím vybraných paliv,
- zpracování a vyhodnocení získaných informací.

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 60 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

Pražák, V.: Alternativní motorová paliva. Echo 2003/-/1/3;  
Poruban, Steven: Hydrogen fuel gets a push. Oil and Gas J. 2002/100/27/17;  
Laurin, J.: Využití etylalkoholu jako motorového paliva. Energetika 1998/3/4/101;  
Takáts, M.: Příslušenství plynových motorů, ČVUT, 1996/24;  
Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů, ČVUT, 1997/111;  
Zákon č. 56/2001 Sb;  
směrnice EU: č. 2003/30/ES, 2000/71/ES, 2003/17/ES, č. 2002/159/ES;  
Matějovský, V.: Automobilová paliva. Grada, 2005;  
<http://www.cappo.cz/veletrh2003/kittel.html>;  
<http://www.hybrid.cz/slovnicek/>;  
[http://www.mdcz.cz/cs/Strategie/Zivotni\\_prostredi/Alternativni\\_paliva.htm](http://www.mdcz.cz/cs/Strategie/Zivotni_prostredi/Alternativni_paliva.htm).

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Vávra, Ph.D.  
Katedra zemědělské techniky a služeb  
Datum zadání bakalářské práce: 15. ledna 2008  
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2009

  
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentůváká 13  
370 05 České Budějovice

  
Ing. Milan Fríd, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 14. března 2008

## **Poděkování**

**Děkuji Ing. Václavu Vávrovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při zpracování této bakalářské práce. Dále chci poděkovat společnosti AUTO KALNÝ s.r.o, v Čimicích, za jejich technické zázemí a technikovi této společnosti panu Václavu Pitelovi, za ochotu a rady při měření.**

## **Prohlášení**

**Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma: „POROVNÁNÍ PALIV PRO SPALOVACÍ MOTORY Z HLEDISKA HODNOT EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ“ jsem zpracoval samostatně na základě vlastních zjištění a měření. Použitou literaturu uvádím v seznamu literatury.**

.....

**V Českých Budějovicích dne**

.....

**Podpis**

# OBSAH

<b>1. ÚVOD</b> .....	9
1.1. EMISE PALIV .....	9
<b>2. LITERÁRNÍ PŘEHLED</b> .....	10
2.1. POJEM PALIVA A POHONNÉ HMOTY .....	10
2.2. DRUHY PALIV .....	10
2.3. KAPALNÁ PALIVA .....	11
2.3.1. BENZIN .....	11
2.3.2. PETROLEJ .....	13
2.3.3. MOTOROVÁ NAFTA .....	14
2.3.4. ETANOL .....	16
2.3.5. ROSLTINNÉ OLEJE A METYLESTERY .....	17
2.4. PLYNNÁ PALIVA .....	19
2.4.1. SVÍTIPLYN .....	19
2.4.2. ZEMNÍ PLYN (ZP) .....	20
2.4.3. LPG .....	21
2.4.4. DŘEVOPLYN .....	23
2.4.5. BIOPLYN .....	24
2.4.6. SKLÁDKOVÝ PLYN .....	25
2.5. OSTATNÍ ZDROJE PALIV .....	25
2.5.1. VODÍK .....	25
2.5.2. PALIVOVÉ ČLÁNKY .....	26
2.6. EMISE .....	28
2.6.1. SLOŽENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ SPALOVACÍHO MOTORU .....	30
2.6.2. CHARAKTERISTIKA SLOŽEK SPALIN .....	30
2.7. LABORATORNÍ METODY PRO ZJIŠŤOVÁNÍ KONCENTRACE PLYNNÝCH SLOŽEK .....	32
2.7.1. MĚŘENÍ ZALOŽENÉ NA PRINCIPU ABSORBCE INFRAČERVÉHO ZÁŘENÍ .....	32
2.7.2. MĚŘENÍ ZALOŽENÉ NA PRINCIPU ABSORBCE ULTRAFIALOVÉHO ZÁŘENÍ .....	33
2.7.3. MĚŘENÍ S VYUŽITÍM CHEMICKÉ LUMINISCENCE .....	34
2.7.4. MĚŘENÍ ZALOŽENÉ NA PRINCIPU ZMĚNY ELEKTRICKÉ VODIVOSTI VODÍKOVÉHO PLAMENE .....	35

2.7.5. ANALYZÁTORY PRACUJÍCÍ NA PRINCIPU MĚŘENÍ MAGNETICKÝCH VLASTNOSTÍ .....	36
2.7.6. LABORATORNÍ MĚŘENÍ EMISÍ ČÁSTIC ZE VZNĚTOVÝCH MOTORŮ ...	37
<b>3. CÍL PRÁCE</b> .....	38
<b>4. METODIKA</b> .....	39
4.1. POPIS MĚŘENÉHO VOZIDLA .....	39
4.2. MĚŘENÁ PALIVA .....	39
4.3. POPIS POUŽITÉ MĚŘICÍ APARATURY .....	39
4.4. POSTUP MĚŘENÍ EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ .....	41
4.5. MĚŘENÉ PARAMETRY .....	44
4.6. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT .....	45
<b>5. NAMĚŘENÉ EMISNÍ HODNOTY</b> .....	46
5.1. VÝSLEDKY MĚŘENÍ EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ BA SPECIAL 91 .....	46
5.2. VÝSLEDKY MĚŘENÍ EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ BA NATURAL 95 .....	48
5.3. VÝSLEDKY MĚŘENÍ EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ SHELL V – POWER RACING .....	50
5.4. VÝSLEDKY MĚŘENÍ EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ LPG .....	52
<b>6. PŘEHLED NAMĚŘENÝCH HODNOT</b> .....	54
6.1. CELKOVÝ PŘEHLED PŘI VOLNOBĚŽNÝCH OTÁČKÁCH_PRVNÍ MĚŘENÍ ...	54
6.2. PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLEDOVANÝCH SLOŽEK EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ .....	54
6.2.1. SLOŽKA OXIDU UHLNATÉHO .....	54
6.2.2. SLOŽKA OXIDU UHLIČITÉHO .....	55
6.2.3. SLOŽKA KYSLÍKU .....	55
6.2.4. SLOŽKA NESPÁLENÝCH UHLOVODÍKŮ .....	56
6.3. CELKOVÝ PŘEHLED PŘI ZVÝŠENÝCH OTÁČKÁCH_PRVNÍ MĚŘENÍ .....	56
6.4. PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ PŘI ZVÝŠENÝCH OTÁČKÁCH .....	57
6.4.1. SLOŽKA OXIDU UHLENATÉHO .....	57
6.4.2. SLOŽKA OXIDU UHLIČITÉHO .....	57
6.4.3. SLOŽKA KYSLÍKU .....	58
6.4.4. SLOŽKA NESPÁLENÝCH UHLOVODÍKŮ .....	58
6.5. CELKOVÝ PŘEHLED PŘI VOLNOBĚŽNÝCH OTÁČKÁCH _DRUHÉ MĚŘENÍ...59	
6.6. PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ .....	59

6.6.1. SLOŽKA OXIDU UHELNATÉHO .....	59
6.6.2. SLOŽKA OXIDU UHLIČITÉHO .....	60
6.6.3. SLOŽKA KYSLÍKU .....	60
6.6.4. SLOŽKA NESPÁLENÝCH UHLOVODÍKŮ .....	61
6.7. CELKOVÝ PŘEHLED PŘI ZVÝŠENÝCH OTÁČKÁCH_DRUHÉ MĚŘENÍ .....	61
6.8. PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ .....	62
6.8.1. SLOŽKA OXIDU UHELNATÉHO .....	62
6.8.2. SLOŽKA OXIDU UHLIČITÉHO .....	62
6.8.3. SLOŽKA KYSLÍKU .....	63
6.8.4. SLOŽKA NESPÁLENÝCH UHLOVODÍKŮ .....	63
<b>7. POROVNÁNÍ OBOU MĚŘENÍ .....</b>	<b>64</b>
7.1. CELKOVÝ PŘEHLED PŘI VOLNOBĚŽNÝCH OTÁČKÁCH .....	64
7.2. CELKOVÉ PŘEHLED PŘI ZVÝŠENÝCH OTÁČKÁCH .....	66
<b>8. DISKUZE .....</b>	<b>69</b>
8.1. VYHODNOCENÍ EMISÍ PŘI VOLOBĚŽNÝCH OTÁČKÁCH .....	69
8.1.1. SLEDOVANÁ SLOŽKA CO .....	69
8.1.2. SLEDOVANÁ SLOŽKA CO <sub>2</sub> .....	70
8.1.3. SLEDOVANÁ SLOŽKA O <sub>2</sub> .....	70
8.1.4. SLEDOVANÁ SLOŽKA HC .....	71
8.2. VYHODNOCENÍ EMISÍ PŘI ZVÝŠENÝCH OTÁČKÁCH .....	72
8.2.1 SLEDOVANÁ SLOŽKA CO .....	72
8.2.2. SLEDOVANÁ SLOŽKA CO <sub>2</sub> .....	73
8.2.3. SLEDOVANÁ SLOŽKA O <sub>2</sub> .....	73
8.2.4. SLEDOVANÁ SLOŽKA HC .....	74
8.3. POZNATKY .....	75
8.4. OMEZENÍ VZNIKU ŠKODLIVIN .....	77
<b>9. ZÁVĚR .....</b>	<b>79</b>
<b>10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>81</b>



# 1. ÚVOD

## 1.1. EMISE PALIV

Je to už dávno, kdy byl objeveno „černé zlato“, které již přes sto let se podílí na rozvoji lidské společnosti. Při každé oxidaci paliv vznikají emise, které jsou složeny ze složek negativně, či pozitivně působící na své okolí. Reakcí na negativní působení emisí z fosilních paliv, se vývoj a nové trendy zaměřují na dokonalé spalování, snižování spotřeb paliv, zvyšování účinnosti spalovacího procesu a v neposlední řadě zavádění nových paliv, s lepšími emisními hodnotami. Jistě se naše generace potká u svých čerpacích stanic, jak s palivy na bázi ropy, tak i dnes pro nás hudbou budoucnosti znějící např. etylalkohol a vodík. Samozřejmě, že paliva budoucnosti, nejsou žádnou novinkou. Ale dnešní doba si vyžaduje šetrných opatření vůči našemu životnímu prostředí ohledně produkce emisí, tak i náhradu za snižující se zásoby ropy.

## 2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 2.1. POJEM PALIVA A POHONNÉ HMOTY

Paliva rozeznáváme konvenční a nukleární, která jsou využívána například v jaderné energetice[4]. Pro motoristy jsou v popředí paliva konvenční, jež pomocí chemické reakce na základě oxidace, uvolňují tepelnou energii.

Palivo je možno definovat jako látku, která splňuje souběžně tato hlediska:

- 1) energetické, tj. spalováním uvolňuje značné množství tepla, vztažené na jednotku hmotnosti, nebo objemu ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,  $\text{kJ}\cdot\text{dm}^3$ ).
- 2) ekonomické vyjadřuje minimální cenu za produkovaný kJ ( $\text{Kč}\cdot\text{kJ}^{-1}$ ) a zohledňuje maximální cenovou dostupnost pro odběratele vyjádřenou v Kg za kg paliva.
- 3) ochrany životního prostředí, zejména ovzduší proti znečištění sírou, oxidy dusíku apod.

Paliva je možno dělit dle skupenství:

- a) tuhá (dřevo, uhlí, koks, rašelina)
- b) kapalná (ropa, benzín, motorová nafta, topné oleje, mazut, syntetický benzín)
- c) plynná (zemní plyn, bahenní plyn, svítiplyn, generátorový plyn)

### 2.2. DRUHY PALIV [2]

- automobilové benziny
- motorová nafta
- petrolej (kerosin)
- zkapalněné ropné plyny LPG (propan-butanové směsi)
- zemní plyn – stlačený (CNG) nebo zkapalněný (LNG)
- alkoholy – metanol, etanol (lív), vyšší alkoholy
- étery s pěti a více uhlíky – metyl terciální butyl éter (MTBE) a další
- metylestery mastných kyselin (například kyselin řepkového oleje) a jejich směsi s motorovou naftou, tzv. směsné motorové nafty (známé pod často nesprávně užívaným názvem bionafta)
- vodík
- exotická paliva – amoniak, nitrometan, dimetyléter, aceton – butanolová směs
- bioplyn a různé chudé plyny s malou výhřevností, obsahující větší množství oxidu uhličitého a dusíku.

## 2.3. KAPALNÁ PALIVA

Jsou hojně zastoupena na trhu s palivy, jako energetické médium pro spalovací motory.

### 2.3.1. BENZIN

#### Výroba

Základní surovinou pro výrobu benzinů, je ropa, těžená v různých oblastech světa. Jak na souši, tak na moři. Výroba benzinů spočívá v atmosférické destilaci ropy a následném zušlechťení (dodání aditiv) získané frakce. Benziny jsou tvořeny lehkou frakcí vznikající při destilaci do teplot cca 210 °C.

#### Vlastnosti

Benziny se užívají jako palivo pro zážehové motory. Palivo je nasáváno společně se vzduchem do spalovacího prostoru, kde je při stlačení a zažehnutí paliva vyvoláno spalování směsi paliva se vzduchem. Výhřevnost benzinu je 45 MJ.kg<sup>-1</sup>. [3]

Teoretická spotřeba vzduchu na spálení: 1 kg benzinu je třeba 14,5 kg vzduchu. [3]  
Jinak skutečnou spotřebu vzduchu lze určit stecheometrickými rovnicemi úplného spálení C, H<sub>2</sub>, S a CO. Musíme znát chemické složení a molární hmotnost reagujících látek. Spotřeba vzduchu se mění i se strukturou spalovaných sloučenin směsi. Nejvyšší spotřebu vzduchu mají při spalování n-alkany, nejnižší spotřeba je u aromatických uhlovodíků.

Při spalování můžeme dále pracovat s přebytkem nebo s nedostatkem vzduchu v porovnání s teoretickým množstvím. Hovoříme o chudé nebo o bohaté směsi.

#### Chudá směs

Použijeme-li větší množství než odpovídá teoretické spotřebě, tj. 15 – 20 hmotnostních dílů vzduchu na 1 hmotnostní díl benzinu, hovoříme o chudé směsi. Při poměru vyšším než, 20:1 se směs nezapálí, protože je příliš zředěná.

#### Bohatá směs

Při použití menšího množství vzduchu cca 13 – 7:1 hovoříme o bohaté směsi. Při snížení poměru pod 7:1 se směs již nezapálí, protože je v ní nedostatek kyslíku. Uvedené poměry ovlivňují rychlost, průběh spalování a složení výfukových plynů.

Poměr vzduchu a paliva se někdy charakterizuje pomocí tzv. poměru lambda ( $\lambda$ ), který je definován dle rovnice 2.3.1.

$$\lambda = \frac{m_L}{L_t \cdot m_p} \quad [1] \quad (2.3.1.)$$

$\lambda$  [1] – součinitel přebytku vzduchu

$m_L$  [kg] – hmotnost vzduchu

$m_p$  [kg] – hmotnost paliva

$L_t$  [kg] – teoretické množství vzduchu

Je-li:  $\lambda < 1$  – jedná se o bohatou směs,  $\lambda > 1$  – směs se označuje jako chudá.

Normální rychlost hoření u zážehových motorů se pohybuje mezi 30 – 90 m.s<sup>-1</sup>. Rychlost se zvyšuje s turbulencí směsi ve válci, která je způsobena pohybem pístu ve válci. Pro měření náchylnosti benzínu ke klepání (spontánní vznícení zbytku neshořelé směsi), při spalování byla vytvořena umělá stupnice, kde krajní hodnoty byly definovány pomocí dvou uhlovodíků, kterým byly přiděleny hodnoty nula a sto a další body této stupnice se tvoří mísením objemových procent obou uhlovodíků.[3]

- 100 % obj. = tzv. izooktan (2,2,4 – trimethylpentan), málo náchylné ke klepání
- 0 % obj. = n – heptan, náchylné ke klepání

Testovaný benzin se spaluje ve směsi se vzduchem v předepsaném zkušebním motoru, kde se mění kompresní poměr, předstih apod. a zjišťuje se okamžik, kdy motor začne klepat. Nyní se hledá směs „izooktanu“ s n-heptanem (vyjádřeno % obj.), která klepe za stejných podmínek jako testovaný benzin. Např. benzin, který při spalování klepe jako směs 90 % obj., „izooktanu“ a 10 % obj., n-heptanu, má oktanové číslo 90.

Pro měření oktanového čísla bylo vypracováno několik metod a pro automobilové motory se používají:

- a) oktanové číslo výzkumnou metodou (OČVM), kdy se měření provádí na speciálním motoru při 600 ot.min<sup>-1</sup>.
- b) oktanové číslo motorovou metodou (OČMM), které se měří při 900 ot.min<sup>-1</sup>.

OČVM bývá větší než OČMM a údaje u tuzemských čerpacích stanic uvádějí OČVM, v zahraničí se někdy uvádí i hodnota OČMM. Hodnota OČ se mění i s otáčkami motoru. Při 3000 ot.min<sup>-1</sup>. může být OČ až o 8 jednotek nižší než při 1000 ot.min<sup>-1</sup>. Zvyšováním otáček se snižuje náchylnost ke klepání, protože víření snižuje teplotu náplně.[3] Důležitý je technický stav motoru (úsady na stěnách válce, apod.).

#### Požadavky na palivovou soustavu

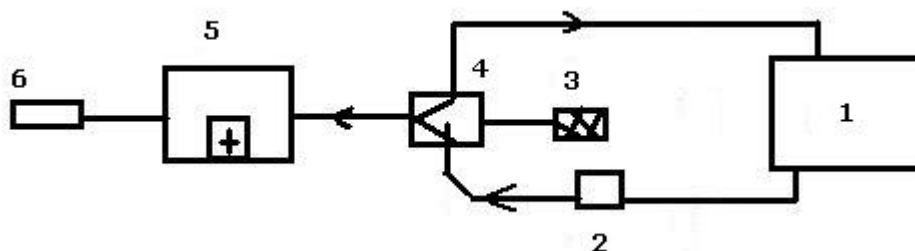


Schéma 2.3.1. Palivová soustava zážehového motoru

1. palivová nádrž, 2. dopravní čerpadlo s filtry, 3. čistič vzduchu, 4. směšovač (vstříkovací soustava), 5. spalovací prostor, 6. výfukové potrubí,

- Moderní palivové nádrže (1) nemají ve spodu výpust, takže čištění je možné buď otvorem pro čerpadlo, nebo vyplachováním vymontované nádrže z vozidla. [2] To samozřejmě přináší problémy, pokud se do nádrže dostane voda nebo velké množství nečistot.
- Dopravní čerpadlo (2) dodává do palivové soustavy například kolem 120 litrů benzínu za hodinu pod tlakem 0,3-0,5 MPa, přebytek paliva ze směšovacího zařízení (až 90%), se vrací zpět do nádrže.
- Filtry (čističe) paliva (2), v palivových systémech motorů musí být veškerá čerpadla a pístové prvky (vstřikovače) chráněny před nečistotami takovým způsobem, aby vstupující palivo, které dopravují, bylo přečištěno účinnou filtrací. Vzhledem k malé viskozitě se velmi dobře filtrují benziny a postačují k tomu filtry s poměrně malou plochou.

Z uvedeného krátkého popisu palivové soustavy zážehového motoru je zřejmé, že musí být schopna dlouhodobě snášet i benziny se značně variabilním složením, aniž by to ovlivňovalo spolehlivost její funkce, ale neznamená to, že lze do benzínu přikládat cokoliv, ať už jde o neznámou přísadu nebo jako benzin vypadající různá rozpouštědla, ředidla apod. tedy látky, které mohou poškodit materiály a narušit funkci součástí čerpadla. Proto jsou přípustné neuhlovodíkové složky benzínu taxativně vyjmenovány v normě ČSN EN 228.

#### Emise

V dnešní době vyráběné druhy benzinů, mají různá zastoupení uhlovodíků. Jestliže bude převažovat určitá složka uhlovodíku v palivu, lze očekávat, že se bude objevovat v emisích.

### 2.3.2. PETROLEJ

#### Výroba

Petrolej se získává z ropy při atmosférické destilaci a zušlechtním pro užití ve spalovacích motorech [6]. Teplota při níž je získán petrolej z ropy je v rozmezí 150 °C až 275 °C.

#### Vlastnosti

Výhřevnost petroleje je 43,1 MJ.kg<sup>-1</sup>. Dříve se petrolej, kterého byl nadbytek, používal i jako motorové palivo pro zážehové motory [3]. Vzhledem k vysokému začátku destilační křivky se motor startoval na benzin a po zahřátí motoru se přepnul na petrolej.

Oktanové číslo petroleje bylo max. 45, motor měl kompresní poměr max. 5:1 a tepelná účinnost byla nízká.

#### Požadavky na palivovou soustavu

Jak je uvedeno výše petrolej se hlavně využíval v kombinaci s benzinem. Systém byl tvořen dvěma nádržemi s příslušenstvím, důležitým prvkem bylo směšovací zařízení s přepínáním z benzínového paliva na petrolejové.

## Emise

Petroleje, jako automobilového paliva se v dnešní době využívá zřídka. Ale jako u benzinů platí, že převaha některého uhlovodíků se projeví v emisích. Velkým emisním podílem byly nespálené uhlovodíky, které se navíc splavovaly do náplně motorového oleje v klikové skříně, čímž se musela náplň oleje častěji měnit.

### 2.3.3. MOTOROVÁ NAFTA

#### Výroba

Atmosferickou destilací ropy se získává střední frakce.

Destilační rozmezí této frakce je definováno: do 170 °C predestiluje max. 15 % destilátu a do 360 °C predestiluje min. 95 – 97 %, hustota 800 – 850 kg.m<sup>-3</sup> (podle druhu) [3].

Dalšími zušlechťujícími a dočišťujícími procesy v petrochemickém průmyslu získáme motorovou naftu.

#### Vlastnosti

Motorová nafta se používá pro pohon vznětových motorů (Dieselův motor) [3]. Vznětový motor nasává pouze vzduch, stlačí jej na velmi malý objem (kompresní poměr je 15 – 25, u zážehových 7 – 12), tím se vzduch ohřeje na teplotu 600 – 900 °C (podle kompresního poměru) a nyní se do něj vstříkne pod vysokým tlakem (kolem 15 MPa) motorová nafta v kapalném stavu. Motorová nafta se rozpraší a ve styku s horkým vzduchem se vypaří, zapálí a shoří.

Hodnota cetanového čísla ovlivňuje prudké nahromadění par plynů na pístem, tzv. tvrdý chod motoru. Krajní hodnoty byly definovány opět pomocí dvou uhlovodíků, kterým byly přiděleny hodnoty nula a sto [3]. Další body stupnic se připravují mísením objemových procent obou základních uhlovodíků, cetan (n-hexdekan, C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>) – 100 %obj., metylnaftalen – 0 %obj.

U našich čerpacích stanic získáme motorovou naftu s cetanovým číslem 50 – 60.

#### Požadavky na palivové systémy

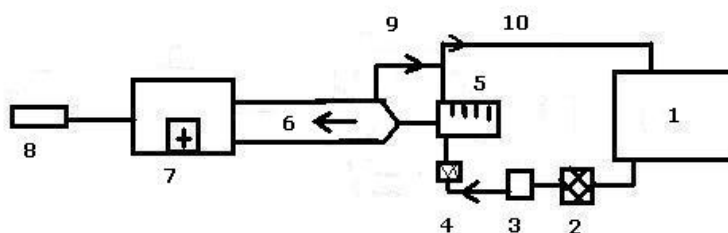


Schéma 2.3.3. Palivová soustava vznětového motoru

1. palivová nádrž, 2. hrubý čistič paliva, 3. dopravní čerpadlo, 4. jemný čistič paliva,
5. vstřikovací čerpadlo, 6. vstřikovače, 7. spalovací prostor, 8. tlumič výfuku, 9. vratné potrubí od vstřikovačů, 10. vratné potrubí od vstřikovacího čerpadla,

- Konstrukce nádrže (1) a všech přídatných zařízení do ní vložených musí být řešena tak, aby nemohlo dojít k výbuchu. [2]

- Čistič paliva (2). Nafta, zejména při podnulových teplotách, má podstatně větší viskozitu, takže filtry musejí mít větší plochu. Navíc, při podnulových teplotách se z nafty vylučují krystaly parafínu, které mohou snadno filtr ucpat. Z toho důvodu se v posledních letech používají filtry vyhřívané, například elektricky, nebo se umísťují přímo do chladicího okruhu v blízkosti termostatu, aby se palivo ve filtru co nejdříve po studeném startu zahřálo, parafíny rozpustily a průběh filtrace byl snadný. Některé naftové motory mají na dně filtru čidlo reagující na přítomnost vody tím, že přeruší elektrický obvod ovládající vstup paliva do vstřikovacího čerpadla, takže motor nelze spustit a je tak zamezeno přístupu vody do vstřikovacího čerpadla a trysek, aby nedošlo k opotřebení, příděrům a korozi.

- Dopravní čerpadlo (3) je větší a výkonnější, oproti benzinovému. Aby bylo schopno dopravovat motorovou naftu, která má větší hustotu a značně větší viskozitu než benzin, zejména v zimě.

- Klasické systémy vstřikování paliva jsou charakterizovány řadovými nebo rotačními vstřikovacími čerpadly (4), vstřikovacími tlaky v desítkách MPa.

Rotační vstřikovací čerpadlo bylo zavedeno mimo jiné jako levnější technologie a jeho konstrukce není vhodná pro víceválcové a víceobsahové vznětové motory. Rotační čerpadlo vyžaduje dobrou mazivost paliva. Není-li tento požadavek splněn, dochází často k poškození čerpadla, v krajním případě k zadření a k přetržení hřídele v bezpečnostním profilu. Tyto problémy se vyskytovaly dosti často v době, kdy byly zaváděny tzv. švédské typy motorové nafty, s velmi malým obsahem síry a se sníženým koncem destilace. V současné době mají tento charakter prakticky všechny prodávané motorové nafty a aby se předcházelo problémům s nedostatečnou mazivostí, jsou běžně už při výrobě aktivovány mazivostní přísadou.

- Vzhledem k tomu, že palivo ke vstřikovačům (5) prochází potrubí okolo hlavy válců, dochází v průběhu déletrvajících režimů plného zatížení motoru ke značnému ohřevu motorové nafty v těchto místech a její přebytek se pak vrací do nádrže s teplotou až 100 °C a špičkově až kolem 120 °C. Proto u některých vozidel prochází chladičem paliva, aby se snížila teplota ohřáté motorové nafty na teplotu přijatelnou pro návrat do nádrže z hlediska bezpečnosti.

Systém Common Rail má jedno lamelové vysokotlaké čerpadlo, od kterého vede rozvětvené potrubí ke vstřikovacím jednotkám, které jsou pod neustálým tlakem paliva a ve vhodném okamžiku je elektromagneticky ovládanou tryskou palivo vstříknuto do válce.

System čerpadlo-tryska je složitější. Každá vstřikovací jednotka je současně vstřikovací čerpadlo a tryska, píst čerpadla je ovládán přes vahadlo vačkovým hřídelem motoru. Palivo je přiváděno do vstřikovací jednotky dopravním čerpadlem za tlaku 0,75 MPa, pohybem pístu vzniká vysoký vstřikovací tlak a z vysokotlaké části je elektromagnetickým ventilem ovládán okamžik a množství vstřiku. Přebytek paliva od vstřikovacích jednotek se vrací do nádrže.

Vzhledem ke složitosti systému vysokotlakého vstřikování paliva, k vysokým tlakům, které musí čerpadla vyvinout, a k požadavkům na přesnost opracování mechanických částí jsou tyto systémy ještě citlivější na veškeré kontaminace paliva. Jakými jsou mechanické nečistoty, voda a v ní rozpuštěné soli s korozním účinkem.

### Emise

Jednou z cest ke snížení emisí vznětového motoru se ukázalo vysokotlaké vstřikování.

Přítomnost složek s bodem varu nad 350 °C způsobuje nedokonalé spalování, snižuje se účinnost motoru, zvyšuje se tvorba úsad a kouřivost motoru [3].

Zastoupení uhlovodíků v motorové naftě se projeví i v obsahu emisních složek. Dnešní koncepce motorů kladou důraz na dokonale připravené palivo, jeho následné spalování a tím omezenou tvorbu emisí.

## 2.3.4. ETANOL

### Výroba

Etanol se může vyrábět z cukrovky, brambor, obilí, kukuřice, z cukrové třtiny a dalších plodin. [3]. Etanol se vyrábí i synteticky hydratací etylenu, který se získá pyrolýzou ropných frakcí. Ovšem uvažovat tento syntetický etanol jako náhražku benzínu by nemělo význam, protože bychom vycházeli z ropné frakce, z ní bychom vyrobili etylen a jeho hydratací teprve etanol. Takže po několikastupňové syntéze bychom získali palivo s nižším spalným teplem, než měla původní ropná frakce a pochopitelně i v podstatně nižším výtěžku. V Brazílii se rozvíjí program výroby pohonných hmot na bázi etanolu z cukrové třtiny nazvaný PROALCOOL. Dále se pracuje na thajsko-japonském programu, kde se etanol získává z manioku.[3] Nevýhodou brazilského programu je, že pro rozšiřování ploch pro pěstování cukrové třtiny se ve stále větší míře kácí deštné pralesy, čímž vznikají nedozírné škody na životním prostředí.

Etanol může být vyráběn následujícími postupy:

- Fermentací přírodních cukrů (cukrovka, cukrová třtina)
- Fermentací z uhlovodíků nebo ze škrobu (brambory, topinambur, obiloviny)
- Kyselou nebo enzymatickou hydrolýzou celulózových látek (dřevo, sláma)

Z brambor lze získat více etanolu než z obilovin (mimo kukuřice na zeleno) [3]. Je to dáno vysokými hektarovými výnosy brambor.



## Vlastnosti

Etanol se může používat jako pohonná hmota buď samotný, nebo ve směsi s dalšími palivy, nejčastěji s uhlovodíky, kde zlepšuje některé vlastnosti směsi. U nás se již po první světové válce přidával etanol do benzínu, protože byl nadbytek brambor, ze kterých se vyráběl. Byla to směs 20 %  $C_2H_5OH$ , 320 % benzenu a 60 % benzínu. Alkohol má vysoké oktanové číslo a velké výparné teplo, což napomáhá ke snižování teploty ve spalovacím prostoru zážehového motoru a tím se zlepšuje chod motoru. Nevýhodou používání alkohol-benzinové směsi je pohlcování vody, což vede k separaci fází.

## Požadavky na palivové soustavy

Samotné alkoholy mají nedostatečnou těkavost při nízké teplotě, takže studený start motoru je možný jen při teplotách nad asi 7 °C [2]. Tento nedostatek se řeší tím, že se do alkoholu přidá benzin, respektive lehké uhlovodíky. Schopnost startu se tak posune až do minusových teplot. Běžně jsou v některých zemích používány směsi obsahující 85% alkoholu označované jako M85, pokud jde o metanol, nebo E85, pokud jde o etanol. Aby se alkoholy s benzinem mísily, musí být bezvodé, nebo obsahovat jen minimální množství vody. Pokud se líh a metanol používají jako složky automobilového benzínu, je v EU i v ČR povoleno, aby benzin obsahoval metanol do maximálně 3% a etanol do maximálně 5%. Pro líh norma (ČSN EN 228), pouze stanoví horní hranici čísla kyselosti. Při použití metanolu se požaduje použít stabilizátor rezivění. Pochopitelně je technicky možné používat i směsi s vyšším obsahem alkoholů, například až 25% (Brazílie). Při větším obsahu lihu v benzínu musí být palivová soustava chráněna proti korozi.

Při použití alkoholů jako paliv pro vznětové motory musí být provedena konverze jejich schopnosti vznícení. Špatnou schopnost vznícení (malé cetanové číslo) lze zlepšit vhodnou přísadou, která sníží původně velké oktanové číslo a současně zvýší cetanové číslo na potřebnou hodnotu. Při této aplikaci není podmínkou, aby alkoholy byly úplně bezvodé, je možné pracovat například s 96 % lihem. Pochopitelně, je třeba zajistit ochranu palivových soustav aditivací alkoholu inhibátorem rezivění a je bezpodmínečně nutné zajistit potřebnou úroveň mazivosti přidáním mazivostní přísady rozpustné v alkoholu.

## Emise

Jelikož etanol patří mezi alternativní a obnovitelné zdroje paliv, mají obecně nižší hodnoty v zastoupení nežádoucích emisí, porovnání s konvenčními palivy.

## 2.3.5. ROSLINNÉ OLEJE A METYLESTERY

### Výroba

Další důležitou surovinou pro výrobu pohonných hmot jsou rostlinné oleje, které mají vysoký energetický obsah, srovnatelný s ropou. Tyto oleje mohou být použity pro výrobu pohonných hmot, biodegradabilních olejů a plastických maziv [3].

V tuzemsku je hlavní surovinou pro výrobu olejů řepka olejka, jako příměsí do paliv se užívá ve větším měřítku od poloviny 90. let, 20. století.

Řepkový olej se připravuje lisováním řepkového semene (výtěžek oleje je asi 25%, obsahu tuku 12 – 16 %) nebo se používá kombinace tepelné a mechanické přípravy semene před vlastním lisováním, po kterém se zařazuje extrakce výlisků [3]. Tím se získá výtěžek oleje kolem 40 %, pokrutiny obsahují ještě asi 2 % oleje. Na výrobu 1 t řepkového oleje se spotřebuje asi 2,3 t řepkového semene. Současně vznikne kolem 1,3 t šrotu (tzv. pokrutiny). Vylisovaný a vyextrahovaný olej se rafinuje (odslizení, odstranění  $H_2O$ ,  $H_3PO_4$ ), neutralizuje (volné kyseliny pomocí NaOH), suší (ve vakuu) a pro výrobu potravinářského oleje následuje bělení (absorpce) a deodorace (vakuum, stripování párou). Pro technické využití musí řepkový olej projít alespoň základní rafinací, kdy se získá tzv. polorafináda.

Výroba metylesterů řepkového oleje (MEŘO) [3].

Esterifikace řepkového oleje se může provádět:

- a) Při teplotách 50 – 70 °C, obvykle se dvou stupních
- b) Při teplotách 220 – 240 °C a tlaku 5 MPa.

Katalyzátorem jsou alkalické hydroxidy, uhličitany nebo alkoholáty. Při dvoustupňové syntéze se k MEŘO přidá další metanol a katalyzátor a postup se opakuje.

#### Vlastnosti

Cetanové číslo MEŘO přibližně odpovídá cetanovému číslu motorové nafty [3]. Hustota řepkového oleje je asi o 10 % vyšší, objemová výhřevnost je o 13 % nižší v porovnání s motorovou naftou. Má však zanedbatelný obsah síry a popela. Z těchto důvodů se nemůže používat samotný řepkový olej v běžných spalovacích motorech. Připravují se z něj, stejně jako z jiných rostlinných olejů, metylestery, které se svými vlastnostmi blíží vlastnostem motorové nafty. Náklady na výrobu této bionafty jsou asi 2 – 2,5 krát vyšší než jsou náklady na výrobu motorové nafty z ropy.

#### Požadavky na palivové soustavy

Praxe v minulých letech ukázala, že pro rozhodnutí používat či nepoužívat metylestery nebo směšnou motorovou naftu pro pohon určitého typu motoru může být rozhodujícím článkem vstřikovací čerpadlo [3]. Metylestery mají nežádoucí vlivy na některé těsnicí materiály a při nízkých teplotách se jejich viskozita zvyšuje více než viskozita ropné motorové nafty. Novější typy čerpadel mají již těsnění vyrobené z pryže na bázi polytetrafluoretylenu (PTFE), která směšnému palivu dobře odolává, takže použití směšného paliva umožňuje. Konstrukteři rotačních vstřikovacích čerpadel mají také obavy z rychlejšího zvyšování viskozity metylesteru při poklesu teploty, což se částečně projevuje i u směšného paliva. Nárůst viskozity může způsobit tak velké pasivní odpory, že dojde k deformaci, v krajním případě až k překroucení hřídele rotoru,

vstřikovacího čerpadla. Výrobce vstřikovacích čerpadel Lucas, publikoval [3], že toto nebezpečí vzniká už při obsahu metylesterů nad 10% a při teplotách nižších než  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ale praxe ukazuje, že to jsou přehnané obavy, i když palivo obsahuje kolem 30% metylesterů. Zdrojem neustálých dohadů je, zda jsou metylestery vhodné pro moderní vstřikovací systémy Common-Rail a Pumpe Dusse, vzhledem k tomu, že palivo se v těchto systémech poměrně silně zahřívá.

#### Emise

Ve spalinách klesá obsah polyaromátů, ale stoupá obsah aldehydů [3]. Výfukové plyny mají zápach po spáleném oleji při smažení. Obsah síry ve spalinách je však zanedbatelný.

## 2.4. PLYNNÁ PALIVA

Použití plynů pro pohon spalovacích motorů, se kterým se dnes stále častěji setkáváme, má více než stoletou historii [3]. První spalovací dvoutaktní motor byl uveden do provozu v roce 1860 a používal svítíplyn (karbonizační plyn), J. Lenoir. Výkon motoru byl jen 0,75 kW. Používání svítíplynu pro pohon spalovacích motorů bylo i nadále časté v Německu a zvláště se rozšířilo za druhé světové války, kdy v Evropě byl nedostatek pohonných hmot na bázi ropy.

Dnes se k použití plynů znovu vracíme a to z důvodu úspor ropné suroviny a z důvodů ekologických, protože ve spalinách je obvykle menší množství škodlivých látek [3]. V souvislosti s použitím plynů pro pohon spalovacích motorů se můžeme setkat s pojmem metanové číslo, což měla být obdoba oktanového čísla u benzinů a cetanového čísla u motorových naft. Metanu bylo přiděleno číslo 100, vodíku pak nula (protože je nejnáchylnější k samovznícení). Metanové číslo se však neujalo a náchylnost ke klepání při spalování plynných paliv se vyjadřuje oktanovým číslem.

### 2.4.1. SVÍTIPLYN

#### Výroba

Je to jeden z produktů vysokoteplotní karbonizace uhlí, který se používal pro osvětlování, odtud je jeho název. Svítíplyn obsahuje spalitelné složky  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{HC}$ . Výhodou byla snadná dostupnost [3].

#### Vlastnosti

Svítíplyn je technický plyn, tvořený směsí  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , a dalších plynů. Dříve používaný především ke svícení, ale i výrobě tepla. V době druhé světové války byl hojně využíván, jako palivo spalovacích motorů. Jeho užívání nese nebezpečí otravy svítíplynem, z důvodu netěsnosti palivového systému.

Jeden litr benzínu je ekvivalentní asi  $2\text{ m}^3$  svítíplynu [3].

### Požadavky na palivové systémy

Dřívější používané palivové systémy ve Velké Británii, v Německu a také u nás, měli zásobníky plynu v podobě vaků z pogumovaného materiálu (objem 6 – 8 m<sup>3</sup>), umístěných na střeše autobusů [3]. Jiný způsob využíval plnění svítiplynu do tlakových lahví (20 MPa).

Velikost lahví a jejich počet se volil tak, aby jejich hmotnost byla max. 10 % nosnosti vozidla. Přestavba spalovacího motoru na pohon svítiplynem byla jednoduchá: umístění tlakových lahví, redukční ventil, mísící ventil (mísení svítiplynu se vzduchem) a při použití dvoupalivového systému i přepínání paliva.

### Emise

V emisích při spalování svítiplynu se jistě vyskytují hlavně CO, CO<sub>2</sub>, HC.

## 2.4.2. ZEMNÍ PLYN (ZP)

### Výroba

Složení těženého zemního plynu v různých nalezištích je rozdílné. Norma (ČSN 38 6110), požaduje, aby zemní plyn dodávaný do sítě měl alespoň 85% metanu [3]. Ve skutečnosti je jeho obsah vyšší. Při zpracování zemního plynu musí být především odstraněny vyšší uhlovodíky, které by mohly v síti kondenzovat.

V dnešní době se využívá dvou způsobů použití zemního plynu:

- a) Stlačený zemní plyn: (CNG = Compressed Natural Gas)
- b) Zkapalněný zemní plyn: (LNG = Liquefied Natural Gas)

### Vlastnosti

Zemní plyn může být použit pro pohon zážehových i vznětových motorů, a to buď samostatně nebo v kombinaci s benzinem (dvoupalivový systém) a také současně v kombinaci s motorovou naftou, kde motorová nafta kryje jen asi 20 %, energetické potřeby motoru [3]. Jeden m<sup>3</sup> zemního plynu odpovídá přibližně 1,1 – 1,2 l benzínu, příp. i více, při použití vyššího kompresního poměru. Nevýhodou je, že se používá stlačený v tlakových lahvích, jejichž hmotnost snižuje užitečnou nosnost vozidla a snižuje dojezd vozidla.

### Požadavky na palivové systémy

#### a) Zážehové motory

U těchto motorů se může jednat o přestavbu na dvoupalivový nebo jednopalivový systém [3].

V prvním případě je úprava jednoduchá, motor se doplní o směšovací zařízení a přepínač paliv. Při stejném kompresním poměru se snižuje výkon motoru asi o 10 %. Při použití jednopalivového systému se karburátor nahradí směšovacím zařízením a nastaví se motor.

## b) Vznětové motory

Tyto motory mohou být upraveny dvojnásobem:

- 1) Zachování principu vznětového motoru
- 2) Použití principu zážehového motoru

První případ je zdánlivě jednodušší. Vymění se vstřikovací čerpadlo za čerpadlo s omezenou dodávkou motorové nafty, regulátorem tlaku a směšovacím zařízením. Palivové čerpadlo dodává asi 20 % nafty a do válce se místo čistého vzduchu nasává směs vzduchu a ZP, který doplňuje zbytek energetické potřeby motoru. Za zvýšeného namáhání může motorová nafta krýt až 50 % energetické spotřeby motoru. Při této variantě jsou problémy s vysokým tepelným namáháním, s vazbou mezi vstřikováním motorové nafty a regulací nasávaného množství ZP, zvyšují se emise nespálených uhlovodíků. Problémem je i regulace počtu otáček motoru. V druhém případě se vstřikovač nahradí zapalovací svíčkou, doplní se zapalovací systém, musí se upravit sedla výfukových ventilů (materiál vhodný pro ZP), zamontovat regulátor tlaku, směšovač, upravuje se i kompresní poměr.

Pro dvoupalivový systém benzin-ZP se používá kompresní poměr  $7 - 7,5 : 1$ , při používání pouze ZP je kompresní poměr  $10 - 11 : 1$ . Tím se zvýší tepelná účinnost i výkon motoru.

Dalším důležitým prvkem v palivovém systému pro zemní plyn, jsou zásobní nádrže. Používají se zásobníky o obsahu 20 – 60 l. Hmotnost ocelové láhve se pohybuje mezi 80 – 100 kg [3]. Pro osobní vozy se obvykle používají 3 tlakové láhve, umožňující dojezd cca 250 km. I přes velmi dokonalou izolaci se LNG odpařuje a zásobník musí být doplněn o pojistný ventil, který při dosažení tlaku cca 0,350 – 0,7424 MPa, vypustí uvolněný metan. U moderních nádrží vydrží LNG asi 5 – 7 dní. Odpuštěním plynného metanu se zvyšují ztráty pohonných hmot a je zapotřebí odvětrávat i garáž.

### Emise

Vozidla na zemní plyn vyprodukují méně škodlivin, než vozidla na klasická paliva [7]. Jak ze sledovaných složek oxidu uhličitého, oxidu dusíků, oxidu uhelnatého, tak i karcinogenních složek polyaromatických uhlovodíků. Oproti benzínu nabízí použití zemního plynu snížení CO<sub>2</sub> o 20 – 25 % [7].

### 2.4.3. LPG

#### Výroba

Uhlovodíkové plyny, které jsou složkami LPG, mají různé zdroje ze základní suroviny. Mohou to být snadno kondenzující podíly ze zemního plynu, dále nejtěkavější podíly z ropy a těkavé frakce z různých technologií rafinerského a petrochemického průmyslu, například z hydrokrakovacích procesů [2].

## Vlastnosti

Propan-butanová směs, v zahraničí označovaná jako Liquefied Petroleum Gas (LPG), se používala pro pohon motorových vozidel u nás i ve světě již dříve, zejména v období druhé světové války a po ní, kdy byl nedostatek benzínu. Množství CO, NO<sub>x</sub> a HC je nižší až o polovinu v porovnání s benzinem. Oktanové číslo propanu je 105,7 (OČVM), u n-butanu je OČVM 93,6 a u i-butanu 101, u n-pentanu je OČVM již jen 61,9 [5].

## Požadavky na palivovou soustavu

Pro LPG se používají nádrže ocelové buď válcového tvaru, nejčastěji o objemu 45-110 litrů, nebo toroidní o objemu 39-60 litrů, které se umísťují do prostoru pro rezervní kolo, aby nezabíraly využitelný zavazadlový prostor [2]. Jsou konstruovány jako nízkotlaké s přetlakovým ventilem, na jmenovitý tlak kolem 2,5 MPa, nebo jako vysokotlaké bez přetlakové pojistky, na jmenovitý tlak až 18 MPa. Jen výjimečně je zkapalněný plyn vytlačován z nádrže čerpadlem, běžně se využívá tlaku par nad kapalinou v nádrži. Další částí systému je výparník a regulátor tlaku, spojené do jedné jednotky, která je vyhřívána kapalinou z chladicího systému motoru, u vzduchem chlazených motorů lze použít slabého proudu výfukových plynů.

Jednotky pro dávkování paliva jsou různého typu, který v podstatě musí odpovídat typu původního palivového systému motoru:

- pro motory s karburátorem se používá jednoduchý systém, který nepotřebuje elektronickou řídicí jednotku. Vzhledem k jednoduchosti má minimální nároky na údržbu, ale je použitelný jen pro motory s nejméně přísnými požadavky na emise.
- Pokud má motor řízený katalyzátor, používá se palivový systém s programovatelnou řídicí jednotkou a jedním centrálním směšovačem. Ve spojení s tímto systémem se předpokládá určité mírné snížení výkonu motoru a účinnosti ve srovnání s původním palivem a s ostatními dokonalejšími LPG palivovými systémy.
- Novější je systém vícebodového vstřikování plynu, který pracuje na rozdíl od klasického zařízení s centrálním směšovačem na principu obdobném vstřikování benzínu, takže dávkování paliva se provádí pro každý válec zvlášť, s využitím elektronické regulace s krokovým motorkem. Dovoluje snížit emise a potlačit ztrátu výkonu a snížení účinnosti na nejmenší míru.
- Nejmodernější systém je sekvenční vstřikování, který se vyznačuje velmi přesným dávkováním paliva, takže může potlačit emise na nejmenší hodnoty, odpovídající nejpřísnějším limitům. Obdobně jako u vícebodového systému se dávkuje palivo pro každý válec zvlášť, ale s elektronickým řízením trysek, které dávkují plyn do potrubí za sací ventil tím, že přesně regulují dobu otevření ventilu, tj. dobu vstřiku. Jako výhody tohoto systému se kromě dosažení minimálních emisí uvádí, že parametry spotřeby a výkonu se při provozu na LPG prakticky neliší od parametrů při provozu na benzin a dokonce, že účinnost využití energie paliva je mírně lepší než při benzinovém pohonu.

Pokud jde o požadavky na palivo, opět platí, že čím modernější a složitější systém, tím důležitější je čistota paliva. To se filtruje v kapalně fázi před vstupem do jednotky výparníku a regulátoru tlaku, u systému sekvenčního vstřikování se ještě filtruje plynná fáze před vstupem do elektronicky řízených vstřikovačů. Zdrojem nečistot, které musí být odfiltrovány, jsou především produkty koroze, hlavně částice rzi z nádrží a transportního zařízení, kde může docházet ke korozi, pokud je ve zkapalněném plynu přítomna voda nebo vlhkost.

#### Emise

Oproti hodnotám emisí paliv typu benzin, motorová nafta, jsou hodnoty oxidu uhelnatého nižší [8]. Navíc neprodukuje oxid siřičitý. Problémy z hlediska emisí hlavně způsobuje nespálená část metanu (řešeno speciálními katalyzátory), která ovlivňuje skleníkový efekt. Dále LPG systém produkuje o jednu desetinu méně emisí oproti vznětovému motoru.

### 2.4.4. DŘEVOPLYN

#### Výroba

Produkce dřevoplynu vzniká v generátorech zplyňováním biomasy, při kterém uhlík v molekulách reaguje za vysoké teploty ( $>500^{\circ}\text{C}$ ) s párou nebo kyslíkem, čímž vzniká směs oxidu uhelnatého (cca 20 %), vodíku (cca 20 %), metanu a oxidu uhličitého [6]. V některých generátorech vzniká také větší množství dehtových látek, které obsahují rakovinotvorné polycyklické aromatické uhlovodíky.

#### Vlastnosti

Výkon motorů na dřevoplyn byl při stejném obsahu asi o 20 – 30% nižší než při spalování benzínu [3]. Jeden litr benzínu odpovídá přibližně 2,6-3 kg dřeva nebo 1,8-2 kg dřevěného uhlí. U motorové nafty je náhrada tuhých paliv asi o 40% vyšší v porovnání s benzinem.

#### Požadavky na palivový systém

Zařízení pro výrobu dřevoplynu zahrnovalo [3]:

- generátor
- hrubý čistič (voda, popel, palivo)
- vzduchový chladič
- jemný čistič
- ventilátor
- regulační zařízení

Ventilátor se používal při startování nebo při chodu naprázdno, příp. při poklesu teploty v generátoru. Během provozu se sání vzduchu do generátoru regulovalo spotřebou plynné směsi ve spalovacím motoru. Pro zplyňování bylo vhodné tvrdé dřevo (bukové) s vlhkostí do 15%, velikost špalíčku průměr 2-7 cm, délka do 10 cm. Z tohoto dřeva vznikalo menší množství dehtu.

Nicméně provoz vyžadoval denní čištění zařízení. V modernější verzi se s dřevoplynem setkáváme i nyní, používá se např. pro pohon stacionárních motorů, které vyrábějí elektrický proud. Tyto motory, např. ŠKODA Energoblok mají obsah válců 64 l (šestiválec), využívají teplo spalin i teplé vody z chladiče, pro vytápění budov, ohřevu užitkové vody. Používají vyšší kompresní poměr, až 10:1. Tyto motory jsou doplněny elektronickým ovládním chodu motoru [3].

#### Emise

Spalováním vzniká kysličník uhličitý a vodní pára, vedlejšími produkty jsou kysličník uhelnatý a jedovaté plyny [6].

### 2.4.5. BIOPLYN

#### Výroba

Dříve se tento plyn nazýval „kalový plyn“ [3]. Vzniká rozkladem organických látek anaerobním kvašením (metanogenní kvašení).

Probíhají následující reakce:

- a) Hydrolýza za vzniku nižších, rozpustných organických sloučenin
- b) Acidogeneze – přeměna na organické kyseliny
- c) Melanogeneze – přeměna na metan, oxid uhličitý a další sloučeniny

Pro zajištění těchto pochodů je třeba zajišťovat optimální podmínky (teplota, pH atd.) ve fermentoru. Rozklad je způsobován bakteriemi, které působí při určitých optimálních teplotách:

- psychrofilní bakterie: do 20 °C
- mezofilní bakterie: 20 – 45 °C
- termofilní bakterie: nad 45 °C

Nejčastěji se používají teploty mezi 20 – 45 °C, pro zajištění optimální činnosti bakterií se udržuje pH vsázky v rozmezí 6,5 – 7,6. Do fermentoru nesmí pronikat vzdušný kyslík, který by působil inhibičně na metanogenní bakterie. Také vysoký obsah amoniaku, kationty K, Ca, Mg, antibiotika a některé léky mohou zpomalit či zastavit anaerobní procesy. Většinou se fermentují pouze tekuté odpady (kejda prasat nebo skotu). Vyhnilá směs se odděluje od vody pomocí filtrace nebo reverzní osmózou. Následuje čištění bioplynu. Stejným postupem mohou být zpracovány i odpady z potravinářského průmyslu.

#### Vlastnosti

Obecně se bioplyn skládá z převážné části metanu (40 – 75 %) a oxidu uhličitého. Další složky jsou v řádech jednotek, například vodík, sirovodík, dusík. Z energetického hlediska pro spalování je důležitý metan a vodík, navíc je důležitá čistota, odstranění agresivních složek (například sirovodík), projevující se korozí palivového systému. Bioplyn by měl odpovídat kvalitě distribuovanému zemnímu plynu.



### Požadavky na palivové systémy

Jsou obdobné jako u systému na zemní plyn.

### Emise

Jsou obdobné, jako u použití zemního plynu. Bioplyn je ve většině evropských zemích převážně využíván pro přímé spalování nebo v kogeneračních jednotkách. V dopravě je používán ojediněle – ve Švédsku, Švýcarsku, Francii a na Islandu [7].

## 2.4.6. SKLÁDKOVÝ PLYN

Podobné vlastnosti jako bioplyn má i skládkový plyn, což je plyn uvolňovaný ze skládek odpadů [3]. Někdy se označuje jako LFG (Landfil Gas). Jeho složení závisí na složení odpadů, vlhkosti, hloubce uložení a na procesech, které probíhají. Může to být aerobní rozklad (povrch, malá hloubka) nebo anaerobní rozklad ve větší hloubce, kam není přístup kyslíku. Vznikající plyn může obsahovat až 70% metanu, dále vzniká oxid uhličitý, příp. další plynné složky v závislosti na uloženém materiálu. Skládkový plyn se využívá pro vytápění nebo se může po odstranění nežádoucích složek použít i pro pohon spalovacích motorů.

## 2.5. OSTATNÍ ZDROJE PALIV

### 2.5.1. VODÍK

#### Výroba

Současnými technologiemi produkujícími vodík jsou petrochemické procesy, hlavně reforming benzinových frakcí, parní reforming zemního plynu a parciální oxidace ropných zbytků [2]. Pro budoucnost se počítá se zplyňováním biomasy, hlavně odpadní, a ve vzdálené budoucnosti mají, být hlavními procesy výroby vodíku pro dopravu elektrolýza a termické štěpení vody sluneční energií.

Výroba vodíku elektrolýzou s použitím energie z klasických zdrojů je nepříjemně nákladná, neboť na rozdíl od fosilních paliv obsahujících vodík a od biomasy, tj. látek, které mají poměrně velký energetický obsah, je voda jako zdroj vodíku látka s nulovou energií a elektrolyticky vyrobený vodík je pouze nosič energie vložené do tohoto procesu přeměny.

#### Vlastnosti

Vodík hoří velmi rychle řetězovou rozvětvenou reakční kinetikou [9]. Jeho plamen je v důsledku vysoké výhřevnosti stabilní i při velmi chudé směsi s dobrou účinností, kterou lze využít pro omezení emise oxidů dusíku. Použití chudých směsí vyžaduje přeplňování vzduchem a vstřík vodíku do válce, nejlépe ke konci sacího zdvihu.

Nevýhodou spalování vodíku je malá objemová výhřevnost směsi, daná nízkou hustotou vodíku. Skladování vodíku je zatíženo specifickými obtížemi. Vodík má nízkou hustotu, molekuly vodíku jsou malé, proto může difúzně pronikat i některými materiály (plasty, některé kovy) v kapalném i plynném stavu, způsobuje vodíkové křehnutí a je vysoce reaktivní. Existuje několik technických možností skladování vodíku. Nejpoužívanější variantou je skladování plynného vodíku v bateriových zásobnících. Pro větší skladovací množství se využívá skladování v kapalném skupenství. Skladování velkého množství vodíku v hydridech kovů se z finančních důvodů nevyužívá, skladování vodíku v pevném stavu nebo v tzv. Slush modifikaci se dosud prakticky nepoužívá.

Ústav jaderného výzkumu v Řeži u Prahy (ÚJV) ve spolupráci se společností Linde Gas, otevrou v květnu 2009, v Neratovicích první čerpací stanici, která místo benzínu, nafty či LPG nabídne řidičům čistý vodík [10]. První vodíková stanice na území nových členských států Evropské unie vyrostě po třech letech příprav. A bude postavena "na dojezd" od nejbližší německé vodíkové stanice v Drážďanech.

#### Emise

Při spalování vodíku vzniká jenom neškodná voda a malé množství oxidů dusíku [7].

### 2.5.2. PALIVOVÉ ČLÁNKY

Palivový článek je elektrochemické zařízení, které vyrábí elektřinu tím, že odděluje na katalyzátoru elektrony z paliva, přiváděného do okolí anody (například z plynného vodíku) [2]. Protony vzniklé oddělením elektronů z vodíku procházejí membránou a spojují se s kyslíkem, přiváděným do okolí katody a vzniká voda. Průběhu tohoto procesu opět napomáhá katalyzátor. Tok oddělených elektronů probíhá druhou cestou, nikoliv membránou, ale vodičem z anody na katodu. Do větve vodiče lze pak zapojit elektrický spotřebič. Článek vyrábí elektrickou energii nepřetržitě, pokud je do něho uváděno palivo (vodík a kyslík).

Jednoduchý palivový článek je v podstatě tvořen deskou plastu vloženou mezi dvě uhlíkové desky fungující jako elektrody. Desky mají kanálky pro přívod paliva a kyslíku. Výhodou palivového článku je, že může pracovat s účinností dva až třikrát větší než spalovací motor a nepoužívá žádné pohyblivé části. Konverze energie paliva na elektrickou energii probíhá přímo a vedlejší produkty jsou pouze teplo a voda. V článku neprobíhá proces spalování, takže nevznikají škodlivé emise.

Základním a nejběžnějším palivem pro články je vodík, ale výzkum je zaměřen na nové typy článků, které mohou použít jiná paliva. Jiné sloučeniny, které mohou být použity jako paliva, jsou metanol a oxid uhlíku, ale v současné éře ropy by bylo velkou výhodou, kdyby články mohly používat benzin.

Různé typy palivových článků používají různé elektrolyty, elektrody, různá paliva a pracují za různých teplot, používají externí nebo interní reformování paliva, nebo ho nepoužívají vůbec.

Podle toho lze rozdělit články na několik základních typů:

- AFC – Alkaline Fuel Cells – pracuje se stlačeným vodíkem, používá jako elektrolyt vodní roztok hydroxidu draselného, výkon od 0,3 do 5 kW.
- DMFC – Direct Metanol Fuel Cells – pracuje s metanolem, provozní teploty od –50 do 100 °C. tyto články jsou považovány za vhodné pro použití v dopravě.
- PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cells – pracují při teplotě pod 100°C s objemovým výkonem 1 kW/litr, mají schopnost rychle reagovat na změny zatížení a bez nebezpečí úniku elektrolytu a koroze. Používají nenákladné konstrukční materiály (plastová membrána).
- RFC – Regenerative Fuel Cells – jde o kombinaci elektrolyzátoru na solární energii a palivového článku. Palivem je vodík a kyslík vznikají v elektrolyzátoru z vody, která vznikla jako vedlejší produkt v palivovém článku. Voda slouží jako medium pro přeměnu solární energie na elektrickou.
- MCFC – Molten Carbonate Fuel Cells – pro výkony až do 2 MW
- PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cells – po výkon až 11 MW
- SOFC – Solid Oxide Fuel Cells – pro výkony do 100 kW

Nízkoteplotní články musí používat vodík s čistotou nejméně 99,998% a velmi nákladný platinový katalyzátor, MCFC a SOFC pracují při vyšších teplotách a mohou používat i méně nákladná paliva obsahující CO<sub>2</sub> a uhlovodíky.

Zjednodušeně řečeno vyrábí palivový článek elektrickou energii, která se využívá pro pohon elektromotorů daného vozidla. U nás prozatím není tento druh energie využíván, spíše je ve výzkumných institutech. Ale po dostavbě čerpací stanice v Neratovicích (květen 2009), by měl zajišťovat osobní dopravu v okolí Neratovic autobus s palivovými články [10].

## 2.6. EMISE

Emise je množství látek vypouštěných z daného zařízení – jejich měření tedy probíhá v případě automobilu přímo u výfuku [10]. U všech legálně provozovaných automobilů jsou pravidelně měřeny emise v rámci státní technické kontroly (STK). Zde se měří emise oxidu uhelnatého, uhlovodíků a kouřivost motoru. Emisní limity oxidu uhelnatého a uhlovodíků stanoví výrobce vozidla pro každý jednotlivý typ auta zvlášť. Jedná se tedy spíše o zkoušku, zda emise nepřesahují původní předpoklad výrobce automobilu, než o nějaký test vlivu výfukových plynů automobilu na okolí. Pokud automobil projde emisní zkouškou, neznamená to, že svým dalším provozem nebude poškozovat zdraví lidí nebo nebude mít další negativní vlivy na životní prostředí. Podrobnosti emisních zkoušek stanovuje vyhláška 302/2001 Sb., o technických prohlídkách a měření emisí vozidel [14].

### Emisní předpis EURO

Každé nově vyráběné vozidlo, které se dostává na trh, musí splňovat normu týkající se množství škodlivin ve výfukových plynech [10]. Normy Evropské unie ohledně emisí se označují u osobních vozidel jako Euro 1, Euro 2, atd., u nákladních aut jako Euro I, Euro II. atd. V současné době platí normy Euro IV a Euro 4, připravované normy Euro V a Euro 5 by měly platit od září 2009. Přísnější norma Euro 6 pak má platit od roku 2014. Limity jsou rozděleny do několika kategorií podle hmotnosti vozidel (např. tabulka 2.6.1.) a stanovují maximální hodnoty pro emise oxidu uhelnatého, uhlovodíků, oxidů dusíku a prachových částic.

#### EURO 1 [12]

V roce 1992 začal ve státech Evropské unie platit předpis 91 /441 /EG, známější spíše jako EURO 1, tento předpis začal platit v roce 1995 i jako druhá revize EHK 83 (označení EHK 83.02) v ostatních státech.

#### EURO 2

Od 1. 1. 1996 platily ve státech Evropské unie předpisy 94/12/EG a 96/69/EG, označované jako EURO 2. Tyto normy zavedly opět přísnější limity a ve státech řídících se podle předpisů EHK vstoupily v platnost jako třetí a čtvrtá revize EHK 83 (EHK 83.03 a EHK 83.04) v roce 1996, respektive v roce 1999.

#### EURO 3

Od 1. 1. 2000 platí ve státech Evropské unie předpis 98/69EG - A (EURO 3) a od 1. 4. 2001 jako předpis EHK 83.05 platí i v ČR. Tento předpis již počítá s odděleným vyhodnocováním emisí oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) a nespálených uhlovodíků (HC), které byly dříve vyhodnocovány společně. Změny se též částečně týkají uspořádání jízdního cyklu.

#### EURO 4

V současné době platí předpis 98/69/EG - B (EURO4). Jenž bude tomto roce 2009 nahrazen novým předpisem EURO.

Tabulka 2.6.1. Normy EURO pro kategorii vozidel M1\*, [g . km<sup>-1</sup>], [11]

Druh	Platnost	CO	HC	NO <sub>x</sub>	HC+NO <sub>x</sub>	saze
Naftové motory						
Euro 1†	červen 1992	2.72 (3.16)	-	-	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)
Euro 2	leden 1996	1.0	-	-	0.7	0.08
Euro 3	leden 2000	0.64	-	0.5	0.56	0.05
Euro 4	leden 2005	0.5	-	0.25	0.3	0.025
Euro 5 (budoucí)	září 2009	0.5	-	0.18	0.23	0.005
Euro 6 (budoucí)	září 2014	0.5	-	0.08	0.17	0.005
Benzinové motory						
Euro 1†	červen 1992	2.72 (3.16)	-	-	0.97 (1.13)	-
Euro 2	leden 1996	2.2	-	-	0.5	-
Euro 3	leden 2000	2.3	0.2	0.15	-	-
Euro 4	leden 2005	1.0	0.1	0.08	-	-
Euro 5 (budoucí)	září 2009	1.0	0.1	0.06	-	0.005**
Euro 6 (budoucí)	září2014	1.0	0.1	0.06	-	0.005**
* Před Euro 5, osobní automobil > 2500 kg byl schválen jako lehké užitkové vozidlo N1 - I						
** Vztahují se pouze na motory s přímým vstřikováním						
† Hodnoty v závorkách jsou shodné s (COP) limity						

### 2.6.1. SLOŽENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ SPALOVACÍHO MOTORU

Při spalování uhlovodíkových paliv se vzduchem vzniká dokonalou oxidací uhlíku a vodíku obsaženého v palivu oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a voda (H<sub>2</sub>O) [4].

Při nedokonalé oxidaci uhlovodíkových paliv se vzduchem jsou ve spalinách přítomny oxid uhelnatý (CO) a vodík (H<sub>2</sub>). Přítomnost kyslíku (O<sub>2</sub>), ve spalinách je, když se nespoteboval k oxidaci paliva, protože byl v přebytku, nebo se nevyužil z jiných důvodů. Za vysokých teplot ve spalovacím prostoru vzniká oxidací vzdušného dusíku oxid dusíku (NO<sub>x</sub>), složený hlavně z oxidu dusnatého (NO) s menším podílem oxidu dusičitého (NO<sub>2</sub>). Při velmi nepříznivých globálních podmínkách, nebo lokálních podmínkách pro oxidaci paliva obsahují spaliny nespálené uhlovodíky (HC), různého složení. U motorů s vnější tvorbou směsi, je složka HC součástí spalin i z důvodu úniku části čerstvé směsi přímo do výfukového traktu, při vyplachování spalované směsi. Za totálního nepřístupu vzduchu (uvnitř kapičky kapalného paliva), při vysoké teplotě dekompozicí molekul uhlovodíku vzniknou pevné uhlíky (saze) ve spalinách. S výfukovými plyny odchází z motoru velmi malé množství pevných částic (vysokomolekulové produkty tepelné degradace mazacího oleje, prach, popel, částičky rzi, apod.).

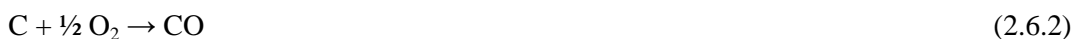
Síra obsažená v některých uhlovodíkových palivech vytváří při spalování oxidy síry, které putují spalinami. Mezi sledované škodliviny patří CO, NO<sub>x</sub>, HC (u zážehových i vznětových motorů), saze jen u vznětových motorů a částice u vznětových motorů, jsou společně vyhodnoceny se saze, dle zákona č. 302/2001 Sb.

### 2.6.2. CHARAKTERISTIKA SLOŽEK SPALIN

#### Oxid uhelnatý

Jedovatost oxidu uhelnatého na organismus je nesporná [4]. Na krevní barvivo se váže intenzivněji než kyslík za vzniku karboxylhemoglobinu. Tím je distribuce kyslíku blokována a orgány jsou poškozeny nedostatkem kyslíku, i když by kyslík byl obsažen v dýchaném vzduchu v dostatečném množství. Nejcitlivějším orgánem na dodávku kyslíku je mozek, proto je CO nervovým jedem. Oxid uhelnatý se podílí na vzniku fotochemického (letního) smogu.

Vzniká především u zážehových motorů při nedostatku kyslíku, reakcí s kyslíkem. Kdy poměr lambda je menší jak jedna [1].



U chudých směsí, kdy poměr lambda je větší než jedna, tak CO vzniká hlavně štěpením CO<sub>2</sub> na menší části, při spalování.

Při expanzi klesá koncentrace CO, kdy reaguje s H<sub>2</sub>O a vzniká CO<sub>2</sub> společně s vodíkem.



S klesající teplotou dochází ke zpomalení reakce. Obsah CO vzrůstá v závislosti na klesajícím poměru lambda.

### Oxid uhličitý

Toxicita je nevýznamná pokud koncentrace nepřesáhne úroveň ovlivňující koncentraci kyslíku ve vdechovaném vzduchu jeho vytěsňováním [4].

Oxid uhličitý je produkt dokonalé oxidace, takže poukazuje na kvalitně proběhlý spalovací proces. Vznik oxidu uhličitého je spojen se vznikem CO a reakcí s H<sub>2</sub>O podle rovnice [2.6.3] nebo reakcí oxidu uhelnatého s kyslíkem [1].



Vzrůstající obsah CO<sub>2</sub> je závislý na poměru lambda, v blízkosti poměru lambda rovném jedné, bývá nejvyšší obsah CO<sub>2</sub>, následně s ochuzením, či obohacením směsi se obsah CO<sub>2</sub> snižuje.

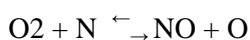
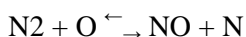
### Oxid dusný (rajský plyn)

Oxid dusný má přímou škodlivost na lidský organizmus nízký [4]. Vdechován působí nejprve stavy veselosti (odtud název rajský plyn) nebo hysterie, při vyšších dávkách útlum až anestetický spánek.

### Oxidy dusíku

Na živý organizmus působí pomocí dezinformace regulační soustavy, která přítomností kyseliny dusičné vzniklé ve vodě ne stěnách sliznice, reaguje jako na začínající hoření a automaticky přivírá vstup do plic, čím se začínáme dusit a kašlat [4].

Vznik oxidu dusíku NO<sub>x</sub> je spojen s nejvyšší teplotou při spalování, té dosáhne u mírně bohaté směsi, ale s pomocí vysokého obsahu kyslíku. Ten je nejvíce obsažen ve spalínách se stoupajícím poměrem lambda. Proto maximum obsahu NO<sub>x</sub> je při lambda rovné cca 1,1. Tvorba NO je popsána Zeldovičovou řetězovou reakcí, která probíhá i obráceně v závislosti na obsahu volných radikálů N, O, H a teplotě reakce [1].



### Nespálené uhlovodíky

Nespálené uhlovodíky jsou směsicí komponentů, jejichž škodlivost je různá. Silně dráždivě na sliznice a oči působí při malé koncentraci a krátké expoziční době nenasyčené aldehydy (např. akrolein) a vyšší aldehydy [4]. Nejnebezpečnější jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), které jsou karcinogení.

Nespálené uhlovodíky vznikají v místech s nízkou teplotou plamene, (v okolí stěn válce) [1]. Nebo pomalou rychlostí hoření způsobené nadměru bohatou, nebo chudou směsí. Dále u zážehových motorů dochází ke zvyšování koncentrace HC, vlivem přílišného ochuzení směsi, při hodnotě lambda cca 1,25.

### Saze a polétavý prach

Částice emitované vznětovými motory obsahují hlavně pevný uhlík ve formě sazí [4]. Tato samotná složka není toxická. Ale mohou nést látky s vysokou zdravotní závadností (např. PAH – polyaromatické aromatické uhlovodíky). Kontaminované částice se mohou usadit v plicních sklípcích organismů a dlouhodobě působit karcinogenně. Částice přispívají k zimnímu smogu, typické pro stav teplotní inverze. Dále mohou snížit viditelnost v dopravních situacích, (předjíždění kouřícího vozidla) a vytvořit předpoklad k dopravní nehodě.

Polétavý prach. Jde o malé částice různých látek, které jsou tak lehké, že trvá velmi dlouhou dobu, než se usadí na povrchu [10]. Označuje se jako PM, přičemž rozlišujeme kategorie  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  a  $PM_{1,0}$ , podle velikosti částic. Např.  $PM_{10}$  jsou částice do 10 mikrometrů (tj. tisícín milimetru). Čím menší průměr částice má, tím déle zůstává v ovzduší. Částice  $PM_{10}$  „poletují“ ve vzduchu několik hodin,  $PM_{1,0}$  i několik týdnů, dokud nejsou spláchnuty deštěm. Dvě třetiny prachových částic z aut vyprodukuje vznětové motory. Vznětový motor sice ušetří oproti zážehovému 25-30 % paliva, což má kladný vliv na emise  $CO_2$  a vznik skleníkového efektu, jenže dokáže vyprodukovat stonásobně větší množství prachových částic oproti zážehovému motoru s katalyzátorem. V tomto ohledu je vznětový motor vážnou hrozbou pro zdraví lidí.

## 2.7. LABORATORNÍ METODY PRO ZJIŠŤOVÁNÍ KONCENTRACE PLYNNÝCH SLOŽEK

### 2.7.1. MĚŘENÍ ZALOŽENÉ NA PRINCIPU ABSORBCE INFRAČERVÉHO ZÁŘENÍ

Uspořádání jednotlivých částí infraanalyzátoru jsou zobrazeny ve schématu 2.7.1.1.

Při průchodu elektromagnetického záření vrstvou plynu je část procházející energie pohlcena [4]. Infračervené záření emitované zářičem prochází kyvetami s okny z materiálu propustného pro příslušné vlnové délky (např. kalcit). Srovnávací kyveta je naplněna plynem, který pohlcuje infračervené záření (např.  $N_2$ ). Měřicí kyveta se proplachuje vzorkem analyzovaného plynu, takže část procházejícího záření je případně pohlcena. Rozdíl v intenzitě prošlého záření je tedy měřítkem koncentrace (všech) absorpčně aktivních plynů ve vzorku. Obsluha zpravidla nastavuje pomocí vnějších odměřovacích orgánů a vnějšího průtokoměru průtok vzorku do rozmezí předepsovaného výrobcem přístroje.

Infraanalyzátor je nejjednodušší (a nejlevnější) typ analyzátoru s vlastnostmi opravňujícímu k nasazení ve výzkumu a vývoji. Při vlastním měření se nevyžaduje dodávka dalších provozních látek.



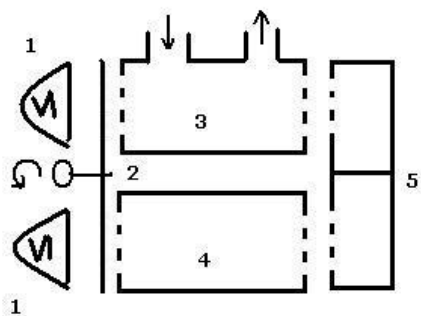


Schéma 2.7.1.1. Infraanalyzátor

1. zářič, 2. rotující clona, 3. měřicí kyveta, 4. srovnávací kyveta, 5. komparátor

## 2.7.2. MĚŘENÍ ZALOŽENÉ NA PRINCIPU ABSORBCE ULTRAFIALOVÉHO ZÁŘENÍ

Uspořádání jednotlivých částí ultraanalyzátoru jsou zobrazeny ve schématu 2.7.2.1.

Podobně jako infraanalyzátor patří přístroje využívajícího absorpci ultrafialového záření do skupiny optických analyzátorů [4]. Jako zářič se u ultraanalyzátoru používá plynová výbojka s dutou katodou. Ultrafialové záření je časově modulováno rotující clonou a místně rozděleno polopropustným zrcadlem (děličem). Část záření prochází měřicí kyvetou, kde dochází k jeho částečnému pohlcení absorpčně aktivními složkami přítomnými v analyzovaném vzorku, jimž je měřicí kyveta kontinuálně proplachována. Referenční paprsek je veden přímo na korekční detektor (fotonásobič). Selektivita přístroje je zajištěna volbou plynové náplně výbojky a náplně plynového filtru vestavěného do jednoho křídla rotující clony. Symetricky na protilehlé straně clony je otvor. Simultánním zpracováním výstupních signálů z obou detektorů (z nichž každý vykazuje tři charakteristické úrovně, podle okamžité polohy clony) se v elektronických obvodech přístroje generuje napětí, které je lineární funkcí koncentrace sledované složky ve vzorku.

V oboru analýzy výfukových plynů spalovacích motorů se přístroje pracující na principu absorpce ultrafialového záření používají ke zjišťování koncentrace oxid dusíku (NO i NO<sub>2</sub>).

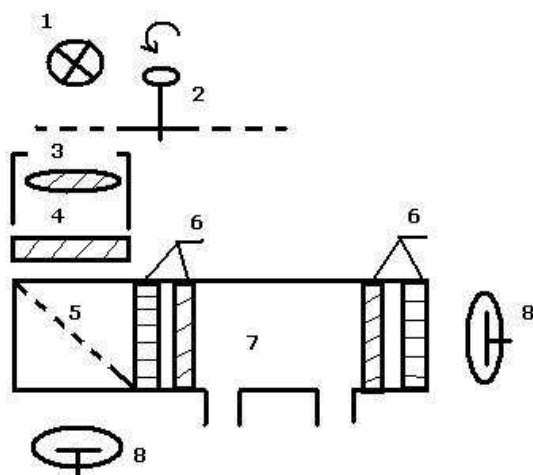


Schéma 2.7.2.1. Analyzátor využívající ultrafialové záření

1. zdroj UV-záření, 2. rotující clona s plynovým filtrem, 3. kolimátor, 4. optický filtr, 5. polopropustné zrcadlo, 6. tepelný štít, 7. měřící kvjeta, 8. detektor

### 2.7.3. MĚŘENÍ S VYUŽITÍM CHEMICKÉ LUMINISCENCE

Uspořádání jednotlivých částí chemiluminiscenčního analyzátoru jsou zobrazeny ve schématu 2.7.3.1. Chemická luminiscence je emise specifických energetických kvant (fotonů) provázející některé chemické reakce [4]. V oboru analýzy výfukových plynů spalovacího motoru se tato metoda používá pro stanovení koncentrace oxidů dusíku. Ozón se vyrábí v přístroji působením elektrostatického pole o vysokém napětí na molekuly kyslíku. Společně se vzorkem spalín se přivádí do reaktoru, v němž je zabudován fotonásobič, jehož výstupní signál je úměrný množství dopadajících energetických kvant. Výstupní signál fotonásobiče se dále zpracovává elektronikou přístroje.

Jako vstupní látka reakce je z oxidů dusíku pouze NO. Pro zjištění celkové emise oxidů dusíku ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ) se přepnou elektromagnetické ventily tak, aby vzorek procházel vyhřívaným katalytickým reaktorem, ve kterém dochází k redukci oxidu dusičitého na dusnatý. Přístroj tedy může pracovat v režimu měření koncentrace NO, nebo v režimu měření koncentrace  $\text{NO}_x$ . Koncentraci  $\text{NO}_2$  lze zjistit jako rozdíl hodnot naměřených v obou režimech při analýze stále stejného vzorku. Redukční reaktor je přesně temperován na teplotu, při níž je průběh redukční reakce optimální.

Chemiluminiscenční analyzátor (CLA – Chemi Luminiscent Analyser) je velmi citlivý a selektivní (prakticky nevykazuje příčnou citlivost na jiné složky) a možnosti změn měřícího rozsahu jsou značné. Při provozu analyzátoru musí být zajištěn trvalý přísun kyslíku (pro měření nižších koncentrací  $\text{NO}_x$  lze použít i syntetický nebo alespoň suchý vzduch) z tlakové láhve přes redukční ventil. Tlak kyslíku lze obvykle nastavovat (kontrolovat) pomocí tlakoměru vestavěného do chemiluminiscenčního analyzátoru.

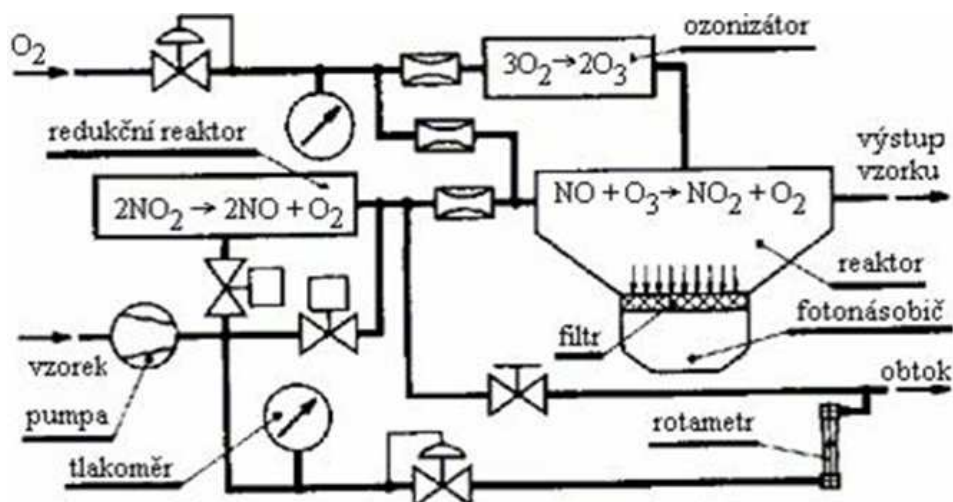


Schéma 2.7.3.1. Chemiluminiscenční analyzátor

#### 2.7.4. MĚŘENÍ ZALOŽENÉ NA PRINCIPU ZMĚNY ELEKTRICKÉ VODIVOSTI VODÍKOVÉHO PLAMENE

Uspořádání jednotlivých částí plamenoionizačního detektoru jsou zobrazeny ve schématu 2.7.4.1. Při připojení elektrického potenciálu na vodíko-vzduchový plamen vzniká velmi malý (šumový) proud iontů [4]. Přivedením organicky vázaného uhlíku do zóny hoření proud iontů narůstá úměrně průtočnému množství uhlovodíků. Na tomto principu pracuje analyzátor, který se původně vyvinul jako detektor chromatografu a proto se nazývá plamenoionizační detektor (FID – Flame Ionization Detector).

Difúzní vodíkový plamen se zapaluje při spuštění přístroje žhavicí svíčkou. Spalovací vzduch nasávaný z atmosféry se zbavuje případně přítomných organických sloučenin v katalytickém čističi. Část vzduchu (tzv. kompenzační) se mísí (společně se vzorkem) s vodíkem před vstupem do hořáku, aby se podle koncentrace kyslíku ve vzorku neměnil příliš tvar plamene. Tlak vodíku se reguluje v závislosti na tlaku spalovacího vzduchu, aby se zajistil trvale přiměřený směšovací poměr a současně se blokuje únik vodíku při vypnutí přístroje, nebo výpadku napájecího napětí. Celé vedení vzorku (včetně filtru, pumpy, hořáku) je umístěno v termostatu a může být temperováno např. až na 200 °C. Jinou možností je podtlakové uspořádání s umístěním (nevyhřívané) vývěvy na výstupu spalin ze spalovací komory přístroje.

Proud iontů se snímá dvojicí elektrod, z nichž jedna je obvykle tvořena samotným tělesem hořáku, druhá je umístěna v plameni a má tvar šroubovice s proměnlivým průměrem, případně je to jednoduchý rovný drát, nebo těleso trubkového tvaru. Zanoření elektrody do plamene musí být optimalizováno, protože proud iontů vzniká v jisté oblasti plamene a samotné ionty mají malou životnost a záhy zanikají rekombinací.

Po zeslení se hodnota proudu (procházejícího plamenem) zviditelní na ukazovacím přístroji jako údaj koncentrace. Údaj přístroje je tedy úměrný počtu uhlíkových atomů vázaných v organických sloučeninách obsažených v analyzovaném vzorku.

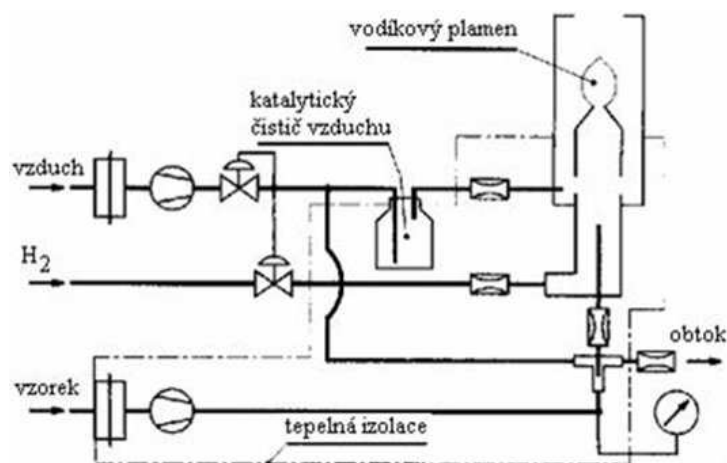


Schéma 2.7.4.1. Plamenoionizační detektor

## 2.7.5. ANALYZÁTORY PRACUJÍCÍ NA PRINCIPU MĚŘENÍ MAGNETICKÝCH VLASTNOSTÍ

Uspořádání jednotlivých částí termomagnetického analyzátoru jsou zobrazeny ve schématu 2.7.5.1. Paramagnetické látky mají vysokou permeabilitu a jsou tedy vtahovány do magnetického pole [4]. Z plynů nejvyšší permeabilitu vykazuje kyslík, proto se princip měření magnetických vlastností plynu používá v přístrojích pro stanovení koncentrace kyslíku v analyzované směsi. Klíčovou součástí všech přístrojů na tomto principu je permanentní magnet nebo elektromagnet, jehož pole přitahuje molekuly kyslíku. Podle způsobu organizace průtoku vzorku v blízkosti pólových nástavců magnetu a zejména podle způsobu měření intenzity působení magnetického pole na vzorek se rozlišují přístroje magnetomechanické, magnetopneumatické a termomagnetické. Provoz analyzátoru pracujícího na principu měření paramagnetických vlastností nevyžaduje dodávku žádného provozního média.

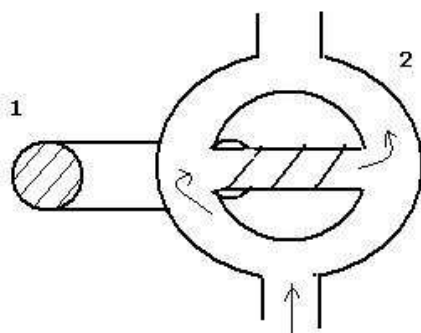


Schéma 2.7.5.1. Termomagnetický analyzátor

1. magnet, 2. prstencová komora s vyhříváním

## 2.7.6. LABORATORNÍ MĚŘENÍ EMISÍ ČÁSTIC ZE VZNĚTOVÝCH MOTORŮ [4].

### Filtrační metoda

První metoda na zjišťování kouřivosti motoru je založena na zachycení částic kouře na filtračním papírku, přes který se prosaje vzorek výfukových plynů definovaného objemu definovanou rychlostí. Množství zachycených částic se vyhodnocuje opticky podle míry zčernání filtru měřitelného jako množství světla pohlceného kontaminovaným filtrem ve srovnání s pohlcením světla nepoužitým filtrem. Takto měřená veličina se nazývá kouřivost stanovená filtrační metodou.

### Hmotnostní měření koncentrace částic

Přímé hmotnostní měření koncentrace částic. Vlastní princip gravimetrického stanovení obsahu pevných částic ve výfukových plynech je jednoduchý. Filtrační element je ze skelných vláken potažených teflonem (Pallflex). Jeho hmotnost se zjistí na přesných laboratorních vahách, pak se instaluje do příslušného držáku a vývěvou se prosává vzorek spalin. Po ukončení měření se filtr i se zachycenými částicemi opět zvaží a hmotností koncentrace částic v analyzovaném vzorku se stanoví na základě rozdílu hmotností.

### Opacimetrie

Je přímé zjišťování pohltivosti světla sloupcem výfukových plynů definované délky (tj. definovaná je optická dráha). Měřená veličina se nazývá opacita (= pohltivost světla, převratná hodnota je průhlednost neboli transparence) spalin a příslušný měřicí přístroj je opacimetr.

### 3.CÍL PRÁCE

Cílem práce je porovnat zvolené alternativní paliva pro spalovací motory s konvenčními z hlediska hodnot emisí výfukových plynů.

## 4. METODIKA

Pro splnění daného cíle, bylo zapotřebí stanovit určité podmínky (druh palivového systému, volba paliv, apod.).

### 4.1. POPIS MĚŘENÉHO VOZIDLA

Pro měření byl zvolen osobní automobil, značky Škoda, typ, FAVORIT 135L, s typem motoru 781.135. Kompresní poměr 8,8:1, verze s neřízeným katalizátorem, největší výkon 42 kW při 5000 ot. min<sup>-1</sup> a největší točivý moment 94 Nm při 3000 ot. min<sup>-1</sup> [13]. Rok výroby je 1993, palivový systém kombinovaný, benzin – LPG. V době prvního měření byl stav počáteční ujeté vzdálenosti 209 000 km. Druhé měření proběhlo při ujeté vzdálenosti 229 000 km. Kdy bylo provedeno seřízení vůle ventilů na hodnoty předepsané výrobcem 0,20 mm, pro sací i výfukový ventil. Byla provedena výměna vzduchového filtru a zapalovacích svíček - Brisk jednobokotných.

### 4.2. MĚŘENÁ PALIVA

Pro měření emisí výfukových plynů, byla vybrána běžně dostupná paliva:

- BA SPECIAL 91, (dle ČSN EN 228) jako primární, tedy palivo určené výrobcem motoru,
- BA NATURAL 95, (dle ČSN EN 228) palivo doporučené výrobcem motoru,
- SHELL V- POWER RACING, palivo s OČ 100, jímž se stala privátní značka společnosti Shell,
- LPG, (dle ČSN EN 589), jako alternativní palivo, pro které byl motor vozu Škoda Favorit 135L, dodatečně přestavěn.

Zvolené benziny, byly odebrány na jedné a též čerpací stanici společnosti Shell v Sušici. Odběr LPG, byl uskutečněn, také na jedné a též čerpací stanici společnosti Technoplyn v Sušici.

### 4.3. POPIS POUŽITÉ MĚŘICÍ APARATURY

Měření bylo provedeno pomocí přístroje Bosch ESA/ETT 8.70/8.71 na stanici měření emisí v AUTO KALNÝ s.r.o., v Čimicích. Bosch ESA (Emisní Systémová Analýza) je zařízení vyvinuté zejména pro pracoviště zabývající se měřením emisí, ale také pro diagnostiku a základní seřízení motoru. Umožňuje použití u vozidel se 4tákními zážehovými i vznětovými motory i se 4tákními Wankel motory. Měření u 2tákních motorů je možné s odpovídajícím příslušenstvím. ESA je modulárně řešený systém, jehož funkce je možné podle potřeb postupně rozšiřovat. Jako základ lze zvolit sestavy, které umožňují měření emisí zážehových (ESA 3.140), vznětových (ESA 3.110) nebo zážehových a vznětových motorů (ESA 3.250). V mém případě byla užitá sestava ESA 3.250. Měřit lze i motory poháněné alternativními palivy (LPG, CNG, metanol) s tím, že součinitel lambda je vypočítán podle zvoleného druhu paliva. ESA kromě

plynných emisí, případně kouřivosti, zajišťuje nejen potřebné měření otáček a teploty oleje, ale umožňuje provádět i jednoduché funkce motortesteru. Dokáže změřit předstih a dynamický předvstřík pomocí stroboskopické lampy nebo snímače HÚ, úhel sepnutí má možnost zobrazit i signály (např. napětí lambda sondy, doba vstřiku,...) a nabízí i funkci multimetru. Součástí softwaru ESA je databanka předepsaných hodnot některých vozidel a databanka zákazníků. Databanku předepsaných hodnot ostatních vozidel lze doplnit jako zvláštní výbavu. Tiskne protokoly o měření emisí se všemi náležitostmi, dle sbírky zákonů č. 302/2001. Dále automaticky čísluje protokoly, hlídá platnost osvědčení techniků, zajišťuje vedení evidence kontrolních nálepek, osvědčení a vypracovává pravidelná hlášení. Jedná se o modulárně řešený systém, ve kterém je modul analyzátoru ETT 8.71, opacimetru RTM 430 i měřicí modul MTM plus řízen počítačem. Modul analyzátoru ETT 8.70 provádí měření čtyř základních složek výfukových plynů CO, HC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> a z nich pak vypočítává hodnotu součinitele přebytku vzduchu lambda pro právě měřené palivo (benzín, LPG, CNG a metanol). Navíc je připraven na montáž snímače pro měření NO<sub>x</sub>. Modul opacimetru RTM 430 se vyznačuje unikátně řešeným systémem vzduchových závěsů který zaručuje vysokou přesnost měření a dlouhé intervaly údržby. Výfuková sonda s nastavitelnou délkou umožňuje bezproblémové připojení na výfuk i vozidel s extrémně krátkou nebo nezvykle tvarovanou koncovkou výfuku. Dále je vybaven sondou na měření teploty motorového oleje.

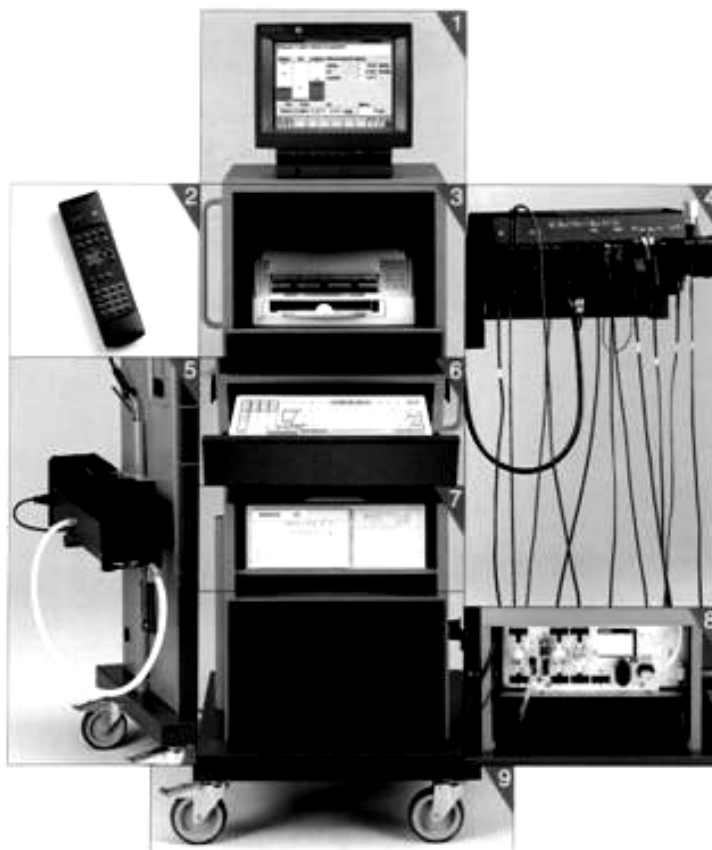
Charakteristika emisní systémové analýzy Bosch ESA 3.250 [15]

Modul analyzátoru ETT 008.70	Měřicí rozsah	Rozlišení
CO	0,000 - 10,00 % obj.	0,001 % obj.
CO <sub>2</sub>	0,00 - 18,00 % obj.	0,01 % obj.
HC	0 - 9999 ppm obj.	1 ppm obj.
O <sub>2</sub>	0,00 - 22 % obj.	0,01 % obj.
Lambda	0,500 - 1,800	0,001
Modul opacimetru RTM 430	Měřicí rozsah	Rozlišení
Kouřivost	0 - 100 %	0,10 %
Opacita	0 - 10 l . m <sup>-1</sup>	0,01 l . m <sup>-1</sup>



Obr. 4.1.1 Použitá měřicí sestava

- 1 – Monitor
- 2 – Dálkové ovládání
- 3 – Inkoustová tiskárna
- 4 – Měřicí modul MTM Plus
- 5 – Modul opacimetru RTM 430
- 6 – Klávesnice
- 7 – PC modul
- 8 – Modul analyzátoru ETT 008.71
- 9 – Dílenský vozík



#### 4.4. POSTUP MĚŘENÍ EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Pro získání potřebných hodnot bylo provedeno měření emisí při volnoběžných a zvýšených otáčkách dle dle sbírky zákonů č. 302/2001, ve dvou etpách:

- První měření – ověřovací
- Druhé měření – vlastní měření

Při prvním měření nebyly upravovány hodnoty seřízení motoru vozidla, byl ponechán původní vzduchový filtr. Účelem bylo ověření navržené metodiky a funkčnost přídatné nádrže (3), viz schéma 5.3.1., umístěné do palivové soustavy vozidla. Přídatnou nádrží o objemu 3 l, se urychlil přechod na jednotlivá zvolená paliva. Emisní hodnoty, byly naměřeny při jednom měření, u každého zvoleného paliva. Měření proběhlo 15. února 2008

Druhé měření se uskutečnilo na tom samém vozidle zhruba po roce provozu ( 16. ledna 2009), kdy bylo ujetu 20000 km, 10km. Před vlastním měřením bylo provedeno seřízení vůle ventilů na hodnoty předepsané výrobcem (0,20 mm), pro sací i výfukový ventil. Byla provedena výměna vzduchového filtru a zapalovacích svíček. Pro každé zvolené palivo, bylo měření opakováno třikrát, z čehož byl aritmetickým průměrem získán referenční vzorek hodnot.

## Postup měření

Měření proběhlo v souladu se zákonem 302/2001 Sb. O technických prohlídkách a měření emisí vozidel.

Před měřením je nutno přezkontrolovat měřicí zařízení, jeho odběrnou sondu (ucpání, poškození), vstupní a ochranné filtry přístroje, dále vstupní hadičky do přístroje. Dále je zapotřebí vizuální kontroly vozu, jeho částí podílejících se na tvorbě emisí, (karburátor, unik oleje, apod.). Předpoklady pro měření emisí výfukových plynů je zapotřebí motor zahřátý na vyšší teplotu oleje než 80 °C. Nesmí být v činnosti startovací pomůcky (automatické a ruční), výfukové potrubí musí být těsné.

Následuje připojení kabelu pro měření otáček motoru na zapalovací kabel prvního válce motoru. Dále se připojí kabel pro měření úhlu sepnutí kontaktů přerušovače na zapalovací cívku. Zavádí se teploměr na změření teploty motorového oleje do prostoru klikové skříně motoru nalévacím hrdlem.

Dalším krokem je změření předstihu zážehu provedené pomocí stroboskopické lampy, která je součástí měřicího přístroje. Hodnotě předstihu se přímo odečítá na displeji monitoru přístroje. Veškeré naměřené hodnoty se načítají do přístroje, který se následně zkalibruje.

Po zkalibrování můžeme přijít k následnému kroku a to vlatní měření emisí výfukových plynů. Zasuňme odběrnou sondu o délce 400 mm, do vyústění koncového výfukového potrubí motoru. Načež tuto operaci potvrdíme na měřicím přístroji. Tím následuje měření sledovaných složek výfukových plynů (CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> a hodnotu lambda). Toto měření napoprvé proběhne při volnoběžných otáčkách, které by měly být v rozmezí 750 – 850 ot . min<sup>-1</sup>. Čas měření byl 30 sekund. Následně bylo měření zastaveno a naměřené hodnoty byly uloženy a vyhodnoceny měřicím přístrojem. Dle seřizovacího předpisu emisních kontrol, měly hodnoty pro tento automobil CO 0,5 – 1,5 % obj., maximální hodnota HC 500 ppm, předstih zážehu v rozsahu 0 – 4 °KH (klikového hřídele).

Opětovným postupem, ale při zvýšených otáčkách 2500 – 2800 ot . min<sup>-1</sup> se provedlo další měření. Při zvýšených otáčkách by měla být hodnota předstihu zážehu 29 – 48 °KH, hodnota CO 0,5 – 2,5 a maximální hodnota HC 500 ppm.

Před samotným měřením byl proveden běh motoru naprázdno (cca 10 minut), aby se propláchl palivový systém od předchozího měřeného paliva. Nalítím malého množství paliva do externí nádrže, které po běhu naprázdno bylo nahrazeno novým palivem. Kromě měření s LPG.

### Měření emisí výfukových plynů BA SPECIAL 91

Ve stanici měření emisí, za pomoci měřicího přístroje BOSCH a měřeného vozidla Škoda Favorit 135L. Měření se provádělo při palivu doporučeném výrobcem motoru pro jeho provoz. Byla nutná úprava pro samotné měření. Tím, že byl odpojen přívod paliva z nádrže do palivového čerpadla (4) a nahrazen improvizovaným propojením pomocí hlavní hadičky do palivového čerpadla a zpětné, fungující jako přepad do externí nádrže paliva (3), jak je patrné ze schéma 5.3.1. Následuje měření dle postupu viz výše.

### Měření emisí výfukových plynů BA NATURAL 95

Pro další měření bylo zvoleno palivo, které bylo výrobcem motoru pro jeho provoz označeno za možnou alternativu, jímž je BA NATURAL 95. Na toto palivo jezdí měřený vůz, již delší dobu, bylo zapotřebí improvizovaného propojení externí nádrže paliva (3). Pokračuje se dle postupu měření.

### Měření emisí výfukových plynů SHELL V – POWER RACING

Další měření bylo provedeno s pomocí konvenčního automobilového benzínu značky Shell, řadící se mezi vysokooktanové benziny. Při tomto měření muselo být užito improvizovaného propojení s externí nádrží tohoto paliva (3). Měření je dle postupu, popsáném viz výše.

### Měření emisí výfukových plynů LPG

Pro poslední měření emisí výfukových plynů, bylo zvoleno palivo zařazené mezi alternativní, jímž je LPG. Které je hojně rozšířené, z důvodů levnosti média a nenáročné přestavby vozidla na toto palivo. Z počátku motor je zahřát při běhu na palivo konvenční BA NATURAL 95, poté je přeprnuto na režim LPG. A postupuje se jako v předešlých případech, dle postupu měření.

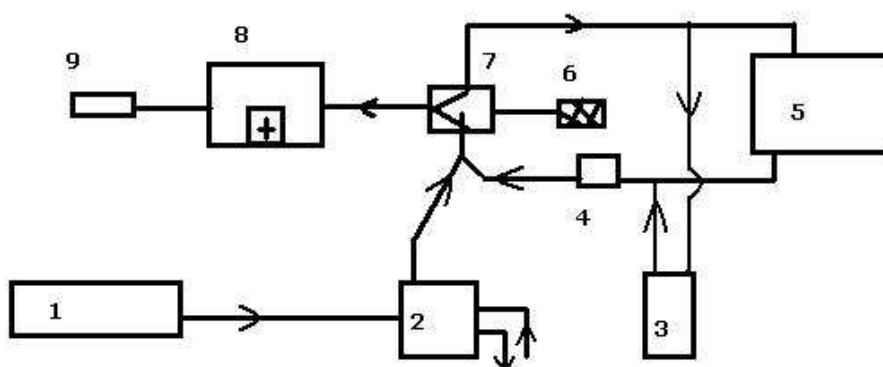


Schéma 5.3.1. Palivová soustava měřeného vozidla

1. tlaková nádrž LPG, 2. regulátor tlaku s horkovzdušným okruhem, 3. externí nádrž, 4. palivové dopravní čerpadlo benzínu, 5. původní nádrž benzínu, 6. sací filtr, 7. směšovač, 8. spalovací prostor, 9. výfukové potrubí

## 4.5. MĚŘENÉ PARAMETRY

### Teplota oleje motoru

Pro měření teploty motoru, se získává z naměřené teploty oleje motoru, pomocí snímače teploty vloženého místo měrky motorového oleje. Pracuje na principu elektrického odporu na teplo citlivé slitiny. Pro měření je důležitá teplota motorového oleje 80 °C. Od této teploty se může začít s měřením, protože došlo ke splnění podmínky – motor zahřátý na provozní teplotu, uvedenou v zákoně číslo 302/2001Sb.

### Otáčky motoru

Pro měření otáček motoru se používají indukční snímací kleště připojené na zapalovací kabelu zapalovací svíčky prvního válce. Hodnoty rozsahu otáček se řídily: Seřizovacím předpisem a emisními limity vozidel Škoda pro emisní kontroly. Dále seřizovací předpis emisních kontrol.

### Předstih zážehu

Úhel předstihu zážehu je zjištěn pomocí stroboskopické lampy. Hodnoty by měly být v rozsahu 0 – 4 °, při volnoběžných otáčkách a 29 – 48 °, při zvýšených otáčkách, (Seřizovací předpis emisních kontrol).

### Emisní složky

Obsah emisních složek CO, CO<sub>2</sub>, HC je získáván z výfukových plynů, které jsou analyzovány nedisperzní infračervenou spektroskopií (NDIR).

NDIR využívá Lambertův-Beerův zákon absorpce.

$$I = I_0 e^{-\beta L} \quad (4.5.1.)$$

I – intenzita světla po průchodu plyny

I<sub>0</sub> – původní intenzita světla

e – Eulerovo číslo

β – absorpční koeficient

L – tloušťka plynů

Rozdíl v intenzitě prošlého záření je měřítkem koncentrace všech absorpčně aktivních plynů.

$$A = \int \frac{I_0 - I}{I_0} \cdot d\Lambda \quad (4.5.2.)$$

A – absorpce záření

Λ – vlnová délka infračerveného záření

Hodnoty CO a HC jsou sledované, dle seřizovacího předpisu emisních kontrol.

Obsah složky CO<sub>2</sub>, není pro toto vozidlo omezen.

Obsahy jednotlivých složek v emisích výfukových plynů jsou vyjádřeny objemovou koncentrací. Která vyjadřuje podíl konkrétní x-té složky (CO, CO<sub>2</sub>, HC a O<sub>2</sub>), spálením 1 mol paliva a celkového počtu molů vzniklých spálením 1 molu paliva, dle vzorce 4.5.3.

$$c_o = \frac{n_x}{\sum n} \quad [\% \text{ obj.}], [\text{ppm}] \quad (4.5.3.)$$

$n_x$  [mol] – x-tá složka

$\sum n$  [mol] – celkový počet molů

(10 000 ppm = 1% obj.)

Zapisuje se většinou v procentech objemu nebo v případě velmi nízkých koncentrací v ppm. [11]. Obsah  $O_2$ , je měřen pomocí elektrochemického snímače, který je součástí měřicí aparatury. Obsah samotné složky  $O_2$ , není u tohoto vozidla omezen.

#### Hodnota lambda

Na základě hodnot změřených plynů měřicí přístroj vypočte hodnotu součinitele přebytku vzduchu lambda. Lambda vyjadřuje podíl vzduchu a paliva ve směsi určené ke spalování [12].

Pro dokonalé shoření daného množství paliva (1 díl paliva), je potřebné přesně stanovené množství vzduchu (14,5 dílů vzduchu). Je-li tento poměr dodržen je součinitel lambda roven jedné, takové směsi paliva se vzduchem říkáme stechiometrická směs. Pokud je vzduchu přebytek, je součinitel lambda větší než jedna (směs je chudší vzrostou emise oxidů dusíků), je-li vzduchu dodáno méně, než je potřeba, je hodnota součinitele lambda menší než jedna (směs je bohatší vzrostou emise oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků). U zážehových motorů je tento součinitel roven přibližně jedné, u vznětových motorů musí být vždy větší než jedna (běžně 1,3 až 2), jinak by docházelo ke značné tvorbě sazí.

## 4.6. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Po zpracování hodnot měřicím zařízením a následné vytištění protokolů o průběhu měření, byly z těchto protokolů přepsány hodnoty do počítače. Pro zpracování hodnot byly využity programy společnosti Microsoft Office Word a Excel, vše ve verzi 2007.

Použité vzorce:

$$\text{Aritmetický průměr: } x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4.6.)$$

$x_1, x_2 \dots x_N$  – hodnota

$N$  – počet hodnot

## 5. NAMĚŘENÉ EMISNÍ HODNOTY

### 5.1. VÝSLEDKY MĚŘENÍ EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ BA SPECIAL 91

#### Protokol 5.1.1. Hodnoty prvního měření BA SPECIAL 91

teplota oleje motoru.	80,3	°C
při volnoběhu		
otáčky	780	ot . min <sup>-1</sup>
předstih pĤÚ	3,6	°KH
obsah CO	1,379	%obj
obsah HC	243	ppm
obsah CO <sub>2</sub>	13,5	%obj
obsah O <sub>2</sub>	0,99	%obj
lambda	0,992	
při zvýšených otáčkách		
otáčky	2640	ot . min <sup>-1</sup>
předstih pĤÚ	39,1	°KH
obsah CO	1,952	%obj
obsah HC	201	ppm
obsah CO <sub>2</sub>	13,57	%obj
obsah O <sub>2</sub>	0,36	%obj
lambda	0,95	

V obou případech jsou emisní hodnoty v rozmezí dle seřizovacího předpisu emisních kontrol. Při režimu volnoběžných otáček, tak i zvýšených pracoval motor v pásmu bohaté směsi, ( $\lambda = 0,95 - 0,992$ ).

Protokol 5.1.2. Hodnoty druhého měření BA SPECIAL 91

měření	1.	2.	3.		průměr
při volnoběhu					
otáčky	790	770	760	ot . min <sup>-1</sup>	773
předstih pĚHÚ	3,9	3,7	3,7	°KH	
obsah CO	0,311	0,307	0,252	%obj	0,290
obsah HC	91	112	108	ppm	104
obsah CO <sub>2</sub>	11,72	10,59	10,53	%obj	10,95
obsah O <sub>2</sub>	4,62	5,97	6,19	%obj	5,59
lambda	1,251	1,36	1,382		1,331
při zvýšených otáčkách					
otáčky	2630	2620	2630	ot . min <sup>-1</sup>	2627
předstih pĚHÚ	37,7	37,8	37,8	°KH	
obsah CO	2,356	2,534	2,811	%obj	2,567
obsah HC	179	175	170	ppm	175
obsah CO <sub>2</sub>	13,26	13,06	12,77	%obj	13,03
obsah O <sub>2</sub>	0,82	0,72	0,86	%obj	0,80
lambda	0,96	0,951	0,949		0,953

V režimu volnoběžných otáček probíhalo spalování při poměrně ochuzené směsi,  $\lambda = 1,331$ . Emisní hodnoty nepřekračovaly limity stanovené seřizovacím předpisem. U zvýšených otáček byl poměr lambda s přebytkem paliva, mírně pod hranici jedné. Hodnota maximálního obsahu CO 2,5 %obj.,(dle seřizovacího předpisu emisních kontrol) byla překročena v režimu zvýšených otáček, z průměru o 0,067 %obj. Obsah HC, v režimu zvýšených otáček byl o 65 %, nižší, podle seřizovacího předpisu emisních kontrol.

## 5.2. VÝSLEDKY MĚŘENÍ EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ BA NATURAL 95

### Protokol 5.2.1. Hodnoty prvního měření BA NATURAL 95

teplota oleje mot.	80,8	°C
při volnoběhu		
otáčky	760	ot . min <sup>-1</sup>
předstih pHÚ	3,6	°KH
obsah CO	1,308	%obj
obsah HC	224	ppm
obsah CO <sub>2</sub>	13,72	%obj
obsah O <sub>2</sub>	0,87	%obj
lambda	0,99	
při zvýšených otáčkách		
otáčky	2640	ot . min <sup>-1</sup>
předstih pHÚ	39,1	°KH
obsah CO	2,119	%obj
obsah HC	201	ppm
obsah CO <sub>2</sub>	13,57	%obj
obsah O <sub>2</sub>	0,36	%obj
lambda	0,948	

U volnoběžných otáček nebyly překročeny limity, dle seřizovacího předpisu emisních kontrol. Hodnota lambda byla v rozmezí 0,948 – 0,99. Emisní hodnota CO<sub>2</sub> byla 13,72 %obj., u režimu volnoběžných otáček. V režimu zvýšených otáčkách tomu bylo obdobně (CO<sub>2</sub> 13,57 %obj.).



Protokol 5.2.2. Hodnota druhého měření BA NATURAL 95

měření	1.	2.	3.		průměr
při volnoběhu					
otáčky	760	780	790	ot . min <sup>-1</sup>	777
předstih pHÚ	3,9	3,7	3,8	°KH	
obsah CO	0,512	0,327	0,411	%obj	0,417
obsah HC	134	115	111	ppm	120
obsah CO <sub>2</sub>	10,19	10,36	10,38	%obj	10,31
obsah O <sub>2</sub>	6,3	6,29	6,25	%obj	6,28
lambda	1,379	1,388	1,379		1,382
při zvýšených otáčkách					
otáčky	2560	2590	2570	ot . min <sup>-1</sup>	2573
předstih pHÚ	37,7	37,8	37,7	°KH	
obsah CO	3,474	3,404	3,274	%obj	3,384
obsah HC	198	197	196	ppm	197
obsah CO <sub>2</sub>	12,27	12,32	12,43	%obj	12,34
obsah O <sub>2</sub>	1,02	1,08	1,09	%obj	1,06
lambda	0,936	0,941	0,943		0,940

Jako u BA Special 91 (Protokol 5.1.2), v režimu zvýšených otáčkách, byla překročena emisní hodnota CO o 35 %, dle seřizovacího předpisu emisních kontrol. Ostatní emisní složky nepřekročily hodnoty stanovené seřizovacím protokolem emisních kontrol.

### 5.3. VÝSLEDKY MĚŘENÍ EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ SHELL V – POWER RACING

#### Protokol 5.3.1. Hodnoty prvního měření SHELL V – POWER

teplota oleje mot.	82,6	°C
při volnoběhu		
otáčky	860	ot . min <sup>-1</sup>
předstih pHŮ	2,8	°KH
obsah CO	0,948	%obj
obsah HC	226	ppm
obsah CO <sub>2</sub>	13,61	%obj
obsah O <sub>2</sub>	1,2	%obj
lambda	1,017	
při zvýšených otáčkách		
otáčky	2600	ot . min <sup>-1</sup>
předstih pHŮ	42,7	°KH
obsah CO	1,987	%obj
obsah HC	194	ppm
obsah CO <sub>2</sub>	13,54	%obj
obsah O <sub>2</sub>	0,36	%obj
lambda	0,949	

Hodnoty nebyly překročeny, dle seřizovacího předpisu emisních kontrol, spalování probíhalo, při poměru lambda 0,949 – 1,017. Obsah CO<sub>2</sub> byl na hodnotách 13,54 – 13,61 %obj.

Protokol 5.3.2. Hodnoty druhého měření SHELL V – POWER

měření	1.	2.	3.		průměr
při volnoběhu					
otáčky	810	770	760	ot . min <sup>-1</sup>	780
předstih pHÚ	3,8	3,7	3,7	°KH	
obsah CO	0,487	0,296	0,311	%obj	0,365
obsah HC	121	114	116	ppm	117
obsah CO <sub>2</sub>	10,26	10,53	10,45	%obj	10,41
obsah O <sub>2</sub>	6,25	6,1	6,19	%obj	6,18
lambda	1,376	1,372	1,38		1,376
při zvýšených otáčkách					
otáčky	2560	2570	2590	ot . min <sup>-1</sup>	2573
předstih pHÚ	37,7	37,7	37,8	°KH	
obsah CO	3,142	2,907	2,641	%obj	2,897
obsah HC	198	164	159	ppm	174
obsah CO <sub>2</sub>	12,74	12,78	12,9	%obj	12,81
obsah O <sub>2</sub>	0,63	0,79	0,85	%obj	0,76
lambda	0,929	0,944	0,954		0,942

Při volnoběžných otáčkách motor pracoval s velmi chudou směsí ( $\lambda = 1,376$ ), což mělo za následek pokles CO<sub>2</sub>, nárůst O<sub>2</sub>, ve výfukových plynech. V režimu zvýšených otáček motor pracoval při mírně obohacené směsi ( $\lambda = 0,942$ ), tím došlo k poklesu O<sub>2</sub> (0,76 %obj.), oproti volnoběžnému režimu, kdy byla  $\lambda = 1,376$ . Jako v předcházejících případech byla u zvýšených otáček překročena hodnota CO o 15 % nad limit 2,5 %obj., dle seřizovacího předpisu emisních kontrol.

## 5.4. VÝSLEDKY MĚŘENÍ EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ LPG

### Protokol 5.4.1. Hodnoty prvního měření LPG

teplota oleje mot.	91,8	°C
při volnoběhu		
otáčky	760	ot . min <sup>-1</sup>
předstih pHÚ	3,2	°KH
obsah CO	0,865	%obj
obsah HC	316	ppm
obsah CO <sub>2</sub>	12,7	%obj
obsah O <sub>2</sub>	0,73	%obj
lambda	0,991	
při zvýšených otáčkách		
otáčky	2610	ot . min <sup>-1</sup>
předstih pHÚ	42,8	°KH
obsah CO	0,305	%obj
obsah HC	134	ppm
obsah CO <sub>2</sub>	13,19	%obj
obsah O <sub>2</sub>	0,61	%obj
lambda	1,014	

Spalování v režimech volnoběžných a zvýšených otáček proběhlo v přibližně ideálním stecheometrickém poměru ( $\lambda = 0,991 - 1,014$ ). Nebyl překročen žádný limit, dle seřizovacího předpisu emisních kontrol.

#### Protokol 5.4.2. Hodnoty druhého měření LPG

měření	1.	2.	3.		průměr
při volnoběhu					
otáčky	810	830	840	ot . min <sup>-1</sup>	827
předstih pHŮ	3,9	3,8	3,8	°KH	
obsah CO	0,14	0,064	0,066	%obj	0,090
obsah HC	135	146	135	ppm	139
obsah CO <sub>2</sub>	9,02	8,68	8,71	%obj	8,80
obsah O <sub>2</sub>	7,18	7,88	7,7	%obj	7,59
lambda	1,526	1,61	1,593		1,576
při zvýšených otáčkách					
otáčky	2610	2600	2610	ot . min <sup>-1</sup>	2607
předstih pHŮ	37,7	37,7	37,7	°KH	
obsah CO	1,084	0,608	0,694	%obj	0,795
obsah HC	133	93	99	ppm	108
obsah CO <sub>2</sub>	12,91	13,17	13,06	%obj	13,05
obsah O <sub>2</sub>	0,59	0,75	0,8	%obj	0,71
lambda	0,988	1,015	1,013		1,005

Při volnoběžných otáčkách, spalovací proces probíhal při velmi ochuzené směsi ( $\lambda = 1,576$ ). Hodnoty kyslíku (7,59 %obj.) narostly s ochuzením směsi, v režimu volnoběžných otáček. Při zvýšených otáčkách motor pracoval „v ideálním stecheometrickém poměru“, čímž narostla hodnota CO<sub>2</sub> = 13,05 %obj. Žádný limit nebyl překročen, dle seřizovacího předpisu emisních kontrol.

## 6. PŘEHLED NAMĚŘENÝCH HODNOT

### 6.1. CELKOVÝ PŘEHLED PŘI VOLNOBĚŽNÝCH OTÁČKÁCH\_PRVNÍ MĚŘENÍ

Tabulka 6.1.1. Celkový přehled

	Special_91	Natural_95	Shell_VPR	LPG	Norma*
obsah CO_ <sub>2</sub> _%obj/	1,379	1,308	0,948	0,865	0,5-1,5
obsah CO <sub>2</sub> _%obj/	13,5	13,72	13,61	12,7	neudává
obsah O <sub>2</sub> _%obj/	0,99	0,87	1,2	0,73	neudává
obsah HC_/ppm/	243	224	226	316	max. 500
lambda	0,992	0,99	1,017	0,991	neudává

\*Seřizovací předpis emisních kontrol

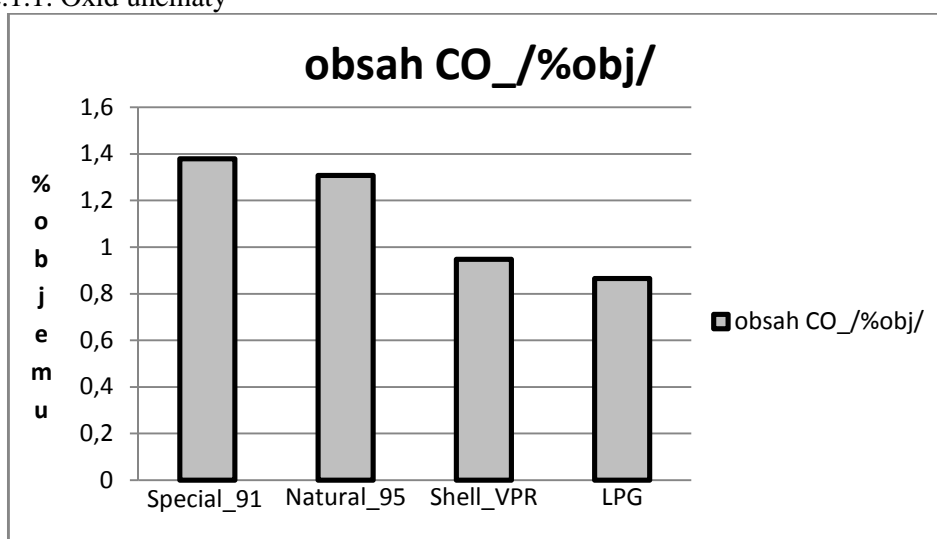
### 6.2. PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLEDOVANÝCH SLOŽEK EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

V grafech jsou vyneseny hodnoty jednotlivých složek, při použití zvolených paliv.

#### 6.2.1 SLOŽKA OXIDU UHELNATÉHO

Hodnota lambda byla u všech použitých paliv obdobná, byla blízko jedné. Hodnota obsahu CO ve spalínách (dle seřizovacího předpisu emisních kontrol), nebyla překročena u žádného paliva. Minimální hodnota obsahu CO, byla u LPG (0,865 %obj.) a maximální BA Special 91 (1,379 %obj.).

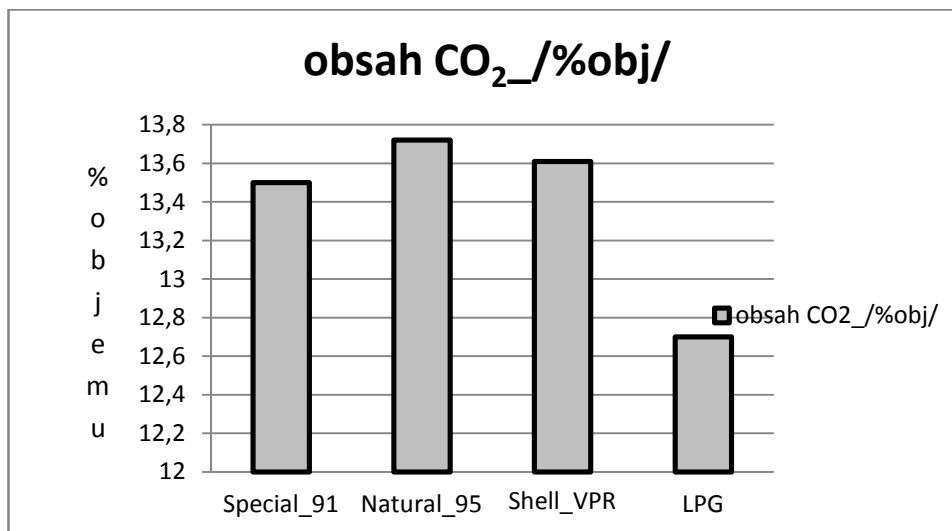
Graf 6.2.1.1. Oxid uhelnatý



## 6.2.2. SLOŽKA OXIDU UHLIČITÉHO

Hodnota lambda byla u všech paliv v rozmezí 0,99 – 1,017. Minimální hodnota obsahu CO<sub>2</sub>, byla u LPG (12,7 %obj.) a maximální BA Natural 95 (13,72 %obj.).

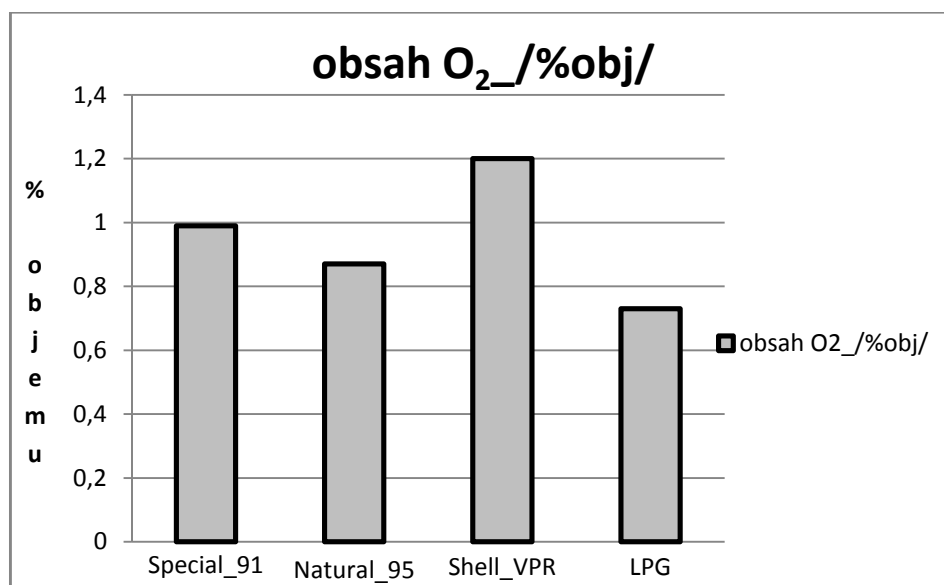
Graf 6.2.2.1. Oxid uhličitý



## 6.2.3. SLOŽKA KYSLÍKU

Hodnota lambda byla u všech paliv v rozmezí 0,99 – 1,017. Minimální hodnota obsahu O<sub>2</sub>, byla u LPG (0,73 %obj.) a maximální vysokooktanový benzin Shell V – Power Racing (1,2 %obj.).

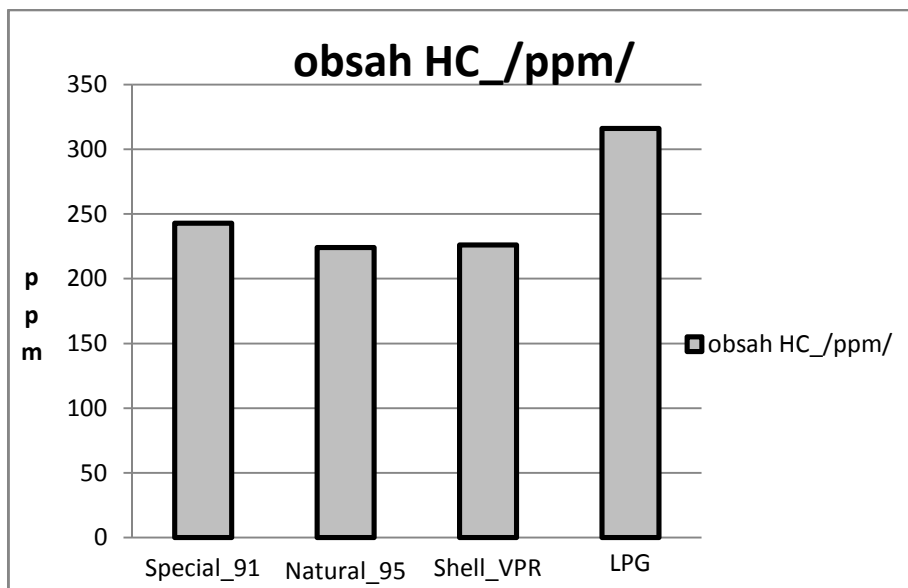
Graf 6.2.3.1. Kyslík



#### 6.2.4. SLOŽKA NESPÁLENÝCH UHLOVODÍKŮ

Hodnota lambda byla u všech paliv v rozmezí 0,99 – 1,017. Hodnota obsahu HC ve spalinách (dle seřizovacího předpisu emisních kontrol), nebyla překročena u žádného paliva. Minimální hodnota obsahu HC, byla u BA Natural 95 a maximální LPG o 41% více než BA Natural 95.

Graf 6.2.4.1. Nespálené uhlovodíky



#### 6.3. CELKOVÝ PŘEHLED PŘI ZVÝŠENÝCH OTÁČKÁCH\_PRVNÍ MĚŘENÍ

Tabulka 6.3.1. Celkový přehled

	Special_91	Natural_95	Shell_VPR	LPG	Norma*
obsah CO_ <sub>2</sub> _%obj/	1,952	2,119	1,987	0,305	0,5-2,5
obsah CO <sub>2</sub> _%obj/	13,57	13,57	13,54	13,19	neudává
obsah O <sub>2</sub> _%obj/	0,36	0,36	0,36	0,61	neudává
obsah HC_/ppm/	201	201	194	134	max. 500
lambda	0,95	0,948	0,949	1,014	neudává

\*Seřizovací předpis emisních kontrol



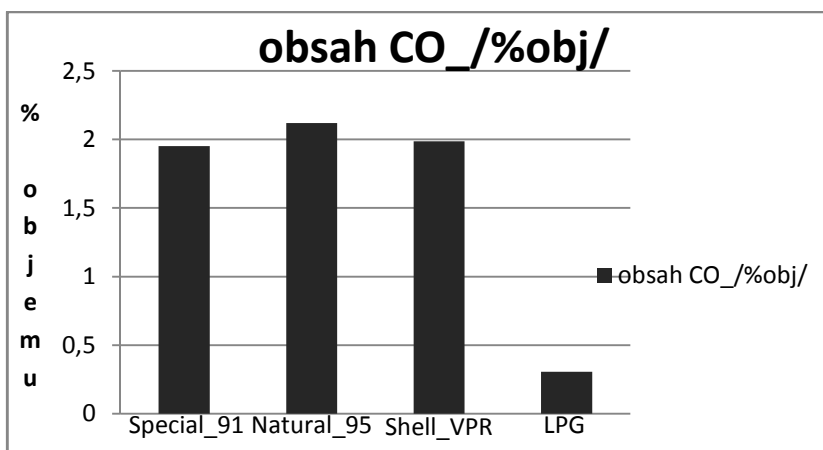
## 6.4. PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ PŘI ZVÝŠENÝCH OTÁČKÁCH

V grafech jsou vyneseny hodnoty jednotlivých složek, při použití zvolených paliv, v režimu zvýšených otáček.

### 6.4.1. SLOŽKA OXIDU UHLENATÉHO

Hodnota lambda byla u všech použitých paliv v rozmezí 0,948 – 1,014. Hodnota obsahu CO ve spalínách (dle seřizovacího předpisu emisních kontrol), nebyla překročena u žádného paliva. Minimální hodnota obsahu CO, ve spalínách byla u LPG (0,305 %obj.), kdy bylo pod spodní hranicí normy o 39 %. Maximální hodnota obsahu CO ve spalínách byla u BA Natural 95 (2,119 %obj.).

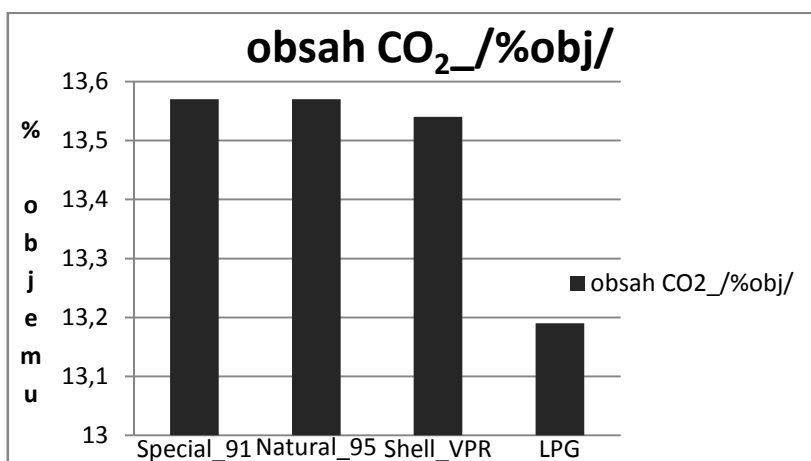
Graf 6.4.1.1. Oxid uhelnatý



### 6.4.2. SLOŽKA OXIDU UHLIČITÉHO

Hodnota lambda byla u všech použitých paliv v rozmezí 0,948 – 1,014. Minimální hodnota obsahu CO<sub>2</sub>, ve spalínách byla u LPG (13,19 %obj.). Maximální hodnota obsahu CO<sub>2</sub> ve spalínách byla u BA Natural 95 (13,57 % obj.).

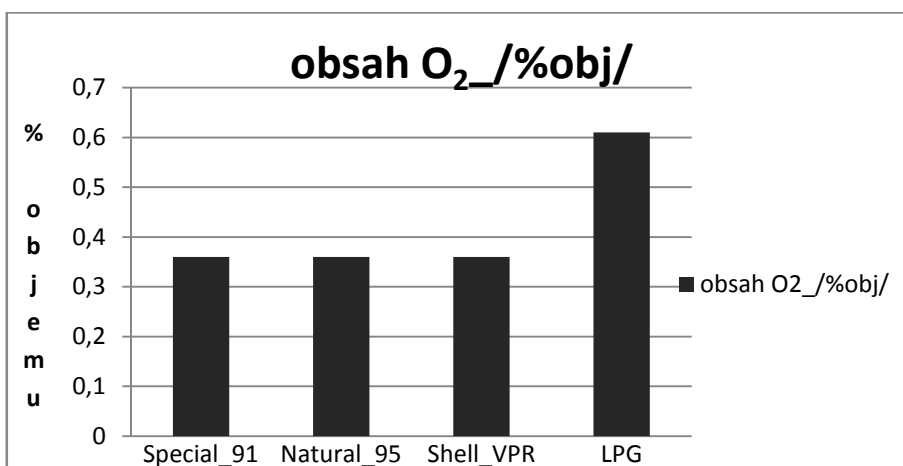
Graf 6.4.2.1. Oxid uhličitý



### 6.4.3. SLOŽKA KYSLÍKU

Hodnota lambda byla u všech použitých paliv v rozmezí 0,948 – 1,014. Minimální hodnoty obsahu O<sub>2</sub> ve spalinách byly u benzinů BA Special 91, Natural 95 a Shell V – Power Racing, na stejné úrovni 0,36 %obj. Maximální hodnota obsahu O<sub>2</sub> ve spalinách byla u LPG (0,61 %obj.).

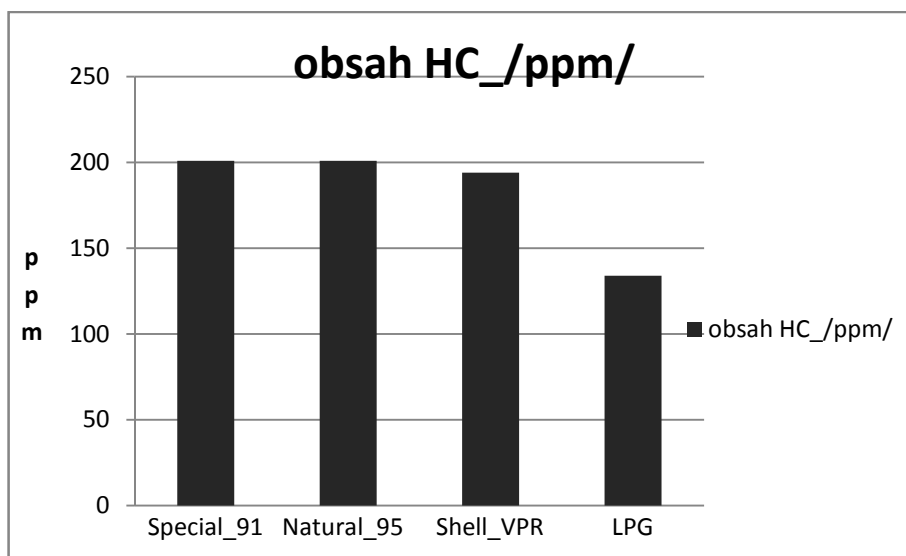
Graf 6.4.3.1. Kyslík



### 6.4.4. SLOŽKA NESPÁLENÝCH UHLOVODÍKŮ

Hodnota lambda byla u všech použitých paliv v rozmezí 0,948 – 1,014. Hodnota obsahu HC ve spalinách (dle seřizovacího předpisu emisních kontrol), nebyla překročena u žádného paliva. Minimální hodnota obsahu HC, ve spalinách byla u LPG (134 ppm). Maximální hodnoty obsahu HC ve spalinách byly u BA Special 91 a Natural 95, tedy 201 ppm.

Graf 6.4.4.1. Nespálené uhlovodíky



## 6.5. CELKOVÝ PŘEHLED PŘI VOLNOBĚŽNÝCH OTÁČKÁCH \_DRUHÉ MĚŘENÍ

Měření bylo provedeno s opakováním, u každého paliva třikrát.

Tabulka 6.5.1. Celkový přehled

	Special_91	Natural_95	Shell_VPR	LPG	Norma*
obsah CO_ <sub>2</sub> _%obj/	0,290	0,417	0,365	0,090	0,5-1,5
obsah CO <sub>2</sub> _%obj/	10,95	10,31	10,41	8,80	neudává
obsah O <sub>2</sub> _%obj/	5,59	6,28	6,18	7,59	neudává
obsah HC_/ppm/	104	120	117	139	max. 500
lambda	1,331	1,382	0,942	1,576	neudává

\*Seřizovací předpis emisních kontrol

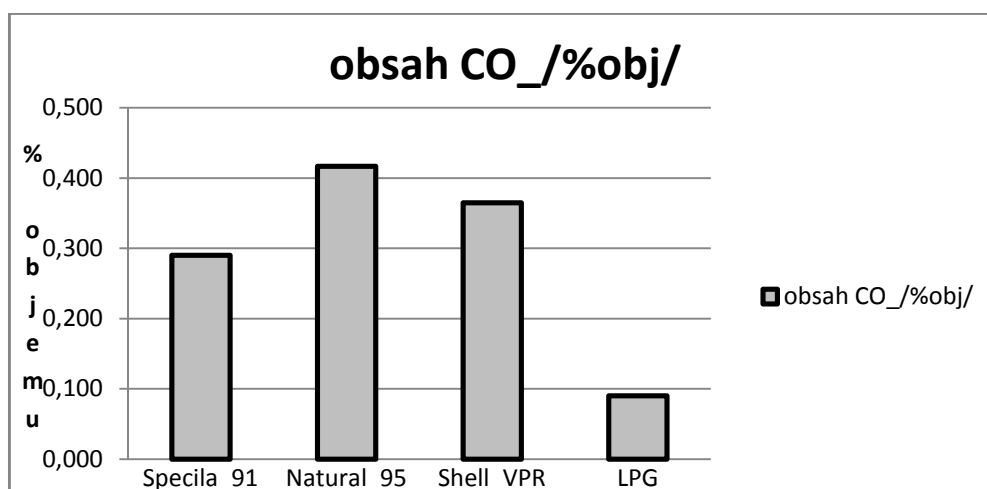
## 6.6. PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

V grafech jsou vyneseny hodnoty jednotlivých složek, při použití zvolených paliv, v režimu volnoběžných otáček.

### 6.6.1. SLOŽKA OXIDU UHELNATÉHO

Hodnota lambda u BA Special 91, Natural 95 a LPG poukazuje na ochuzenou směs, zatímco benzin Shell V – Power Racing, obohacenou směs ( $\lambda = 0,942$ ). Hodnota obsahu CO ve spalinách (dle seřizovacího předpisu emisních kontrol), nebyla překročena u žádného paliva. Byly pod spodní povolenou hranicí 0,5 %obj.. Minimální hodnota obsahu CO, ve spalinách byla u LPG (0,09 %obj.). Maximální hodnota obsahu CO ve spalinách byla u BA Natural 95 (0,417 %obj.).

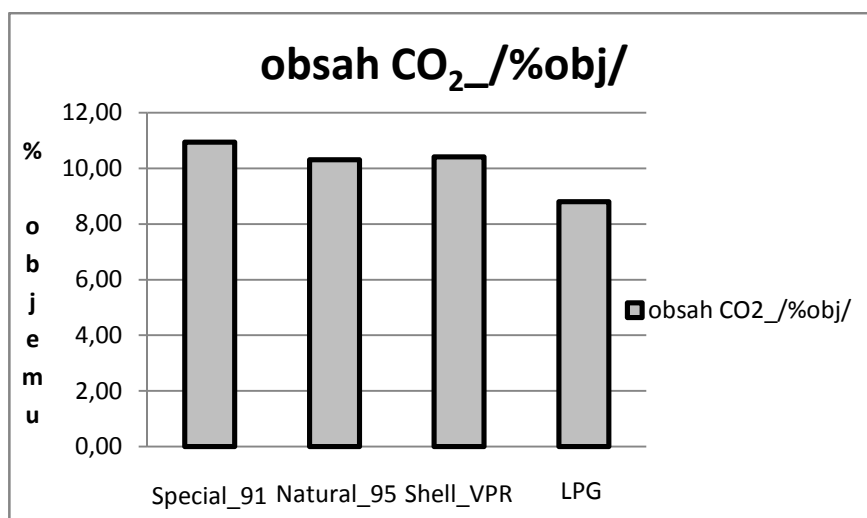
Graf 6.6.1.1. Oxid uhelnatý



### 6.6.2. SLOŽKA OXIDU UHLIČITÉHO

Hodnota lambda u BA Special 91, Natural 95 a LPG je vyšší než jedna, tedy ochuzená směs. Benzin Shell V – Power Racing, má obohacenou směs ( $\lambda = 0,942$ ). Minimální hodnota obsahu  $\text{CO}_2$ , ve spalinách byla u LPG (8,8 %obj.). Maximální hodnota obsahu  $\text{CO}_2$  ve spalinách byla u BA Special 91 (10,95%obj.).

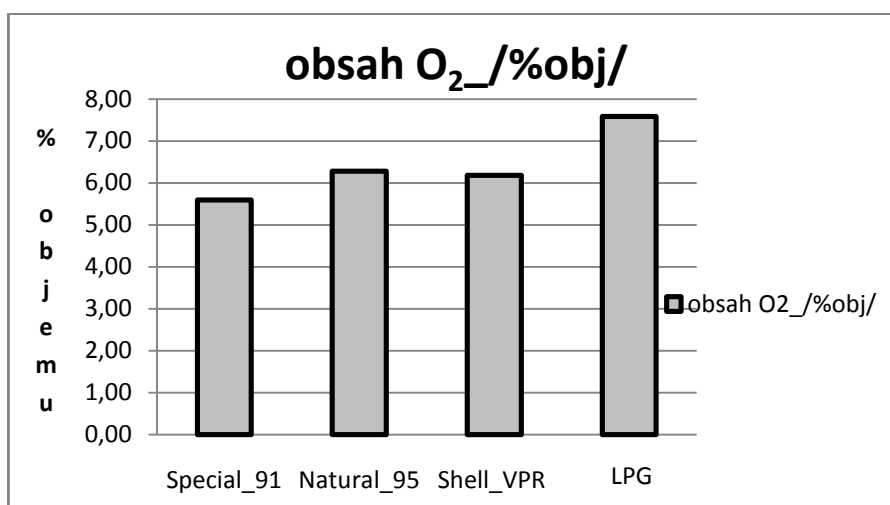
Graf 6.6.2.1. Oxid uhličitý



### 6.6.3. SLOŽKA KYSLÍKU

Hodnota lambda u BA Special 91, Natural 95 a LPG je vyšší než jedna, tedy ochuzená směs. Benzin Shell V – Power Racing, má obohacenou směs ( $\lambda = 0,942$ ). Minimální hodnota obsahu  $\text{O}_2$ , ve spalinách byla u BA Special 91 (5,59 %obj.). Maximální hodnota obsahu  $\text{O}_2$  ve spalinách byla u LPG (7,59 %obj.).

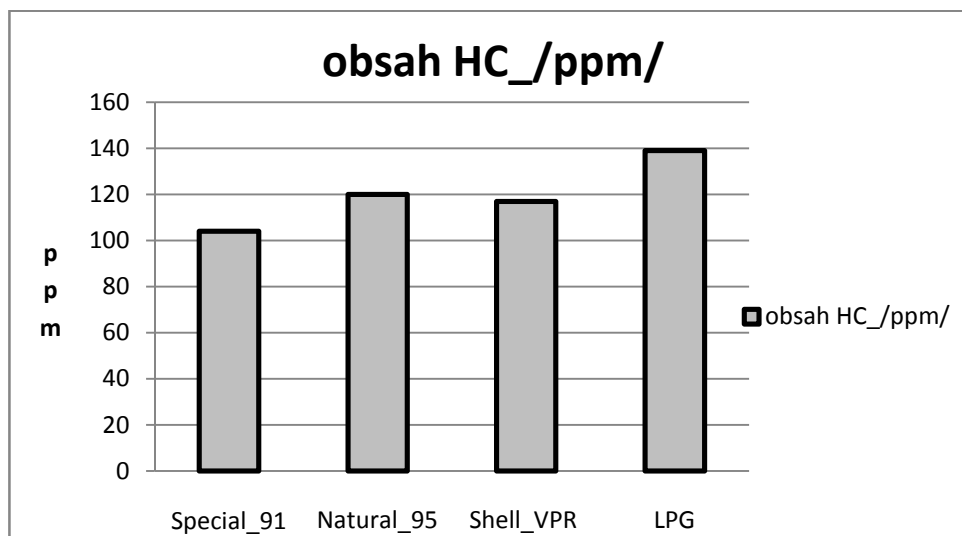
Graf 6.6.3.1. Kyslík



#### 6.6.4. SLOŽKA NESPÁLENÝCH UHLOVODÍKŮ

Hodnota lambda u BA Special 91, Natural 95 a LPG poukazuje na ochuzenou směs, benzín Shell V – Power Racing, má obohacenou ( $\lambda = 0,942$ ). Hodnota obsahu HC ve spalínách (dle seřizovacího předpisu emisních kontrol), nebyla překročena u žádného paliva. Minimální hodnota obsahu HC, ve spalínách byla u BA Special 91 (104 ppm). Maximální hodnota obsahu HC ve spalínách byla u LPG (139 ppm).

Graf 6.6.4.1. Nespálené uhlovodíky



#### 6.7. CELKOVÝ PŘEHLED PŘI ZVÝŠENÝCH OTÁČKÁCH\_DRUHÉ MĚŘENÍ

Tabulka 6.7.1. Celkový přehled

	Special_91	Natural_95	Shell_VPR	LPG	Norma*
obsah CO_ <sub>2</sub> _/%obj/	2,567	3,384	2,897	0,795	0,5-2,5
obsah CO <sub>2</sub> _/%obj/	13,03	12,34	12,81	13,05	neudává
obsah O <sub>2</sub> _/%obj/	0,80	1,06	0,76	0,71	neudává
obsah HC_/ppm/	175	197	174	108	max. 500
lambda	0,953	0,94	0,942	1,005	neudává

\*Seřizovací předpis emisních kontrol

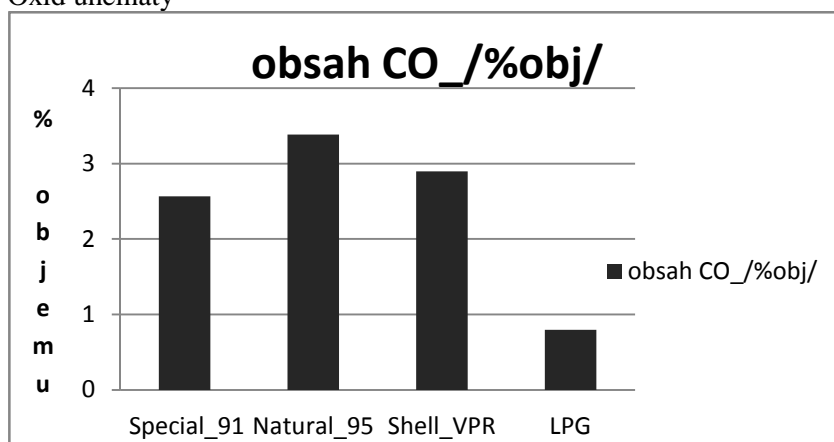
## 6.8. PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK EMISÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

V grafech jsou vyneseny hodnoty jednotlivých složek, při použití zvolených paliv.

### 6.8.1. SLOŽKA OXIDU UHELNATÉHO

Hodnota lambda byla u všech použitých paliv od 0,94 do 1,005. Hodnota obsahu CO ve spalinách (dle seřizovacího předpisu emisních kontrol), byla překročena u zvolených benzinů. Minimální hodnota obsahu CO, ve spalinách byla u LPG (0,795 %obj.). Maximální hodnota obsahu CO ve spalinách byla u BA Natural 95 o 35 % nad povolenou hranici (2,5 %obj.).

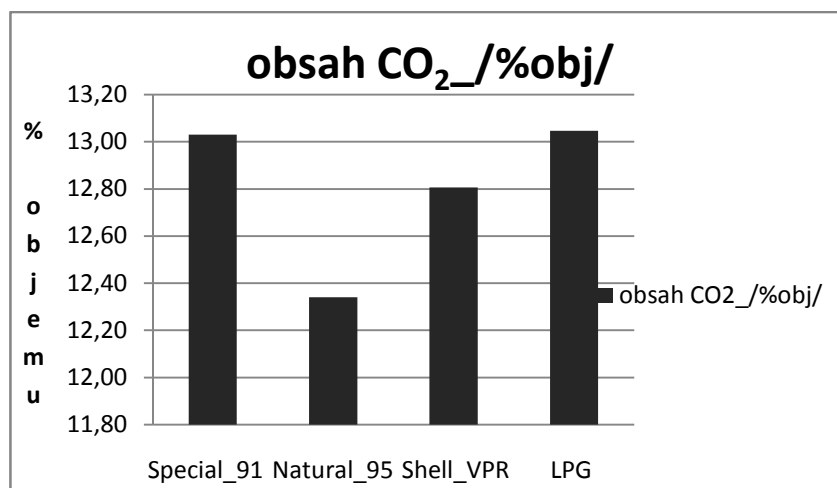
Graf 6.8.1.1. Oxid uhelnatý



### 6.8.2. SLOŽKA OXIDU UHLIČITÉHO

Hodnota lambda byla u všech použitých paliv od 0,94 do 1,005. Minimální hodnota obsahu CO<sub>2</sub>, ve spalinách byla u BA Natural 95 (12,34 %obj.). Maximální hodnota obsahu CO<sub>2</sub> ve spalinách byla u LPG (13,05 %obj.).

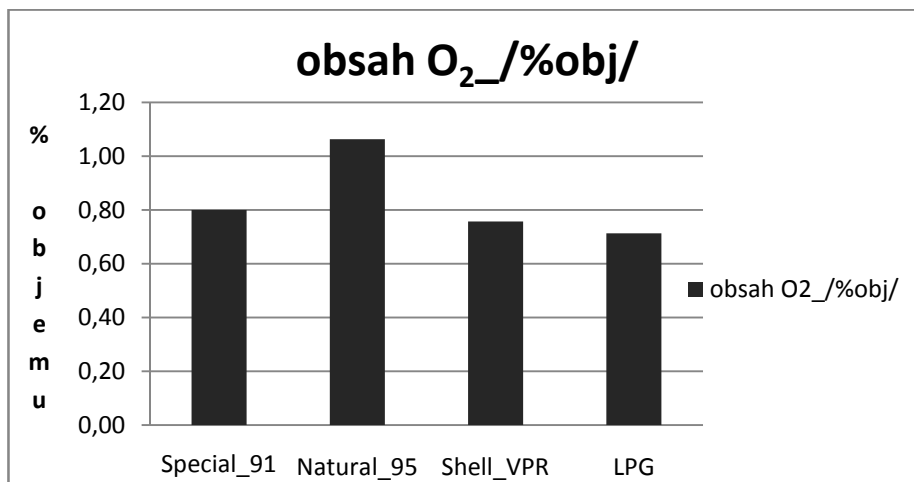
Graf 6.8.2.1. Oxid uhličitý



### 6.8.3. SLOŽKA KYSLÍKU

Hodnota lambda byla u všech použitých paliv od 0,94 do 1,005. Minimální hodnota obsahu  $O_2$  ve spalínách byla u LPG (0,71 %obj.). Maximální hodnota obsahu  $O_2$  ve spalínách byla u BA Natural 95 (1,06 %obj.).

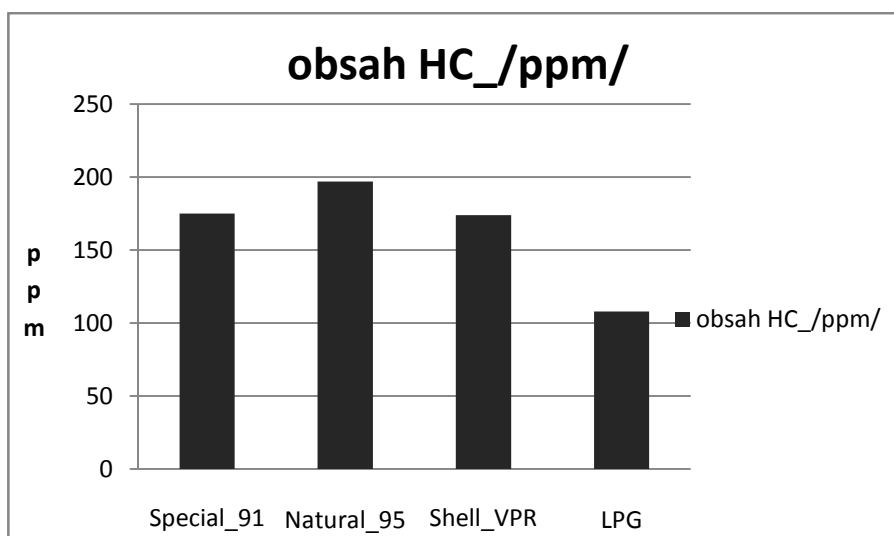
Graf 6.8.3.1. Kyslík



### 6.8.4. SLOŽKA NESPÁLENÝCH UHLOVODÍKŮ

Hodnota lambda byla u všech použitých paliv od 0,94 do 1,005. Hodnota obsahu HC ve spalínách (dle seřizovacího předpisu emisních kontrol), nebyla překročena u zvolených paliv. Minimální hodnota obsahu HC, ve spalínách byla u LPG (108 ppm). Maximální hodnota obsahu HC ve spalínách byla u BA Natural 95 o + 55 % oproti LPG.

Graf 6.8.4.1. Nespálené uhlovodíky



## 7. POROVNÁNÍ OBOU MĚŘENÍ

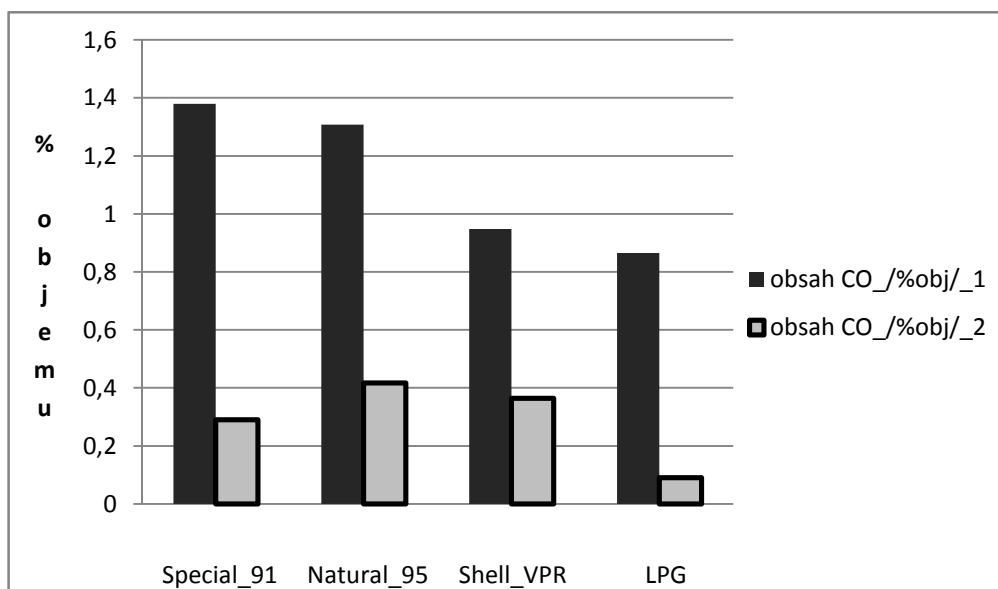
### 7.1. CELKOVÝ PŘEHLED PŘI VOLNOBĚŽNÝCH OTÁČKÁCH

Pro lepší přehlednost a vzájemné porovnání jsou hodnoty z obou měření vloženy do společného grafu, pro jednotlivé složky emisí výfukových plynů.

Tabulka 7.1.1. Celkový přehled

	Special_91	Natural_95	Shell_VPR	LPG
obsah CO <sub>2</sub> /%obj/_1 měření	1,379	1,308	0,948	0,865
obsah CO <sub>2</sub> /%obj/_2 měření	0,290	0,417	0,365	0,090
obsah CO <sub>2</sub> /%obj/_1 měření	13,5	13,72	13,61	12,7
obsah CO <sub>2</sub> /%obj/_2 měření	10,95	10,31	10,41	8,80
obsah O <sub>2</sub> /%obj/_1 měření	0,99	0,87	1,2	0,73
obsah O <sub>2</sub> /%obj/_2 měření	5,59	6,28	6,18	7,59
obsah HC_/ppm/_1 měření	243	224	226	316
obsah HC_/ppm/_2 měření	104	120	117	139

Graf 7.1.2. Oxid uhelnatý

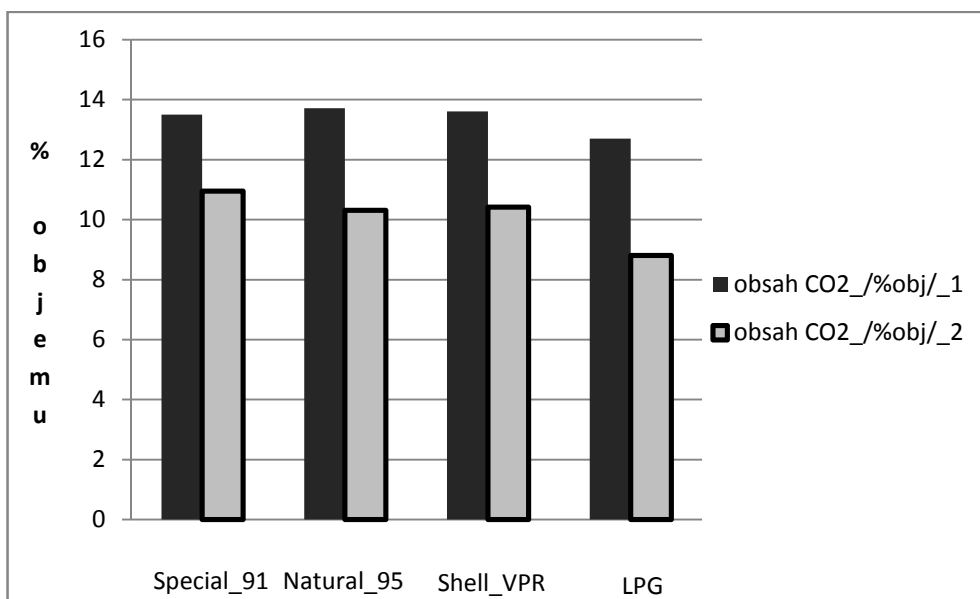


Celkově k překročení hodnoty ze seřizovacích předpisů emisních kontrol nedošlo. V prvním měření jsou vyšší hodnoty obsahu CO, oproti druhému měření, vliv má nedostatek kyslíku při spalování, což je jeden z hlavních způsobů vzniku CO, jak je popsáno v podkapitole 2.6.2.

Druhé měření je celkově pod spodní hranicí obsahu CO 0,5 %obj., dle seřizovacího předpisu emisních kontrol.

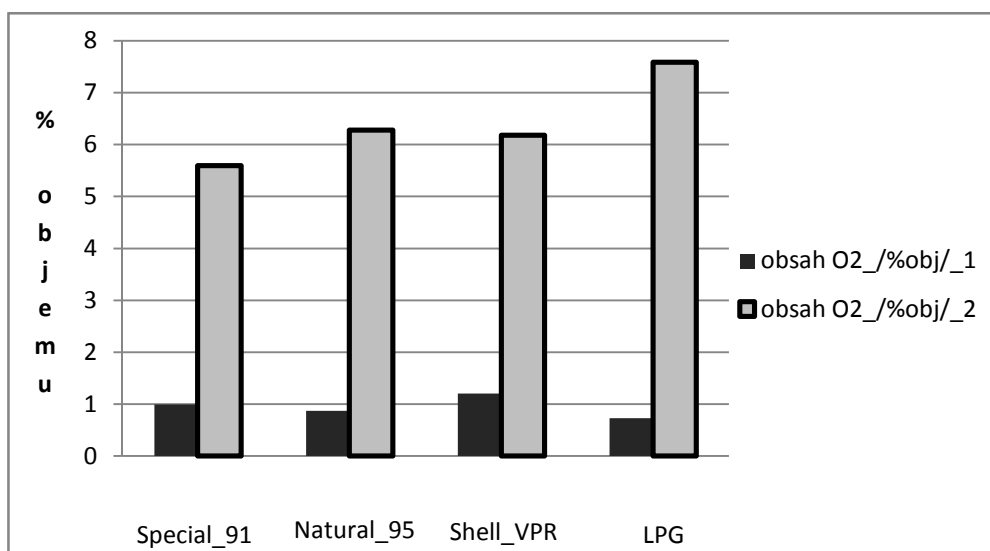


Graf 7.1.3. Oxid uhličitý



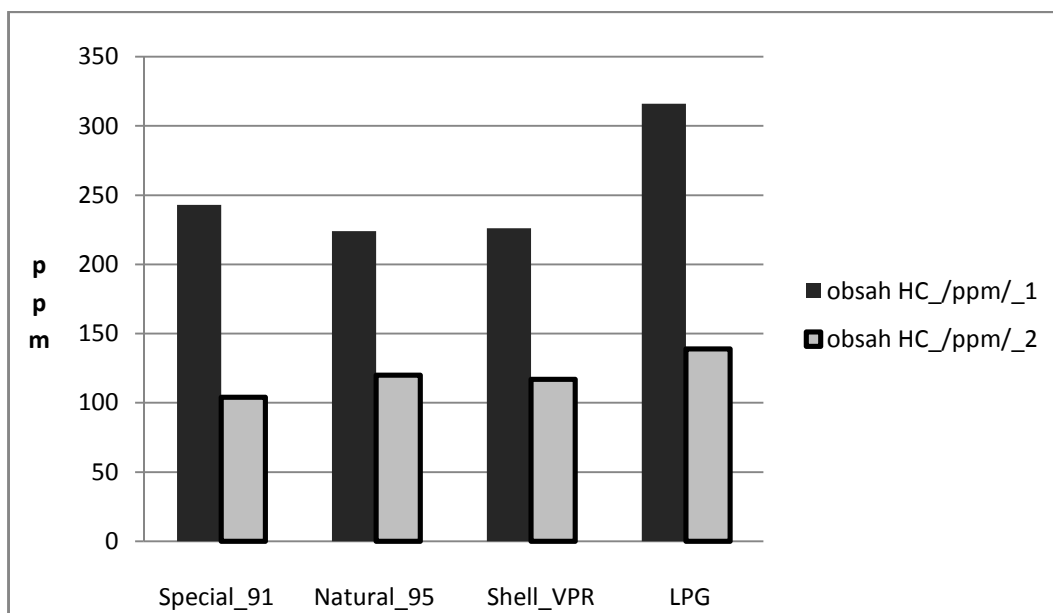
Obsah oxidu uhličitého je v prvním měření v rozsahu 12,7 až 13,72 %obj. Druhé měření je celkově u všech měření o 24 % nižší, oproti prvému měření. Kdy v prvním měření byla hodnota lambda 0,99 – 1,017 a u druhého měření byla  $\lambda$  0,942 – 1,576. Čímž dochází k nárůstu obsahu CO<sub>2</sub>, jak je popsáno v podkapitole 2.6.2..

Graf 7.1.4. Kyslík



Produkce emise kyslíku u sledovaných paliv byla u prvého měření výrazně nižší, 0,73 – 1,2 %obj., než druhé měření, byly hodnoty v rozmezí 5,59 – 7,59 %obj.. První měření bylo při poměr lambda 0,99 – 1,017. K nárůstu obsahu O<sub>2</sub> dochází s rostoucím ochuzením směsi. Což je patrné u druhého měření, kdy lambda je 0,942 – 1,576.

Graf 7.1.5. Nespálené uhlovodíky



Celkově k překročení hodnot ze seřizovacích předpisů emisních kontrol nedošlo. V prvním měření jsou vyšší hodnoty obsahu HC, oproti druhému měření. Při prvním měření motor pracoval s poměrem lambda 0,99 – 1,017.

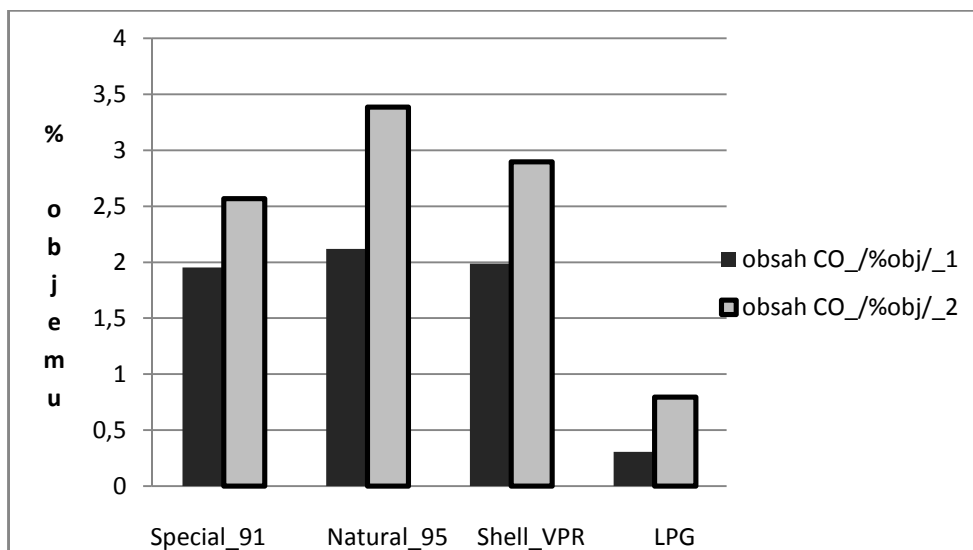
## 7.2. CELKOVÝ PŘEHLED PŘI ZVÝŠENÝCH OTÁČKÁCH

Pro lepší srovnání a přehlednost jsou výsledky obou měření jednotlivých složek v jednom grafu.

Tabulka 7.2.1. Celkový přehled při zvýšených otáčkách

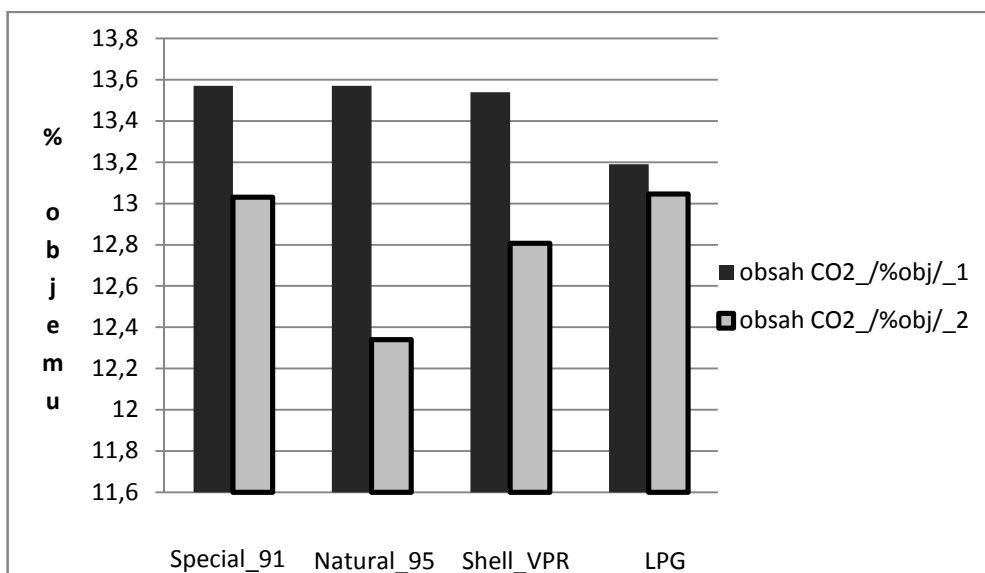
	Special_91	Natural_95	Shell_VPR	LPG
obsah CO_ <sub>2</sub> _/%obj/_1 měření	1,952	2,119	1,987	0,305
obsah CO_ <sub>2</sub> _/%obj/_2 měření	2,567	3,384	2,897	0,795
obsah CO <sub>2</sub> _/%obj/_1 měření	13,57	13,57	13,54	13,19
obsah CO <sub>2</sub> _/%obj/_2 měření	13,03	12,34	12,81	13,05
obsah O <sub>2</sub> _/%obj/_1 měření	0,36	0,36	0,36	0,61
obsah O <sub>2</sub> _/%obj/_2 měření	0,80	1,06	0,76	0,71
obsah HC_/ppm/_1 měření	201	201	194	134
obsah HC_/ppm/_2 měření	175	197	174	108

Graf 7.2.2. Oxid uhelnatý



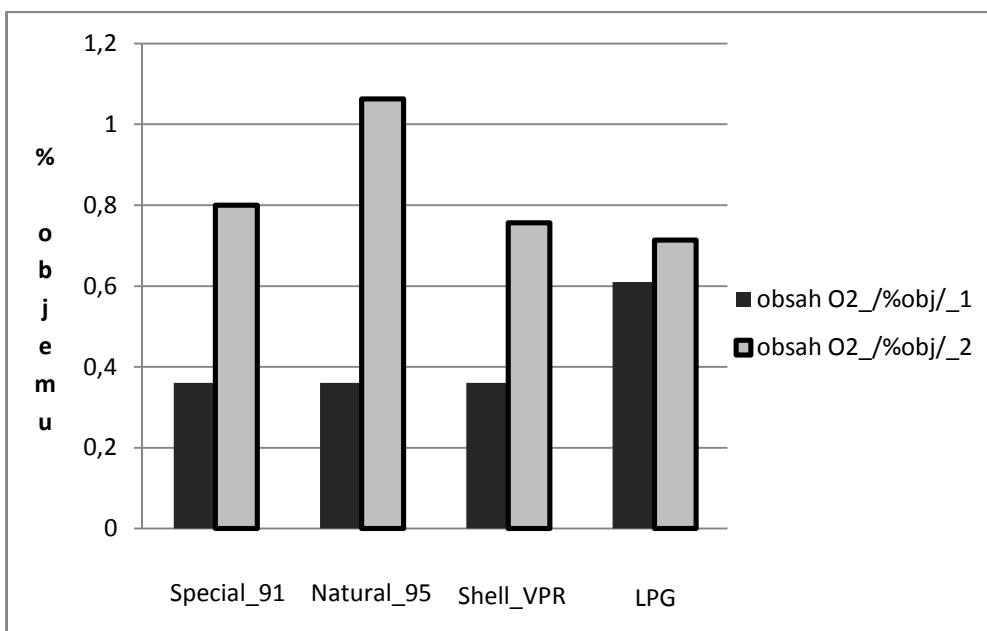
K překročení hodnoty ze seřizovacích předpisů emisních kontrol došlo u zvolených benzinů ve druhém měření průměrně o 15 % nad limit (2,5 %obj.). V prvním měření jsou nižší hodnoty obsahu CO, oproti druhému měření. Vznik obsahu CO dochází především při nedostatku kyslíku při spalování, jak je popsáno v podkapitole 2.6.2.

Graf 7.2.3. Oxid uhličitý



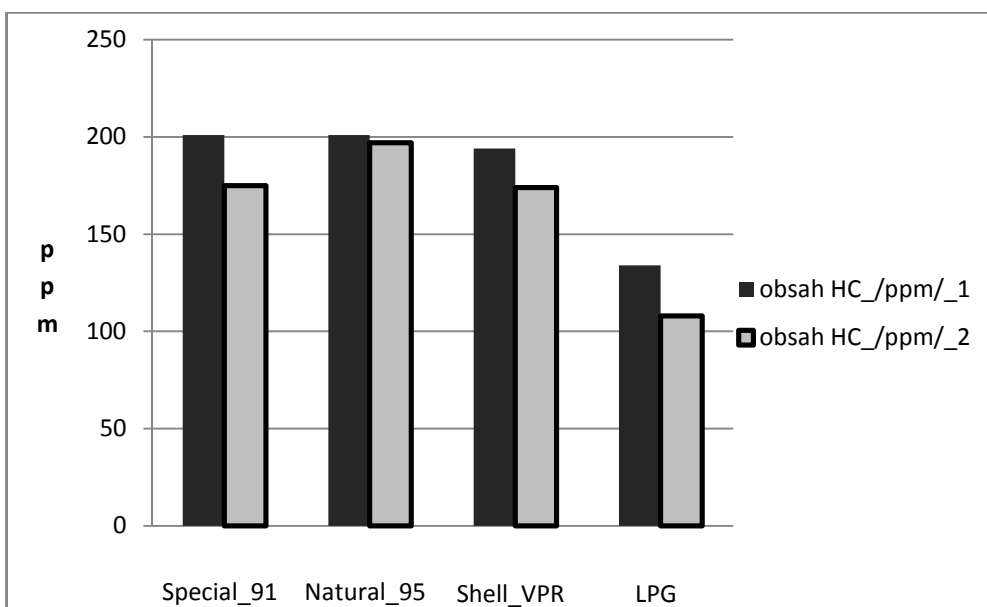
Obsah oxidu uhličitého je v prvním měření vyšší, průměrně 13,47 %obj.. U druhé měření je u všech paliv nižší. Nejvíce u BA Natural 95 o 9 %, oproti prvnímu měření BA Natural 95. V prvním i druhém měření byla hodnota lambda průměrně 0,965. Čímž dochází k nárůstu obsahu CO<sub>2</sub>, jak je popsáno v podkapitole 2.6.2.

Graf 7.2.3. Kyslík



Produkce kyslíku u sledovaných paliv byla u prvního měření nižší (průměrně 0,43 %obj.). U druhého měření byla průměrná hodnota O<sub>2</sub> = 0,83 %obj. První a druhé měření mělo poměr lambda průměrně 0,965.

Graf 7.2.4. Nespálené uhlovodíky



Celkově k překročení hodnot ze seřizovacích předpisů emisních kontrol nedošlo. V prvním měření jsou vyšší hodnoty obsahu HC v průměru o 10 %, oproti druhému měření. Při prvním a druhém měření motor pracoval s poměrem lambda (průměrně 0,965).

## 8. DISKUZE

Na základě vlastního měření emisí paliv, lze vyvodit závislosti druhu paliva na množství emisí u motoru 781. 135, značky škoda Favorit 135L.

### 8.1. VYHODNOCENÍ EMISÍ PŘI VOLOBĚŽNÝCH OTÁČKÁCH

#### 8.1.1. SLEDOVANÁ SLOŽKA CO

První sledovaná složka z výfukových plynů je oxid uhelnatý. Hlavní příčina jeho přítomnosti ve spalínách je nedostatek vzdušného kyslíku v samotné spalované směsi. Tato složka je pro životní prostředí, tak i pro člověka, jednou z jedovatých složek působících na organismus. Pro srovnání emisních hodnot CO pro měřený vůz Škoda Favorit 135L s typem motoru 781.135, bez řízeného katalyzátoru, jsou dány mezní hodnoty od 0,5 % obj. do 1,5 % obj. [14]. Z grafu 6.2.1.1. je patrné, že naměřená složka CO je u sledovaných paliv v požadované toleranci.

U použitého paliva BA Special 91 je CO na hodnotě 1,379 % obj., i když je toto palivo primárně určeno pro tento měřený vůz, vykazuje vyšší hodnotu oproti ostatním sledovaným palivům. Hodnota lambda byla 0,992, čili v pásmu bohaté směsi paliva. Což vede k nedostatku vzdušného kyslíku a sním spojené nedokonalé spalování směsi paliva. Ve druhém měření je hodnota CO 0,290 % obj., pod spodní hranicí mezní hodnoty, jak je patrné v grafu 6.6.1.1., což je lepší než mezní hodnoty. Spalování probíhalo při velmi ochuzené směsi s hodnotou  $\lambda = 1,331$ . Jak Baumburk [1] uvádí, obsah CO klesá se vzrůstajícím přebytkem vzduchu, se měřením potvrdilo.

Dalším použitým palivem BA Natural 95 u tohoto paliva, které je doporučeno výrobcem jako náhrada za BA Special 91. Hodnota CO 1,308 % obj., u BA Natural 95 byla nižší oproti BA Special 91, hodnota CO se pohybovalo v mezních hodnotách obsahu složky CO 0,5 – 1,5 %obj. Hodnota lambda 0,99 byla nižší, oproti BA Special 91, při prvním měření. U druhého měření byla hodnota na 0,417 % obj., tato směs byla ochuzena, hodnota průměrná lambda 1,382.

Třetím použitým palivem z řady paliv, bylo vysokooktanové palivo s udávaným OČ 100, Shell V-Power Racing. Toto palivo není primárně určeno pro daný typ motoru. Za daných podmínek hodnota složky CO, byla 0,948 % obj. Hodnota lambda v tomto případě byla 1,017, jež poukazuje na mírné ochuzení spalované směsi. Tím dochází k vytvoření podmínek pro dokonalé spálení směsi paliva. Ve druhém prováděném měření byla hodnota CO na 0,365 % obj., při ochuzené směsi paliva. Dostala se pod spodní hranici 0,5% obj., dle seřizovacího předpisu.

Posledním použitým palivem, bylo zvoleno LPG, jako zástupce alternativních paliv. Hodnota složky CO, byla 0.865 % obj., tedy pod hodnoty všech předešlých paliv.

I když není primárně určeno pro tento typ motoru. Hodnota poměru vzduchu a paliva, byla 0,991, v oblasti mírně bohaté směsi paliva. Hodnota CO při druhém měření se dostala na průměrnou hodnotu 0,090 % obj.. Což je takřka desetinásobek méně než v prvním měření.

Jak je patrné srovnání v grafu 7.1.3., potvrzuje se poznatek z [www.lpg.cz](http://www.lpg.cz) [8], že oproti hodnotám emisí paliv typu benzin, motorová nafta, jsou hodnoty oxidu uhelnatého nižší, což se potvrdilo.

### 8.1.2. SLEDOVANÁ SLOŽKA CO<sub>2</sub>

Je produktem spalování uhlovodíkového paliva se vzduchem. Hodnoty CO<sub>2</sub>, z prvního měření jsou v grafu 6.2.2.1. a druhé měření je v grafu 6.6.2.1.

První zvolené palivo BA Special 91, mělo hodnotu CO<sub>2</sub> 13,5 % obj., při mírně bohaté spalované směsi,  $\lambda = 0,992$ . U druhého měření byla hodnota nižší, tedy 10,95 % obj., při ochuzené směsi,  $\lambda = 1,331$ . Baumburk [1] uvádí, vzrůstající obsah CO<sub>2</sub> je závislý na poměru lambda, v blízkosti poměru lambda rovném jedné, bývá nejvyšší obsah CO<sub>2</sub>, následně s ochuzením, či obohacením směsi se obsah CO<sub>2</sub> snižuje.

U druhého paliva BA Natural 95, byla emisní složka CO<sub>2</sub> oproti primárně určenému palivu pro daný typ motoru byla vyšší (13,72 % obj.). Ve druhém měření je nižší hodnota CO<sub>2</sub>, oproti prvnímu měření (10,31 % obj.), zhruba o 3 % obj., méně.

Třetím použitým palivem byl Shell V- Power Racing. Měl mezi sledovanými benziny hodnotou obsahu CO<sub>2</sub> 13,61 % obj. při mírně bohaté směsi. U druhého měření se dostala hodnota obsahu CO<sub>2</sub> na 10,41 % obj., také při mírně obohacené směsi.

Z hodnot CO<sub>2</sub>, zvolených benzinů je patrné, že množství této sledované složky v prvním měření je vyrovnané, i když je rozdílná hodnota OČ, to je patrné i ve druhém měření.

Nejnižší hodnoty CO<sub>2</sub> bylo u alternativního paliva LPG. Emisní složka CO<sub>2</sub> byla 12,7 % obj. při  $\lambda = 0,991$ , u prvního měření. Ve druhém měření je hodnota CO<sub>2</sub> 8,8 % obj., tedy ještě nižší hodnota než první měření, při  $\lambda = 1,576$ .

### 8.1.3. SLEDOVANÁ SLOŽKA O<sub>2</sub>

Kyslík se objevuje ve spalínách výfukových plynů, jestliže se jeho celé množství nevyužije ke spalovacímu procesu. Hodnoty složky O<sub>2</sub> všech sledovaných paliv pro první měření jsou zobrazeny v grafu 6.2.3.1., hodnoty z druhého měření jsou zobrazeny v grafu 6.6.3.1.

Hodnota složky O<sub>2</sub> u BA Special 91, byla 0,99 % obj., při hodnotě lambda 0,992. U druhého měření byla hodnota O<sub>2</sub> 5,59 % obj., což je podstatně vyšší než při prvním měření. Nárůst O<sub>2</sub> ve druhém měření je podmíněn růstem přebytkem vzduchu na hodnotu  $\lambda = 1,331$ .

Dalším palivem je BA Natural 95, který měl z benzinů v této sledované složce nejnižší hodnotu (0,87 % obj.). Z pohledu této složky spalin výfukových plynů se jeví BA Natural 95 jako nejlepší palivo na využití vzdušného kyslíku, při samotné oxidaci paliva. Hodnota O<sub>2</sub> (5,59 % obj.) u BA Specialu 91, při prvním měření. Ve druhém měření je hodnota O<sub>2</sub> vyšší, tedy 6,28 % obj. Hodnota O<sub>2</sub> u Shell V-Power Racing (1,2 % obj.) byla nejvyšší z měřených paliv v prvním měření. Ve druhém měření se hodnota O<sub>2</sub> posunula o 0,1 % obj. níže oproti BA Natural 95 na hodnotu 6,18 % obj. Z měřených benzinů ve druhém měření měl nejvyšší hodnotu BA Natural 95. Obsah O<sub>2</sub> u spalin z benzinů poukázal na fakt, že s postupným růstem přebytku vzduchu poroste hodnota O<sub>2</sub>, jak je patrné v grafu 6.6.3.1., z druhého měření.

Nejnižší hodnotu O<sub>2</sub> = 0,73 % obj., z celkového měřítka sledovaných paliv, při prvním měření mělo LPG. Tím naznačuje vyšší využití vzdušného kyslíku při oxidaci směsi paliva. Ale při druhém měření byla hodnota O<sub>2</sub> = 7,59 % obj., nejvyšší ze všech měřených paliv.

Druhá měření měla vyšší hodnoty kyslíku, oproti prvním měření. Při druhém měření nebyla taková spotřeba kyslíku na spalování směsi paliva, která byla ochuzena. Ale i tak došlo k dostatečnému spalování, patrné z nízkých hodnot CO a HC ve druhém měření.

#### 8.1.4. SLEDOVANÁ SLOŽKA HC

Je množství nespálených uhlovodíků v emisích výfukových plynů. Hodnoty jsou uvedeny oproti předchozím v ppm (= parts per milion), užívané pro nízké koncentrace. Předepsaná maximální hodnota složky HC pro tento typ motoru 500 ppm [14]. Maximální hodnota (500 ppm) koncentrace nebyla překročena u žádného použitého paliva.

Při prvním měření byla hodnota HC u BA Special 91, 243 ppm. I když je tento druh benzínu veden jako hlavní k provozu tohoto motoru, vykazoval vyšší hodnotu oproti zbylým sledovaným benzinům. U druhého měření je množství HC pod požadovanou maximální hodnotou 500 ppm, je 104 ppm, jak je patrné z grafu 6.6.4.1. V tomto případě je poukázáno na fakt, jak Baumburk [1] uvádí, u zážehových motorů, bude nejnižší produkce HC v oblasti poměru lambda 1,1 až 1,2. A následným růstem, nebo poklesem přebytku kyslíku dochází k nárůstu obsahu HC.

Dalším sledovaným z benzinů pro tento motor je BA Natural 95, jež měl nejnižší hodnotu HC (224 ppm) ze sledovaných benzinů, tak i celkově s alternativním palivem, v tomto případě LPG. Natural 95 při druhém měření získal průměrnou hodnotu 120 ppm.

Vysokooktanový benzin Shell V – Power Racing měl hodnotu HC 226 ppm, přibližně na stejné úrovni s BA Natural 95. Při druhém měření byla hodnota HC, při použití Shell V – Power Racing, nižší než v prvním měření (117 ppm).

Nejvyšší hodnotu složky HC (319 ppm), byla u použitého alternativního paliva LPG, při mírně bohaté směsi. Což může být zapříčiněno u tohoto typu motoru přípravou směsi paliva mimo spalovací prostor, kdy část čerstvé směsi paliva se dostává přímo do výfukového potrubí. Ale ve druhém měření je hodnota složky HC nižší 139 ppm ( $\lambda = 1,576$ ), z pohledu všech měřených paliv je to nejvyšší hodnota druhého měření. Jak je patrné i v grafu 7.1.5. Postupnou úpravou směsi v blízkosti  $\lambda = 1$ , se ve spalinách výfukových plynů vyskytuje menší obsah HC.

## 8.2. VYHODNOCENÍ EMISÍ PŘI ZVÝŠENÝCH OTÁČKÁCH

### 8.2.1 SLEDOVANÁ SLOŽKA CO

Tato složka vznikající nedokonalou oxidací uhlíku a kyslíku, je omezena na mezními hodnotami 0,5 – 2,5 % obj., [14]. Hodnoty jednotlivých druhů paliv jsou uvedeny v grafu 6.4.1.1. Rozsah otáček motoru byly stanoveny mezními hodnotami 2500 – 2800 ot.min<sup>-1</sup>. Výsledky druhého měření jsou patrné v grafu 6.8.1.1.

BA Special 91 s hodnotou složky CO 1,952 % obj., to byla nejnižší hodnota mezi použitými benziny. V tomto režimu byla hodnota lambda 0,950, mírně bohatá směs paliva. Ve druhém měření došlo k navýšení hodnoty CO (2,567 % obj.), přes mezní hodnotu 2,5 % obj.

Při použití BA Natural 95 byla naměřena nejvyšší hodnota CO 2,119 % obj.. Hodnota lambda byla 0,948, oblast bohaté směsi. U druhého měření se u paliva BA Natural 95 opakovala nejvyšší naměřená hodnota z měřených paliv, tedy 3,384 % obj., při  $\lambda = 0,940$ . Je patrné z výsledných hodnot závislost na přebytku vzduchu, kdy se vzrůstající bohatostí směsi dochází k nárůstu obsahu CO.

Vysokooktanový benzin Shell V – Power Racing, měl hodnotu CO 1,987 % obj. V oblasti zvýšených otáček byl poměr vzduchu a paliva  $\lambda$ , na hodnotě 0,949. Při druhém měření byla překročena mezní hodnota (2,5 % obj.), na hodnotu CO 2,897 % obj., vlivem vyšší bohatosti směsi.

Celkově nejnižší hodnotu CO z měření měla „směs propanu a butanu“ v podobě LPG, hodnota CO 0,305 % obj., Hodnota byla pod mezní hodnotou emisního limitu 0,5 % obj. Což je velmi příznivé pro jeho užití v provozu. Navíc spalovací proces pracoval v oblasti mírného ochuzení směsi paliva  $\lambda = 1,014$ , jímž dochází ke zlepšení podmínek k dokonalému spalování směsi paliva se vzduchem. V případě druhého měření byla hodnota vyšší (0,795 % obj.), ale stále byla v mezních hodnotách. Při takřka ideálním stecheometrickém poměru, tedy  $\lambda = 1.005$ . Vliv na zvýšení hodnoty obsahu CO má mírné obohacování směsi.



Hodnoty CO u benzinů jsou poměrně vyrovnané, jež může mít za následek surovinový základ pro jeho výrobu a zušlechťující procesy při jejich výrobě. V druhém měření se opakuje výsledek, že benziny jsou si v produkci CO podobné.

Dále je potvrzeno konstatování z [www.lpg.cz](http://www.lpg.cz) [8], že oproti hodnotám emisí paliv typu benzin, motorová nafta, jsou hodnoty oxidu uhelnatého nižší, což se potvrdilo.

### 8.2.2. SLEDOVANÁ SLOŽKA CO<sub>2</sub>

Je jednou ze sledovaných složek, emisí výfukových plynů. Celkově byly hodnoty CO<sub>2</sub> podobné s používanými palivy, při zvýšených otáčkách. Sledovaná složka prvního měření je vyobrazena v grafu 6.4.2.1. Pro druhého měření platí graf 6.8.2.1.

Hodnota CO<sub>2</sub> u BA Special 91 byla 13,57 % obj., což bylo o 7 setin více, než při volnoběžných otáčkách. V druhém měření se hodnota CO<sub>2</sub> výrazně nezměnila (13,03 % obj.). Jelikož při obou měřeních motor pracoval v režimu bohaté směsi, průměrně  $\lambda = 0,965$ , následoval nárůst obsahu CO<sub>2</sub>.

Stejnou hodnotou, jako BA Special 91u prvního měření měl, BA Natural 95, 13,57 % obj., to byla o 0,15 % obj., nižší hodnota, oproti volnoběžným otáčkám. Hodnota CO<sub>2</sub> u BA Natural 95 ve druhém měření poklesla na 12,34 % obj. Také tato obě měření byla při bohaté směsi, průměrně  $\lambda = 0,965$ .

Hodnota 13,54 % obj., u Shell V - Power Racing byla nejnižší hodnota ze sledovaných benzinů, v prvním měření. Vysokooktanový benzin měl při druhém měření snížení obsahu CO<sub>2</sub> na hodnotu 12,81 % obj.

Celkově nejnižší naměřená hodnota CO<sub>2</sub> při prvním měření, byla u použitého paliva LPG 13,19 % obj.. U druhého měření nemělo LPG nejnižší hodnotu, od prvního měření, činila 13,05 % obj. Hodnoty CO<sub>2</sub> takřka kopírují stav při volnoběžných otáčkách, benziny jsou vyrovnané a LPG má zase oproti benzinům nižší hodnotu, při prvním měření.

### 8.2.3. SLEDOVANÁ SLOŽKA O<sub>2</sub>

Tato složka je ve srovnání s ostatními palivy z prvního měření v grafu 6.4.3.1. Pro druhé měření platí graf 6.8.3.1.

Hodnota této složky u BA Special 91, BA Natural 95 a Shell V - Power Racing, je na stejné naměřené hodnotě O<sub>2</sub> 0,36 % obj., oproti volnoběžným otáčkám došlo k poklesu O<sub>2</sub>. Následkem vyššího využití O<sub>2</sub> při oxidaci směsi paliva a tím snížení jeho přítomnosti v emisích výfukových plynů. Ve druhém měření se pohybovaly hodnoty obsahu O<sub>2</sub> okolo 1 % obj., což ukazuje na velké využití kyslíku při oxidaci paliva, tak jako v prvním měření. Také tato obě měření byla při bohaté směsi, průměrně  $\lambda = 0,965$ .

Hodnota u LPG 0,61 % obj. byla vyšší oproti benzinům, ale nižší než při volnoběžných otáčkách. Při hodnotě lambda, která byla 1,014, jež naznačuje podmínky pro dokonalé spalování směsi paliva. A dále vzrůstající přebytek kyslíku ve směsi, zapříčiní nárůst O<sub>2</sub> ve spalinách. Hodnota O<sub>2</sub> u druhého měření, činila 0,71 % obj., při poměru lambda 1,005.

#### 8.2.4. SLEDOVANÁ SLOŽKA HC

Která je zobrazena v grafu 6.4.4.1. se všemi měřeními palivy. Pro tuto složku je podmínkou její mezní maximální hodnota 500 ppm (dle seřizovacího předpisu emisních kontrol), při zvýšených otáčkách. Pro druhé měření jsou hodnoty uvedené v grafu 6.8.4.1.

Hodnoty HC u použitých paliv BA Special 91 a BA Natural 95 jsou totožné 201 ppm, jsou pod maximální hodnotou, ale z celkového pohledu mají nejvyšší hodnotu, oproti zbylým palivům.

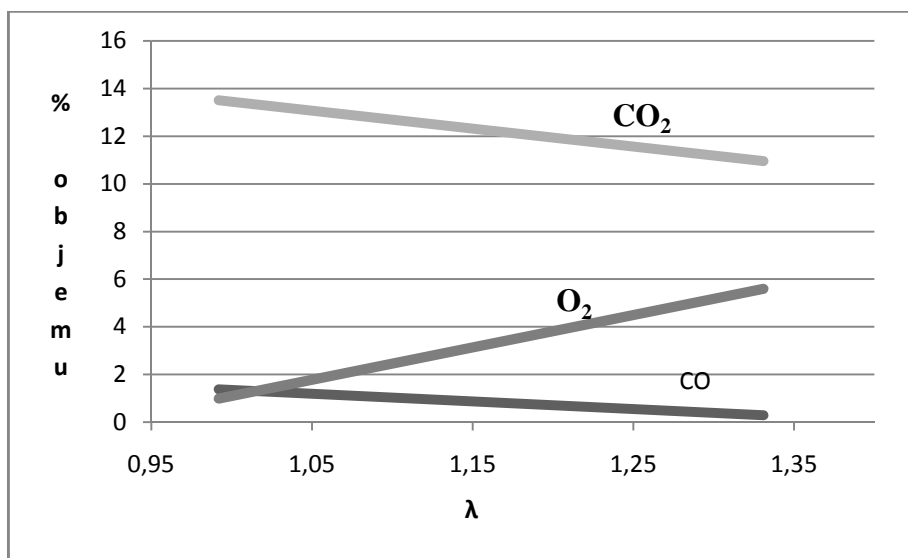
Shell V – Power Racing, měl hodnotu HC 194 ppm, což je velmi příznivé. Ve druhém měření byly hodnoty sledovaných benzinů na nižších hodnotách, než v prvním měření, pohybovaly se v rozmezí 174 – 197 ppm. Jsou stále dostatečně pod maximální hodnotou 500 ppm.

Nižších hodnot HC, oproti benzinům bylo u použitého paliva LPG (134 ppm), je tedy nejnižší hodnotou při zvýšených otáčkách. Navíc je zhruba o polovinu nižší než při režimu volnoběhu. LPG při druhém měření se dostalo níže na hodnotu obsahu HC 108 ppm.

### 8.3. POZNATKY

Z výsledku při použití benzínu, jako paliva. Graf 8.3.1., poukazuje na závislosti mezi poměrem lambda a emisemi CO, CO<sub>2</sub>, a O<sub>2</sub>. Graf je tvořen hodnotami z BA Special 91, jako primární palivo určené pro námi používaný motor.

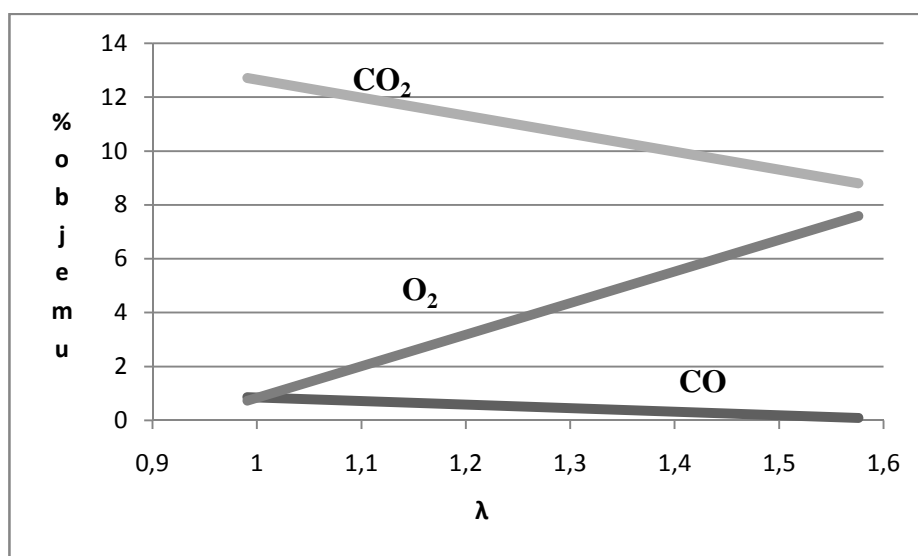
Graf 8.3.1. Hodnoty CO, CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> BA Special 91



Obsah CO<sub>2</sub> ve spalinách se dostává na své maximum v blízkosti hodnoty  $\lambda = 1$ , poklesem bohatosti směsi dochází ke snižování obsahu CO<sub>2</sub>. Opakem je O<sub>2</sub>, který v závislosti na vzrůstající ochuzení směsi bude stoupat, se současným poklesem CO<sub>2</sub>. Obsah CO, bude vlivem růstu bohatosti směsi stoupat.

Pro srovnání závislostí a hodnot je uveden graf 8.3.2., který zahrnuje hodnoty alternativního paliva LPG.

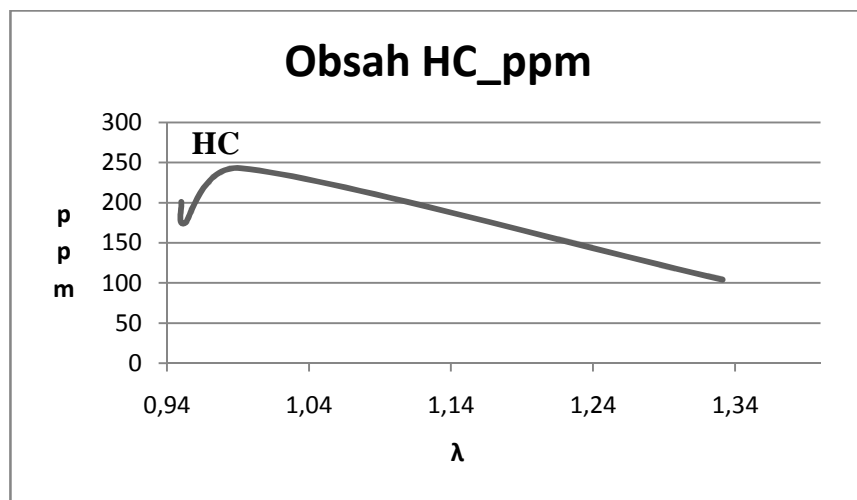
Graf 8.3.2. Hodnoty CO, CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> u LPG



Hodnoty emisí u LPG budou podobně záviset na poměru lambda jako u benzinů, navíc mohou dosahovat příznivějších hodnot než je tomu u benzinů.

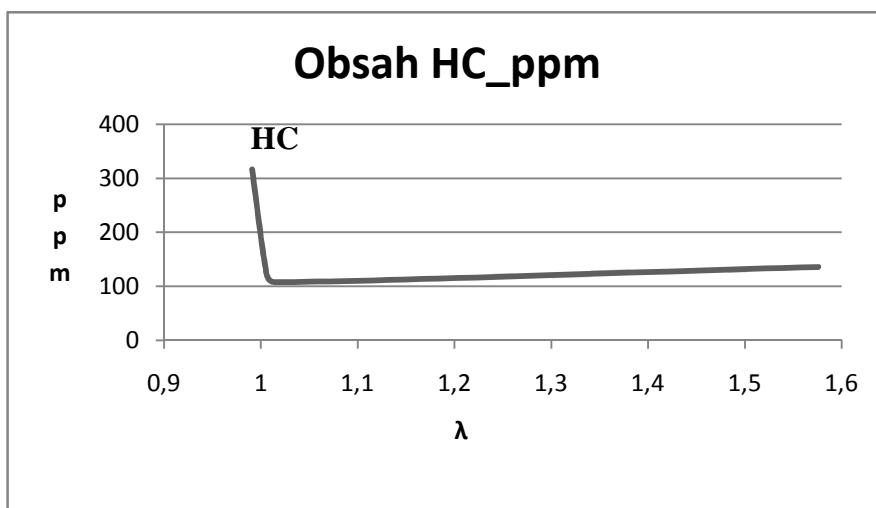
Co se týká hodnot emisí nespálených uhlovodíků, tak u benzinů bylo dosaženo maximálních hodnot při  $\lambda = 0,9$  až 1. Postupným ochuzením, či obohacením došlo k poklesu obsahu HC.

Graf 8.3.3. Obsah HC u BA Special 91



U LPG tomu bylo naopak, u hranice  $\lambda = 1$  byl obsah HC nejmenší, s ochuzením směsi mírně stoupal a při bohatosti směsi došlo k prudkému nárůstu obsahu HC.

Graf 8.3.4. Obsah HC u LPG



Hodnoty předstihu zážehu částečně potvrzují poznatek, jak uvádí Matějovský [1], se vzrůstajícím OČ vzrůstá předstih zážehu. BA Special 91 hodnota předstihu  $39^\circ$  před HÚ, BA Natural 95 má hodnotu  $39,1^\circ$  HÚ, Shell V- Power Racing (OČ 100)  $42,7^\circ$  HÚ, a LPG , které má OČ 98 – 112 (dle poměru propanu a butanu), má předstih zážehu na hodnotě  $42,8^\circ$  HÚ. Ve druhém měření poznatek o vzrůstajícím předstihu zážehu, se vzrůstajícím OČ, se neprojevil. Při druhém měření se u všech měřených paliv předstih zážehu pohyboval okolo  $37,8^\circ$ , ale stále byly v požadovaných mezích  $29 - 48^\circ$  dle seřizovacího předpisu.

## 8.4. Omezení vzniku škodlivin [1]

### 1) Vliv provozních podmínek na tvorbu škodlivin

Studený start. Při startu zážehového motoru (motor má teplotu okolního prostředí), je použita bohatá směs, tím se ve výfukových plynech objeví zvýšená koncentrace CO a HC.

Akcelerace. Je rychlé zvýšení zatížení motoru, postupným zvyšováním otáček z ustálených otáček. U zážehových motorů s karburátorem, nebo centrálním vstřikováním, musí před akcelerací dojít k obohacení směsi. Následkem je zvýšená produkce CO, HC a pokles  $\text{NO}_x$ .

U motorů se vstřikováním před sací ventil, k dodatečnému obohacení není zapotřebí, tím nedochází k produkci škodlivin v takové míře jako v předešlém případě.

Decelerace. Je opak akcelerace, tedy postupné snižování otáček motoru. U zážehového motoru dojde k uzavření škrtkové klapky. Vzniklý podtlak odsává palivo z palivového systému s následným odpařením palivového filmu ze stěn sacího potrubí. Tím se dostává ke spalování bohatá směs, jež má za následek vzrůst obsahu CO a HC. Pro snížení CO a HC v tomto případě jsou lepší systémy s přímým vstřikováním, kdy přívod paliva je plně uzavřen.

### 2) Opatření ke snížení škodlivin u zážehových motorů před motorem

Pomocí volby směšovacího poměru a tvorby směsi. Samotnou volbou vhodného směšovacího poměru nesnížit emise všech škodlivin současně. Pro oblast minimálních koncentrací CO a HC ( $\lambda = 1,05$  až  $1,1$ ), vznikají maximální škodliviny  $\text{NO}_x$ . Lepších výsledků se dosáhne při tvorbě směsi, pomocí jemného rozprašení paliva, dodržení homogenity směsi a minimální rozdíl poměrů  $\lambda$  u všech válců motoru. Protože při vzrůstajícím rozdílu  $\lambda$  jednotlivých válců, roste výrazně obsah CO, pozvolný nárůst má složka HC a složka  $\text{NO}_x$  má klesající průběh.

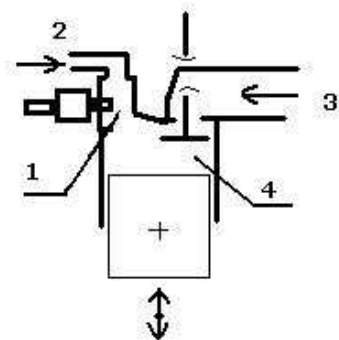
### 3) Opatření pro samotný motor

Kompresní poměr. Snižováním kompresního poměru, snižuje se i maximální teplota, tím dojde ke snížení  $\text{NO}_x$ , tak i HC. Na druhé straně dojde ke snížení výkonu, snižování tepelné účinnosti a zvyšování měrné spotřeby paliva.

Okamžik zážehu. Zmenšováním předstihu zážehu pod optimální hodnotu se zvyšuje měrná spotřeba paliva, současným poklesem maximální teplota spalování se snižují emise  $\text{NO}_x$ .

Vrstvení směsi. Kdy ve spalovacím prostoru (4) je ochuzená směs přiváděna sacím potrubím (3), v komůrce hlavy válce (1) je zapálená bohatá směs, přivedená pomocným kanálem (2), viz schéma 8.4.1. Po zapálení se z komůrky šíří turbulence, která rozvíří směs, tím se snižuje HC a vlivem přebytku kyslíku klesá obsah  $\text{NO}_x$ .

Schéma 8.4.1. Vrstvení směsi u motoru



Recirkulace výfukových plynů. Recirkulované určité množství výfukových plynů, které mají malý obsah  $O_2$  se smísí s čerstvou směsí, předá teplo, čímž sníží maximální spalovací teplotu a tím obsah  $NO_x$ . Vnitřní recirkulace závisí na překrytí sacích (otvírají se) a výfukových ventilů (zavírají se), při výměně náplně ve válci.

Podle velikosti překrytí sacích a výfukových ventilů se výfukové plyny tlačí do sacího kanálu pohybem pístu motoru, částečně se nasají do spalovacího prostoru z výfukového kanálu. Vznikne zvýšené množství zbytkových plynů ve válci. Motory s velkým úhlem překrytí ventilů, mají relativně nižší  $NO_x$ . Překrytí ventilů nelze libovolně měnit, zhoršoval by se chod motoru. Vnější recirkulace je provedena pomocí EGR (Egshaust Gas Recirkulation) ventilu, který je řízen závislostí polohy škrtící klapky, tlaku plnicího vzduchu, protitlaku ve výfukovém systému. Kdy je EGR ventil umístěn před tlumičem výfuku, nasává určité množství výfukových plynů a vrací zpět do spalovacího prostoru, přes sací potrubí.

#### 4) Opatření za motorem

Dodatečnou oxidací spalin v klasickém výfukovém systému. Abychom dosáhli požadované oxidace je třeba splnit dostatečně vysokou teplotu přes  $800\text{ }^\circ\text{C}$ , pomocí bohaté směsi, nebo spalování paliva přivedeném do výfuku. Dále je zapotřebí zajistit dostatek kyslíku ve výfukových plynech, pomocí přiváděného vzduchu do blízkosti výfukového ventilu. Tento systém má řadu nevýhod počínající krátkou reakční dobou, až po rychlé ochlazení systému.

Termické reaktory. Pracují na stejném principu jako dodatečná reakce v klasickém výfukovém systému, ale mají nedostatky odstraněny. Delší doba setrvání výfukových plynů v reaktoru je provedena pomocí jeho velkého objemu. Vysoká teplota přes  $800\text{ }^\circ\text{C}$ , je dosažena izolací proti odvodu tepla.

Katalytické reaktory. Chemicky je katalyzátor látka, ovlivňující průběh reakce, bez její účasti. Katalyzátorem jsou vrstvy drahých kovů, vyvolávající reakce nedokonaných produktů hoření se zbytkovým kyslíkem a oxidu dusíku, při nižších teplotách, než u termických reaktorů.

## 9. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo, na základě provedených měření a získaných hodnot porovnat alternativní paliva pro spalovací motory s konvenčními z hlediska hodnot emisí výfukových plynů.

### Z režimu měření při volnoběžných otáčkách

Byly získány následující závěry. Jednou ze sledovaných složek výfukových plynů v tomto režimu je složka CO. Tato složka je z hlediska poškození zdraví člověka a vlivu na životní důležitá, tak si zaslouží pozornost ji sledovat. Žádné palivo svojí hodnotou nepřekročilo mezní hodnoty 0,5 – 1,5 % obj. [14] Nejvyšší hodnoty mělo primárně určené palivo (BA Special 91) pro tento typ motoru doporučené výrobcem. U druhého měření byla nejvyšší hodnota CO u BA Natural 95. Nejnižší hodnotu CO byla u alternativního paliva LPG i v druhém měření. Pro snížení složky CO, má pozitivní vliv použití třicestného katalyzátoru, či řízeného katalitického systému. Navíc i dostatečné seřízení a údržba motoru vozidla. Jak je patrné v grafu 7.1.2. V průběhu hodnot při druhém měření došlo k podstatnému snížení oproti prvnímu měření. Jež může být důsledkem seřízení ventilové vůle, výměny vzduchového filtru a zapalovacích svíček.

Další sledovaná složka CO<sub>2</sub>, při prvním měření byla naměřena nejvyšší hodnota (13,72 %obj.) u BA Natural 95, oproti němu hodnota CO<sub>2</sub> cca o 1 %obj., méně byla u paliva LPG. Z grafu 6.2.2.1., je patrné, že benziny mají vyšší hodnoty CO<sub>2</sub>, oproti LPG, což zajisté způsobuje vliv složení paliva, to je zřejmé i v druhém měření v grafu 7.1.2. Protože paliva s kyslíkatým podílem mají nižší hodnoty, (LPG s příměsí metanolu), oproti vyššímu podílu uhlíku v benzinech. Vliv na snížení negativní složky CO<sub>2</sub> na životní prostředí, je snižovat spotřebu paliva, nebo snižovat podíl uhlíku v palivech a nahrazovat je kyslíkatou složkou pomocí alkoholů.

U složky O<sub>2</sub>, která je projevem dokonalosti oxidace paliva, byla průměrná hodnota (upoužitých paliv), O<sub>2</sub> = 0,95 %obj., u prvního měření. Spalování probíhalo při průměrné hodnotě  $\lambda = 1$ . U druhého měření byla průměrná hodnota O<sub>2</sub> = 6,41 %obj., při  $\lambda = 1,31$ . Nárůst hodnoty O<sub>2</sub>, je vlivem ochuzenosti směsi a většího množství nasávaného vzduchu, přes nový sací filtr.

Další měřená složka HC, jejíž hodnota (224 – 243ppm), byla u použitých benzinů téměř totožná. Podobnost hodnot HC je následek surovinového základu pro výrobu paliva, nedokonalou oxidací, ale i vnější tvorba směsi paliva se vzduchem. Při které dochází k úniku části čerstvé směsi do výfukového potrubí. Zabráněním nárůstu HC, které přináší energetickou zrátu, tak i zatěžuje životní prostředí, je nasměrování na kvalitní ropnou surovinu a její zpracování, tak zajistit řízené spalování pomocí řídicích jednotek motorů.

U LPG, byla hodnota HC nejvyšší, (316 ppm). Důvodem může být jiné složení paliva oproti benzinům, také konstrukce palivového systému, který je primárně určen pro benzin., to je patrné i ve druhém měření. Vliv má zřejmě nadměrně bohatá i chudá směs. U žádného zvoleného paliva hodnota HC nepřekročila maximální hodnotu 500 ppm.

#### Z režimu měření při zvýšených otáčkách

Emisní složka CO, s mezními hodnotami 0,5 – 2,5 % obj. Sledované benziny měly průměrnou hodnotu CO = 2 %obj. U druhého měření byla mezní hodnota 2,5%obj., překročena u všech sledovaných benzinů. Nejnižší hodnotu CO mělo alternativní palivo LPG (0,305 %obj.), které nepřekročilo 0,5 %obj. U druhého měření se dostalo nad dolní mez CO, s hodnotou 0,795 %obj. dopadlo nejlépe. Z tohoto pohledu se může říci, že tuto složku ovlivňuje dokonalost oxidace paliva, ale zároveň jeho složení, závislé na množství jednotlivých uhlovodíků obsažených v palivu. Snižovat lze pomocí řízeného katalytického systému a údržbou spalovacího motoru.

Hodnoty složky CO<sub>2</sub>, jsou u benzinů v rozsahu 13,54 -13,57 %obj., důvodem je podobný podíl uhlíků v palivech, na snížení CO<sub>2</sub> má vliv nahrazení uhlovodíků kyslíkatou složkou (alkoholy). Podobné je i druhé měření. Hodnoty CO<sub>2</sub> u LPG v prvním i druhém měření byly na úrovni cca 13 %obj.

Hodnoty u složky O<sub>2</sub> u všech sledovaných paliv při prvním a druhém měření byly v rozmezí 0,36 – 1,06 %obj., při průměrné  $\lambda = 0,965$ .

Další měřená složka HC při zvýšených otáčkách, s mezní hodnotou 500 ppm. BA Special 91 a BA Natural 95 mají stejnou hodnotu (201 ppm) a Shellem V-Power Racing (194 ppm). Ve druhém měření je rozmezí hodnot HC 174 -197 ppm. První měření u LPG bylo nejnižší z použitých paliv (134 ppm). Při druhém měření LPG byla hodnota HC 108 ppm, také nejnižší ze všech sledovaných paliv. Důvodem je přiblížení poměru  $\lambda = 1$ , kdy bývají obsahy HC nejnižší.

Z měření můžeme konstatovat, ať to bude jakýkoli zvolený typ benzínu, budou hodnoty emisí výfukových plynů srovnatelné. Odchyly mohou být způsobeny již použitou kvalitou základní suroviny pro výrobu benzinů, přidáním aditiv (přísady zvyšující oktanové číslo, inhibitory oxidace benzínu, detergentní přísady, deaktivátory kovů). Měřením se prokázal vliv údržby spalovacího motoru.

Při použití alternativního paliva LPG bylo možné vidět snižování složek emisí, na základě jiné skladby uhlovodíků s přidáním kyslíkatých přísad, které mají podíl na snižování emisí CO<sub>2</sub>. Další možností na snižování emisních složek má podíl, vývoj spalovacích motorů s řízeným spalováním.



## 10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Baumburk, P., Příslušenství spalovacích motorů, dotisk 1.vydání, Praha, Vydavatelství ČVUT Praha 1996, 236 s., ISBN 80-01-01103-8
  
- [2] Matějovský, V., Automobilová paliva, 1. vydání, Praha, Vydavatelství Grada Publishing, a.s. 2005, 228 s., ISBN 80-247-0350-5
  
- [3] Rábl, V., Roubíček, V., Technologie ropy, alternativní paliva, 1. vydání, Ostrava, Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava 2000, 267 s., ISBN 80-7157-690-6
  
- [4] Zehnálek, J., Chemie, paliva, maziva, 1. vydání, Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně 1998, 179 s., ISBN 80-7157-314-0
  
- [5] Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů, 1. vydání, Praha, Vydavatelství ČVUT 1997, 111 s., ISBN 80-01-01632
  
- [6] <http://cs.wikipedia.org>
  
- [7] <http://www.cng.cz>
  
- [8] <http://www.lpg.cz>
  
- [9] <http://www.hytep.cz>
  
- [10] <http://emise.eps.cz>
  
- [11] <http://en.wikipedia.org>
  
- [12] <http://autoeco.sweb.cz>
  
- [13] <http://skoda-virt.cz>
  
- [14] Sbírka zákonů č. 302/2001 - O technických prohlídkách a měření emisí vozidel
  
- [15] Návod k obsluze: Přístroj pro měření výfukových plynů ETT 8.70, BOSCH, divize automobilové techniky