

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2016

Bc. ŠIMON BAJER

Mendelova univerzita v Brně

Agronomická fakulta

Ústav techniky a automobilové dopravy



Vliv paliva na parametry spalovacího motoru

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

Vypracoval:

Bc. Šimon Bajer

Brno 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Vliv paliva na parametry spalovacího motoru vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

Abstrakt

Diplomová práce se na začátku teoretické části zaměřuje charakteristikou paliv pro zážehové motory, konkrétně na automobilový benzín a směs kapalných ropných plynů LPG. V další části se zabývá popisem jednotlivých prvků přestaveb nutných pro provoz automobilu na alternativní palivo. Pozornost je věnována také produkci emisi výfukových plynů těchto motorů, jednotlivým složkám nežádoucích exhalátů, jejich vznikem a působením na člověka, životní prostředí. Vlastní práce představuje samotné měření vozidla Subaru Forester, přestaveného na dvoupalivové, pro provoz jak na benzín, tak na LPG. Na zkoušeném vozidle byly sledovány provozní parametry pro jednotlivá paliva.

Klíčová slova: Natural 95, LPG, alternativní palivo, LPG systém, emise, automobil, automobilový benzín.

Abstract

At the beginning the theoretical part of the diploma thesis deals with a characteristic of fuels for ignition engines, namely to automotive petrol and a mixture of liquid petroleum gases (LPG). The next part is focused on a description of conversions of individual elements which are necessary for cars which operate on alternative fuel. As well the attention is paid to the production of emissions of exhaust fumes of these engines, to individual components of unwanted emissions, their formation and effect to people and the environment. The own thesis introduces a proper measurement of Subaru Forester car, converted into the two fuel car which is possible to work both on petrol and LPG. Operational parameters for particular fuels were observed on the tested car.

Key words: Natural 95, LPG (Liquid petroleum gas), alternative fuel, LPG system, emissions, automobile, automobile petrol.

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Cíl Práce.....	8
3	Paliva pro zážehové motory.....	9
3.1	Automobilový bezolovnatý benzín.....	9
3.1.1	Okтанové číslo.....	12
3.1.2	Aditiva bezolovnatého benzínu.....	13
3.2	LPG (Liquid petroleum gas).....	14
4	Prvky přestavby vozidel na alternativní pohon LPG.....	17
4.1	Nádrž.....	17
4.2	Elektrický ventil.....	17
4.3	Multiventil.....	18
4.4	Plynotěsná schránka.....	19
4.5	Reduktor.....	19
4.6	Palivová vedení.....	20
4.7	Přepínač BA/LPG.....	21
4.8	Dávkování paliva.....	21
4.8.1	Směšovač.....	21
4.8.2	Řízený směšovač.....	21
4.8.3	Systémy se vstřikováním.....	22
4.8.4	Vstřikování kapalně fáze.....	23
5	Emise zážehových spalovacích motorů.....	24
5.1	Emisní norma Euro.....	24
5.2	Složení výfukových plynů zážehového motoru.....	24
5.3	Charakteristika složek spalin.....	25
5.3.1	Oxid uhelnatý.....	25

5.3.2	Oxidy dusíku	25
5.3.3	Nespálené uhlovodíky	26
5.3.4	Oxid uhličitý	26
6	Použité měřicí zařízení, materiál a metodika zkoušení	28
6.1	Popis měřené vozidla	29
6.2	Válcový vozidlový dynamometr	30
6.2.1	Elektrický stejnosměrný dynamometr	32
6.3	Měření emisí	32
6.4	Příprava vozidla a měřícího stanoviště	33
6.5	Metodika měření	35
6.5.1	Dynamická metoda	36
6.5.2	Statická metoda	37
7	Vlastní měření	38
7.1	Úpravy prováděné na palivové soustavě LPG	38
7.2	Vyhodnocení výsledků	39
7.2.1	Tabulky naměřených hodnot	39
7.2.2	Grafické zpracování	42
8	Diskuze	49
9	Závěr	51

1 ÚVOD

S rostoucím počtem automobilů, rostou i nutné nároky na jejich provoz. Používání konvenčních fosilních paliv bude nadále možné jen po určitou dobu, než se vyčerpají světové zásoby ropy. Proto je nutné využívat alternativních paliv. Alternativní paliva v posledních 20 letech zažívají velký rozmach. Výrobci jsou tak nuceni hledat nová paliva a typy pohonu. Jako jsou bio paliva, která již lze vidět u většiny čerpacích stanic, nebo automobily s elektrickým pohonem.

Náhrady pístových spalovacích motorů jako elektromobily, jsou již dlouho známy, ovšem musely projít dlouhým vývojem až do dnes, kdy už jsou jejich provozní parametry na výborné úrovni. Hromadné rozšíření takovýchto automobilů s nulovými emisemi je však stále nemožné. Ekonomika a politická vůle bude stále preferovat konvenční pohony, než se zásoby ropy úplně nevyčerpají. Alespoň částečnou alternativou jsou tedy vozidla, buď výrobcem vyrobená, nebo dodatečně přestavěná s možným pohonem na více typů paliv. Mohou zde spadat i různé formy hybridů, které kombinují elektromotor se spalovacím motorem.

Použití alternativních paliv musí splňovat výkonnostní, ekonomické a samozřejmě ekologické nároky. Každé palivo má jiné vlastnosti a proto se hledají různé varianty pohonu, které budou tyto podmínky plnit. Jednou z možností, na kterou se v této práci zaměřují, jsou automobily se zážehovým spalovacím motorem, které jsou dodatečně přestavěny i pro pohon alternativním plynným palivem LPG, snižující jak náklady na provoz, tak produkci škodlivých emisí. Dnes už i někteří výrobci nabízejí vozidla konstruována pro pohon více palivy.

2 CÍL PRÁCE

Cílem mého měření bylo zhodnotit vybrané parametry dvoupalivového motoru a vyřešit problémy, které se objevovali při provozu na LPG, jelikož přestavba asi nebyla provedena dostatečně pečlivě. Měřené vozidlo bylo vyrobeno jako jednopalivové na výrobce předepsaný Natural 95. Přestavba na LPG byla provedena těsně před měřením. Při provozu na LPG byl znatelný pokles výkonu a docházelo i k nežádoucímu spalování benzínu. Snažili jsme se tedy tyto problémy odstranit a pokusit se dosáhnout stejných parametrů motoru při provozu na obě paliva. Hodnotícími kritérii byl výkon motoru a točivý moment. Dále pak vlastnosti exhalátu při jednotlivých provozech. Měřili se hodnoty CO, CO₂, NO_x, O₂ a součinitele přebytku vzduchu λ .

3 PALIVA PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY

Palivem přivádíme potřebnou energii spalovacímu motoru k jeho provozu. Spálením paliva v motoru lze chemickou energii v něm uloženou přeměnit v mechanickou. Vlastnosti paliva ovlivňují celý pracovní proces motoru, s tím spojenou ekonomickou a ekologickou hospodárnost energetických prostředků. Jako nejvýznamnějším je užíváno konvenčních automobilových benzínů. Zásoby ropy, potřebné k výrobě benzínu jsou však omezené, a proto jsou již dnes hojně zaváděna alternativní paliva. Alternativním se rozumí náhrada benzínu, a mohou jím tedy být i zkapalněný ropný plyn, či zemní plyn. Jinak jde převážně o paliva vyráběné z obnovitelných zdrojů (biomasy).

Rozdělení paliv

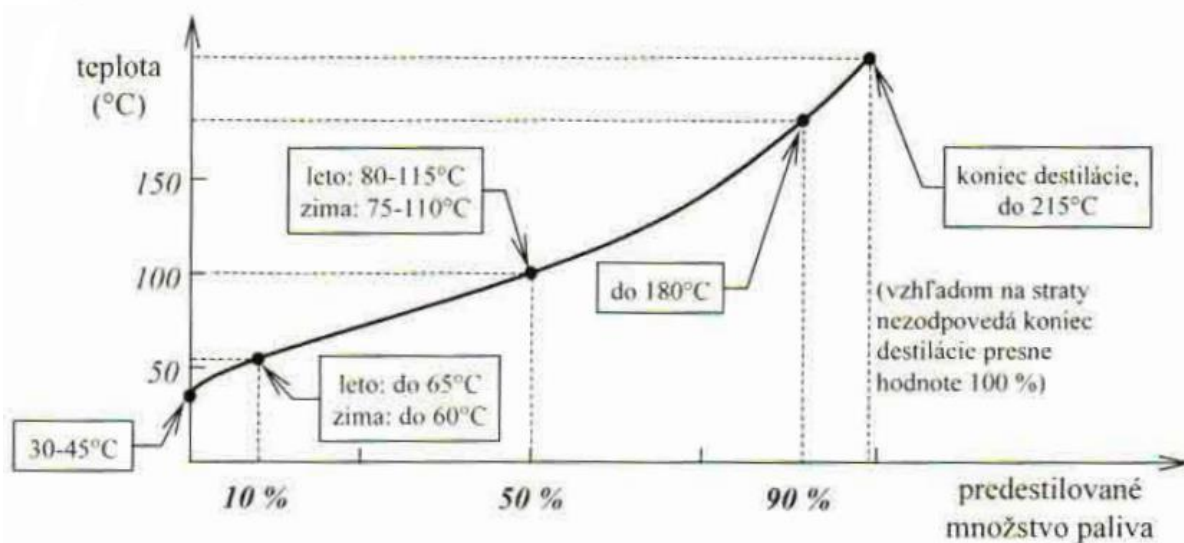
- klasická kapalná paliva – automobilový benzín
- alternativní paliva
 - kapalná – bioetanol, biometanol
 - plynná – LPG, CNG, bioplyn

V mé práci se věnuji měření parametrů motoru na automobilový bezolovnatý benzín a LPG, dále se tedy budu zabývat charakteristikou jen těchto dvou paliv. (Matějovský, 2005)

3.1 Automobilový bezolovnatý benzín

Bezolovnatý benzín je směs kapalných uhlovodíků vroucích v rozmezí 30 až 210°C, získaných frakční destilací a zušlechťovacími procesy z ropy.

Důležitou vlastností benzínu je jeho odpařitelnost, odvíjející se od jeho frakčního složení. V sacím potrubí se musí při tvorbě směsi odpařit 60-70 % paliva. Musí obsahovat dostatek lehce odpařitelných frakcí pro dobrou startovatelnost motoru a zároveň nesmí obsahovat frakce vroucí nad 200°C, které se neodpaří, po stěnách válců stékají do olejové náplně, ředí jí a degradují motorový olej. Složení dle jednotlivých frakcí je charakterizováno frakční křivkou.



Obr. 1 Destilační křivka benzínu (Hlavňa, 2000)

Pomocí destilační (frakční) křivky na obrázku 1 lze stanovit procentuální množství předestilovaného paliva a teploty určující charakteristické vlastnosti paliva:

- 0 % bod – začátek destilace, teplota v rozmezí 30-45 °C, teplota ovlivňující ztráty paliva odpařováním při manipulaci s ním
- 10 % bod – je definovaný předestilováním 10 % paliva. Tato teplota charakterizuje startovatelnost motoru. Čím je menší, tím benzín obsahuje více lehkých frakcí, usnadňující zapálení směsi. Maximální hodnota je pro letní druhy benzínu 65°C a pro zimní 60°C
- 50 % bod – polovina paliva je již předestilována. Charakterizuje hlavní pracovní frakci. Teplota pro letní směsi je 80-115°C a 75-110°C pro zimní. Čím nižší je teplota, tím se motor rychleji zahřeje na provozní teplotu.
- 90 % bod – maximální teplota při předestilování 90 % paliva musí být 180°C. Vznikají těžké frakce, podílející se na tvorbě usazenin ve spalovacím prostoru. (Hlavňa, 2000)

V České republice jsou nabízeny převážně 3 druhy automobilových benzínů, jsou to Super BA 95, Super BA 95 E10 a Super plus BA 98, povolené označení je i Natural 95, 98. V tabulce 1. jsou uvedeny druhy benzínů, které je možné nabízet dle normy ČSN EN 228. Benzíny Normal BA 91 a Special BA 91 však dnes již

vyráběny nejsou. Special BA 91 byl určen motorům vyráběným na olovnatý benzín a musel obsahovat aditiva pro ochranu ventilových sedel VRSPA (valve seat recession protection aditive). (ČSN EN 228, 2013)

Tab. 1 Druhy schválených automobilových benzínů dle ČSN EN 228 (ČSN EN 228, 2013)

Označení	OČVM	OČMM	Barva	Obsah etanolu, max. % (V/V)
Super BA 95 - Natural 95	95	85	nebarveno	5
Super BA 95 E10	95	85	nebarveno	10
Super Plus BA 98 - Natural 98	98	88	nebarveno	5
Normal BA 91	91	82	nebarveno	5
Special BA 91*	91	82	oranžová	5
*obsahuje přísadu VRSPA				

Následující tabulka stanovuje technické požadavky nejpoužívanějšího benzínu Super BA 95 s maximálním obsahem kyslíku do 2,7 %.

Tab. 2 Technické požadavky automobilového benzínu Super BA 95 (ČSN EN 228, 2013)

Vlastnost	Jednotky	Mezní hodnoty	
		min.	max.
Oktanové číslo výzkumnou metodou, OČVM		95	-
Oktanové číslo motorovou metodou, OČMM		85	-
Obsah olova	mg/l	-	5
Hustota (při 15°C)	kg/m ³	720	775
Obsah síry	mg/kg	-	10
Obsah manganu	mg/l	-	2
Oxidační stabilita	minuty	360	-
Obsah pryskyřic	mg/100ml	-	5
Korozivní působení na měď (3h při 50°C)	korozivní stupeň	třída 1	
Vzhled		čirý	
Uhlovodíkové složení olefiny	% (V/V)	-	18
aromáty		-	35
Obsah benzenu	% (V/V)	-	1
Obsah kyslíku	% (m/m)	-	2,7
Obsah kyslíkatých látek metanol	% (V/V)	-	3
etanol		-	5
iso-propylalkohol iso-butylalkohol terc-butylalkohol étery jiné kyslíkaté látky		Objem mísení je omezen na maximální obsah kyslíku 2,7% (m/m)	

3.1.1 Oktanové číslo

Udává antidetonační vlastnosti automobilových benzínů, čili vyjadřují odolnost benzínu proti detonačnímu hoření. Při detonačním hoření dochází k místnímu vzplanutí části nasávané směsi. Rychlost normálního hoření směsi od zapalovací svíčky je asi 20-

50 m.s⁻¹, při detonačním hoření se pohybuje kolem rychlosti zvuku. Detonace vyvolává tlakové vlny šířící se spalovacím prostorem. Nárazy vln na stěny válce a dno pístu vyvolávají rázy v pístní skupině a klikovém mechanismu. Ty se navenek projevují charakteristickým hlukem, označovaným jako „klepání motoru“. Detonační spalování vede k přehřívání, snížení výkonu a může dojít až k destrukci motorových součástí. (Vlk, 2006)

Oktanové číslo stanovujeme dle dvou metod, lišící se pouze provozními parametry na zkušebních strojích. Je to:

- výzkumná metoda (VM) – otáčky 600 min⁻¹, teplota nasávaného vzduchu 52°C, předstih zapalování 13°
- motorová metoda (MM) – otáčky 900 min⁻¹, teplota nasávaného vzduchu 38°C, teplota palivové směsi 149°C, automaticky proměnný předstih 19°-26°.

Obě oktanová čísla zjišťujeme na zkušebním jednoválcovém motoru s proměnlivým kompresním poměrem. Oktanové číslo je procentuální vyjádření obsahu izo-oktanu (OČ 100) ve směsi s n-heptanem (OČ 0). Při práci zkušebního motoru se postupně zvyšuje kompresní poměr do doby počátku klepání motoru u hodnoceného benzínu. Kompresní poměr se ponechá stejný a změnou objemového poměru izo-oktanu a n-heptanu hledáme takovou směs, která bude mít z hlediska klepání stejné vlastnosti. Oktanová čísla uváděná v obchodních názvech jsou stanovena výzkumnou metodou. (Hlavňa, 2000)

3.1.2 Aditiva bezolovnatého benzínu

- Přísady zvyšující oktanové číslo - v minulosti byly nejpoužívanější přísady na bázi kovů, jako tetraethyl a tetramethyl olova. Ty jsou dnes zakázány kvůli jejich toxicitě a negativním účinkům na katalyzátory. Namísto nich se začalo používat nekovových přísad. A to éterů, nejznámější MTBE (methyltercetyléter) s oktanovým číslem 110-115 u nás přidávaný v množství 10-15 %, nebo alkoholy: metanol, etanol a vyšší alkoholy v podílu 2 až 5 %.
- Antioxidanty - benzíny oxidují na světle za vzniku pryskyřic. Ty mohou tvořit úsady v sacím systému motoru, především na sacích ventilech a vedou až k jejich zalepení ve vodítkách. Oxidační stálost lze malým přídavkem antioxidantů výrazně zvýšit. Musí se přidávat ihned po vyrobení.

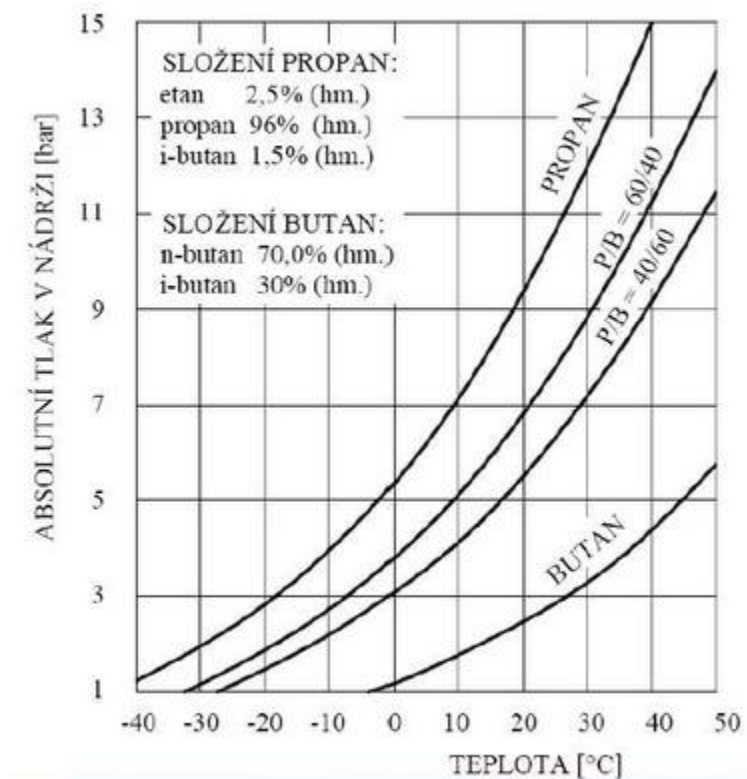
- Antikoroziční přísady - dnešní benzíny nemají žádné korozivní účinky, díky hlubokému odsíření. Právě síra obsažená v dřívějších palivech byla zdrojem korozí palivových soustav. I přesto se malé množství antikorozičních látek přidává, neboť samotné palivo není schopno ochránit kovové povrchy před rezivěním v přítomnosti vody, která v palivu být může.
- Detergentní přísady - tvorba úsad může způsobovat nevratné změny na živostnosti jednotlivých komponent sacích a vstřikovacích systémů. Vedou ke zvyšování spotřeby, snížení výkonu, a s tím souvisejících jízdních schopností (akcelerace, startování). Úsady se tvoří z organických látek unášených do sacího systému plyny z odvětrávání klikové skříně, ze zbytků prachu v nasávaném vzduchu, z malých úniků oleje kolem dříků ventilů. V benzínových vstřikovačích dochází k tvorbě úsad z oxidace uhlovodíků. Detergentní přísady jsou obsažené ve všech palivech, ale lze je přidávat i při tankování.
- Přísady proti zamrznutí vody - přítomnost volné vody v palivové soustavě samozřejmě vede při nízkých teplotách k jejímu zamrznutí. Proti zamrznutí se užívá bezvodý metanol nebo líh, ale také aceton a jiné ketony, které s benzínem vytvoří nemrznoucí směs.
- Barviva – pro zrakové rozlišení jednotlivých druhů benzínů. (Vlk, 2006; Hlavňa 2000; Matěječný, 2005)

3.2 LPG (Liquid petroleum gas)

Pod anglickou zkratkou LPG se rozumí zkapalněné ropné plyny. Jsou to směsi uhlovodíků se 3 a 4 atomy uhlíku v molekule, tedy směs propanu a butanu. V posledních desetiletích se zkapalněný propan butan stal oprávněně populárním palivem. Využití nalézá v zážehových motorech osobních automobilů. Někdy jde o původně benzinové, na LPG přestavěné motory. Čím dál častěji jde ale o zážehové motory, které jsou k pohonu na LPG připraveny už od výrobce. Propan-butan má výborné vlastnosti z hlediska ochrany životního prostředí, jelikož neobsahuje žádné jedovaté látky. Navíc se vzduchem lze vytvořit velmi homogenní směs, a tím dosáhnout dokonalého spalování. Díky nízkým emisím si LPG získalo přívlastek ekologicky čistého paliva.

Při běžných klimatických podmínkách (tlak, teplota) je tato směs plynná. Ke zkapalnění stačí poměrně malý tlak, s kterým dojde k rapidní změně objemu. Na 1 litr kapaliny je potřeba asi 250 litrů plynného propan-butanu. Tuto vlastnost využijeme při

skladování, kdy v relativně malém prostoru uchováme velké množství energie. (Vlk, 2004)



Obr. 2 Závislost tlaku v nádrži na složení a teplotě LPG (Vlk, 2004)

Základní vlastností směsi, která odlišuje butan od propanu, je tlak par, který odpovídá tlaku plynné fáze v rovnováze s tekutou fází v uzavřeném zásobníku. Na obr. 2. lze vidět značné změny tlaku v závislosti na teplotě a procentuálním složení LPG. Tlak v nádrži se zvyšující se teplotou rychle narůstá a působí velké změny objemu paliva v nádrži. Z tohoto důvodu nikdy nesmí být nádrž zcela naplněná kapalným LPG. Další jejich významnou vlastností je bod varu. Propan přechází z kapalného do plynného skupenství při $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ a butan až při $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proto je nutné při velmi nízkých teplotách používat směsi s poměrně vysokým obsahem propanu a ulehčit tak zplyňování. Složení LPG se může měnit dle ročního období. V ČR je to:

- Letní směs – 60% butanu a 40% propanu
- Zimní směs – 60% propanu a 40% butanu (Fišer, 1997)

V tabulce č. 3 jsou shrnuty požadavky na plynné automobilové palivo LPG dle normy ČSN EN 589.

Tab. 3 Charakteristické požadavky na LPG (ČSN EN 589+A1, 2012)

Vlastnost	Jednotka	Mezní hodnoty	
		Minimum	maximum
OČMM		89	-
Celkový obsah dienuů	% (mol/mol)	-	0,5
Sirovodík		negativní	
Celkový obsah síry	mg/kg	-	50
Koroze na měděné destičce (1 h při 40°C)	stupeň koroze	třída 1	
Zbytek po odpaření	mg/kg	-	60
Tlak par při 40°C	kPa	-	1550
Minimální tlak par 150 kPa při teplotě	°C		
pro třídu A			-10
pro třídu B			-5
pro třídu C			0
pro třídu D			10
pro třídu E			20
Obsah vody	nesmí obsahovat při 0°C a tlaku nasycených par volnou vodu		
Zápach	nepříjemný a typický, při 20 % spodní meze výbušnosti		

Pro minimální tlak par se udává pět tříd: A, B, C, D, E, tak aby se umožnilo nastavit sezónní mezní hodnoty pro každé roční období na národní úrovni. Každý stát musí v národní příloze této evropské normy uvést, kterou třídu přijme, aby dosáhl minimálního tlaku par 150 kPa po celý rok a uvést rozsah období, ve kterém se vybrané třídy užívají. V ČR to je:

- v zimním období, tj. od 1. 10. do 31. 5. platí hodnoty minimálního tlaku par pro třídu B
- v letním období tj. od 1. 6. do 30. 9. platí hodnoty minimálního tlaku par pro třídu E

4 PRVKY PŘESTAVBY VOZIDEL NA ALTERNATIVNÍ POHON LPG

4.1 Nádrž

Nádrž LPG, vyráběná z oceli, se obvykle umísťuje v zadní části vozidla. Může být válcová nebo kruhová (toroidní), montována do prostoru pro rezervní kolo. Při výrobě je odzkoušená na přetlak 3 MPa a stejně i její uchycení, které také podléhá homologaci. Musí zajistit bezpečné uložení při zrychlení 20 g v podélném směru a 8 g v příčném směru při havárii vozidla. Platnost nádrže je 10 let od data vyraženého na výrobním štítku. Po uběhnutí platnosti se musí nádrž vyměnit za novou. (Cech odborníků plynových zařízení, 1993; Vlček 2004)



Obr. 3 Válcová (a) a toroidní nádrž (b). (ELPEGE, 2015)

4.2 Elektrický ventil

Jedná se o elektromagnetické zařízení přerušující přívod plynu z nádrže k reduktoru, je-li motor zastaven, nebo je provozován na benzín. V tělese ventilu je umístěna i filtrace kapalných fází plynu. (Sčasný, 1994)

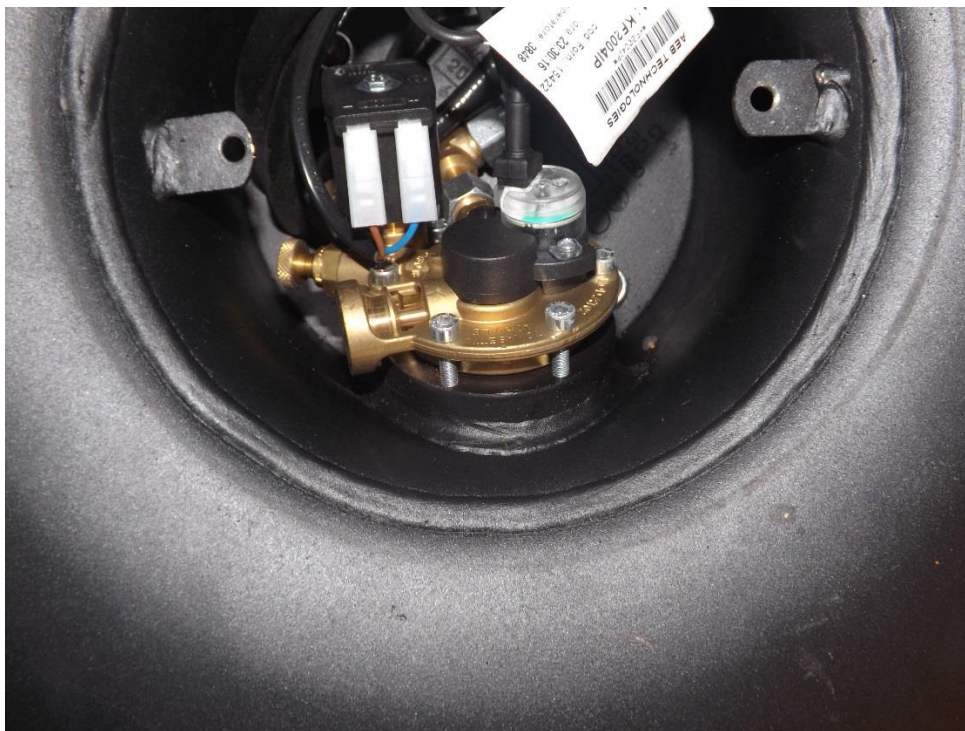


Obr. 4 Elektromagnetický ventil (ELPEGE, 2015)

4.3 Multiventil

Někdy „víceúčelový ventil“, jak z názvu vyplývá, je do něj stažena řada funkcí. Obvykle je pevně spojen s nádrží. Funkce multiventilu:

- plovákem v nádrži měří stav hladiny paliva
- uzavírá nádrž při plném naplnění, z důvodu teplotní závislosti (roztlačnosti) plynu jsou nádrže LPG dle normy tankovány pouze na 80% jejich kapacity a 20% objemu je tzv. bezpečnostní zóna
- přetlaková pojistka - pokud stoupne tlak nad 2,7 MPa (27 barů) odpouští plyn z nádrže, aby nedošlo k její deformaci, do plynotěsné skřínky, z které je následně odvětrán do okolí
- nadprůtoková pojistka - ventil se uzavře při poruše tlakového vedení od nádrže do motorového prostoru (Štěrba, 2013; Vlk, 2004)



Obr. 5 Multiventil

4.4 Plynotěsná schránka

Je-li plynová nádrž umístěna v interiéru vozidla, povinnou výbavou musí být plynotěsná schránka. V případě, že dojde k odpuštění přetlaku plynu z nádrže, nebo při vzniku netěsnosti, zachytí uniklý plyn a odvětrávací hadicí jej odvede mimo vozidlo. (Vlk, 2004)

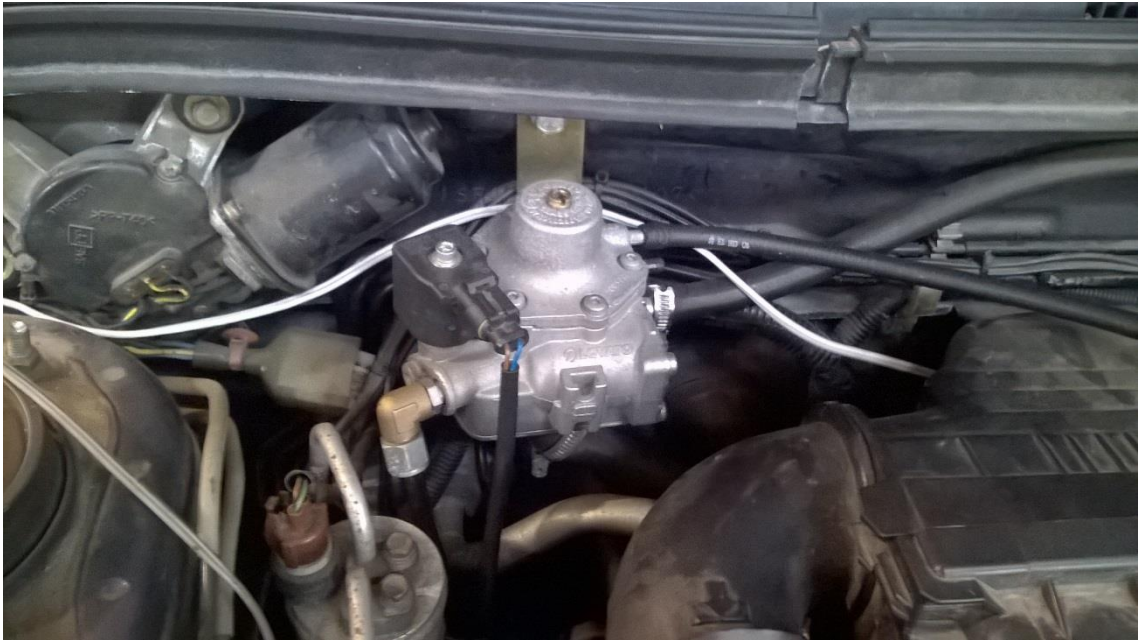
4.5 Reduktor

Úkolem reduktoru je zabezpečit odpaření kapalného plynu, redukovat a regulovat tlak, a tím zabezpečit konstantní hodnoty v průběhu provozu. Při změně skupenství z kapalného na plynné se snižuje teplota plynu a je potřeba jej ohřívat. Proto je reduktor vybaven teplovodním výměníkem napojeným na chladicí okruh motoru.

Reduktory jsou konstruovány ve dvou provedeních, liší se podle použitého systému dávkování paliva a s tím souvisejícím tlakem plynu ve výstupní větvi. Dělí se na:

- reduktor pro motory se směšovačem, výstupní tlak plynu na úrovni atmosférického

- reduktor pro motory se vstřikováním, výstupní tlak plynu kolem 100-150 kPa (Štěrbá, 2013)



Obr. 6 Reduktor pro motory se vstřikováním

4.6 Palivová vedení

V zásadě existují dva základní druhy vedení - pevné měděné trubky nebo ohebné hadice. Hadice se rozlišují na vysokotlaké a nízkotlaké. Vysokotlakých se užívá k vedení kapalné fáze od nádrže k reduktoru a nízkotlakých k vedení plynné fáze za reduktorem.

Jednotlivé úseky vedení mezi komponenty musí být provedeny vcelku z nerozebíratelných spojů. Vnitřní průměr plnicího potrubí nesmí být menší než 9 mm a průměr palivového vedení od nádrže nesmí být menší než 4 mm. Kovové potrubí je potaženo ochranným plastovým obalem. Před namontováním na vozidlo musí být potrubí podrobena tlakové zkoušce 4,5 MPa. Vedení plynu nesmí procházet kabinou vozidla, místy z nichž je odebírán vzduch pro vytápění a větrání kabiny, podběhy kol a místy, kde by mohlo dojít k poškození odlétávajícími kamínky od kol, apod. (Cech odborníků plynových zařízení, 1993)

4.7 Přepínač BA/LPG

Pomocí přepínače lze volit požadovaný režim provozu. Dříve používanými byly manuální třípolohové přepínače pro karburátorové motory s mezípolohou pro vyjetí benzínu z karburátoru, aby nedošlo k nasátí obou paliv najednou a tím přesycení motoru. U elektronických systémů je do řidičova prostoru vyvedeno jen ovládací tlačítko. Přepínání pro provoz na plyn je automaticky řízené podle předem nastavených požadovaných parametrů, kterými jsou otáčky motoru či teplota motoru. Součástí přepínače bývá i ukazatel stavu hladiny paliva v nádrži. (Štěrba, 2002)

4.8 Dávkování paliva

4.8.1 Směšovač

Nejstarší typ přípravy paliva LPG. Užívá se u karburátorových motorů, se kterými se dnes nesetkáváme. Systém pracuje na principu mechanické (membránové) regulace bohatosti směsi, na základě podtlaku v sacím potrubí automobilu. Směšovač se umísťuje do sání před karburátor. Podtlak vzniklý ve směšovači ovládá reduktor a ten následně upraví tlak a dávku paliva, dle aktuální potřeby. Jak z principu vyplývá, systém je příliš pomalý s dlouhou odezvou motoru na reakce řidiče. Provází jej také vysoká spotřeba plynu. (Štěrba, 2013)



Obr. 7 Směšovač (Přestavba na LPG, 2016)

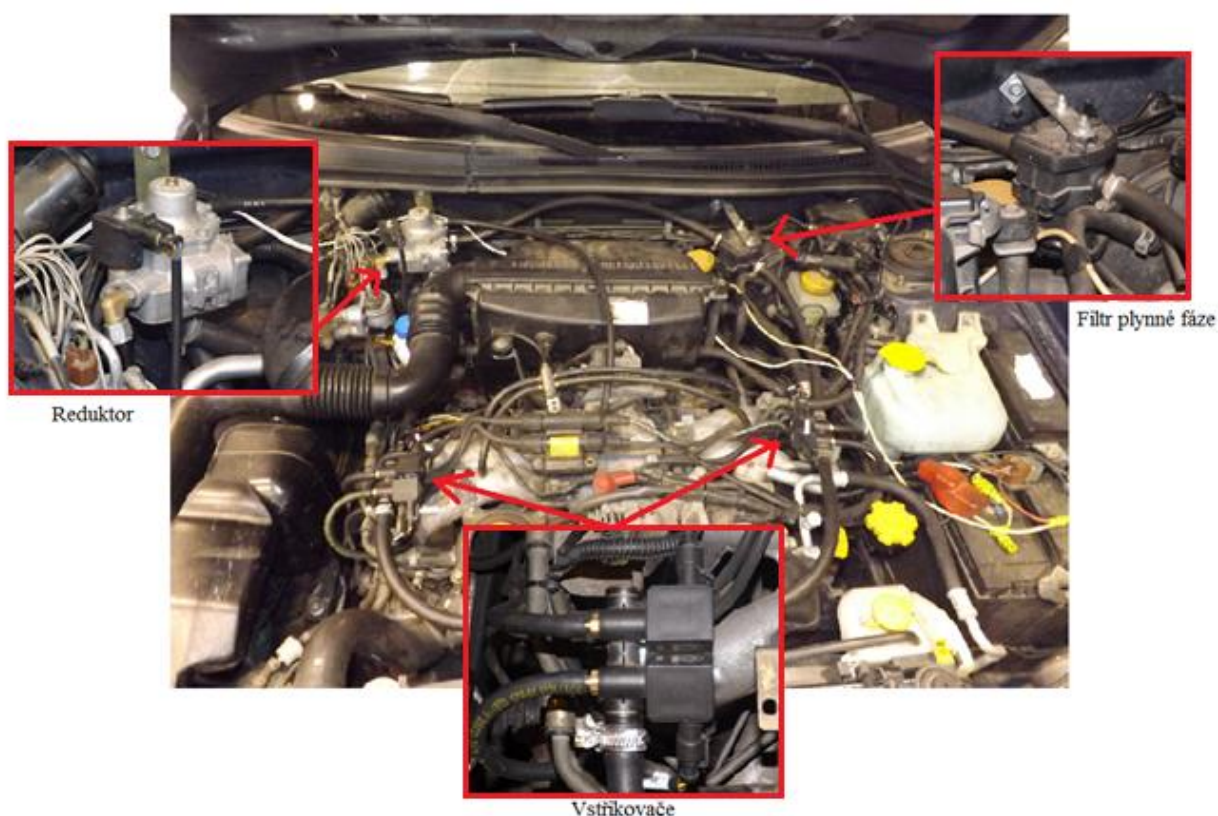
4.8.2 Řízený směšovač

Systém je velmi podobný koncepci se směšovačem s tím rozdílem, že reduktor je vybaven servoventilem. Ten je ovládán pomocí řídicí jednotky analyzující otáčky,

zatížení motoru, signál z lambda sondy apod. I přes elektronické řízení je systém stále pomalý s velkými odezvami, čili velkou nepřesností. To s sebou nese omezení použití pro plnění emisních limitů a lze jej aplikovat jen do třídy EURO 2. (Štěrbá, 2013)

4.8.3 Systémy se vstřikováním

Vstřikování plynu je obdobné jako u benzínových vstřikovacích systémů, takže může být provedeno jednobodovým, či vícebodovým vstřikováním. Soustava se skládá z reduktoru, který ale na rozdíl od podtlakového systému neslouží přímo k dávkování paliva LPG, ale pouze redukuje tlak z nádrže a vytváří konstantní tlak pro vstřikovače LPG, přibližně 100 kPa. Mezi reduktorem a vstřikovači je navíc umístěn filtr plynné fáze a následují vstřikovače LPG. Hlavní součástí je LPG řídicí jednotka. Ta nestanovuje okamžik ani dávku paliva, ale hodnoty přebírá z původní benzínové jednotky. Impulsy přiváděné na benzínové vstřikovače se vedou do LPG řídicí jednotky, která je v reálném čase přepočítává dle aktuálního tlaku a teploty plynu. (Štěrbá, 2013)



Obr. 8 Komponenty LPG zástavby v motorovém prostoru pro vícebodové vstřikování

4.8.4 Vstřikování kapalné fáze

Systémy vstřikování kapalné fáze jsou označeny zkratkou LPI (liquid propane injection). Tento systém je technickým vrcholem plynových palivových systémů. Svou funkcí se nejvíce přibližuje vstřikování benzínu. V LPI koncepci jsou shrnuty všechny technické výhody, které LPG poskytuje. Jako jediný plynový palivový systém využívá vnitřního chlazení motoru, což je jeho nejdůležitější předností. Do sání motoru se vstřikuje kapalné LPG a až nasátím směsi se vzduchem do motoru dochází k jeho odpaření. Výparné teplo plynu je blízké benzínu, čili je možno dosáhnout stejných efektů jako s benzínem. Především jde o chlazení spalovacího prostoru odběrem tepla, potřebného k vypaření plynu. Ochlazením spalovacího prostoru je možné nasávat větší množství směsi a dosáhnout tak vyšších výkonů. (Štěrbá, 2013)

5 EMISE ZÁŽEHOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

Emisemi chápeme tuhé, kapalné, či plynné látky vyskytující se v odpadních plynech (výfukové plyny) unikajících do ovzduší. Měření obsahu spalin je významnou veličinou, či parametrem sledovaným při provozu spalovacích motorů. Emise se podílí vysokou mírou na znečištění ovzduší a je jim v posledních 20 letech věnována velká pozornost. Zařízení uváděná do provozu musí splňovat požadavky na hladinu emisí a ty musí být i následně kontrolována při jejich provozu.

5.1 Emisní norma Euro

Emisní norma Euro je závazná norma Evropské unie stanovující limitní hodnoty škodlivin ve výfukových exhalacích benzinových a naftových motorů pro motorová vozidla v závislosti hmotnosti škodliviny na ujeté vzdálenosti. Dle tabulky č. 4 normy zážehových motorů stanovují limity oxidu uhelnatého (CO), nespálených uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO_x). Nezabývají se oxidem uhličitým ani sirnými sloučeninami. Norma je vydávána v postupně se zpřísňujících číslovaných verzích.

Rok	Norma	CO _x (g/km)	NO _x (g/km)	HC (g/km)	HC+ NO _x (g/km)
1992	I	3,16	-	-	1,13
1996	II	2,20	-	-	0,05
2000	III	2,30	0,15	0,20	-
2005	IV	1,00	0,08	0,10	-
2009	V	1,00	0,06	0,10	-
2014	VI	1,00	0,06	0,10	-

Tab. 4 Normy emisí Euro pro zážehové motory (Autolexikon, 2011)

5.2 Složení výfukových plynů zážehového motoru

Při dokonalém spalování (dokonalá oxidace) uhlovodíkového paliva vzniká oxid uhličitý (CO₂) a voda (H₂O). Při nedokonalé oxidaci těchto prvků spaliny obsahují oxid uhelnatý (CO) a vodík (H₂). Nejvýznamnější složkou spalin při použití vzduchu jako okysličovadla je dusík (N₂). Kyslík se ve výfuku objevuje jen, když se jeho celé množství

nepoužije k oxidaci paliva a to, je-li čerstvá směs s jeho přebytkem. Za vysokých teplot ve spalovacím prostoru dochází k oxidaci vzdušného dusíku na oxidy dusíku (NO_x). To zejména oxid dusnatý (NO) a menší množství oxidu dusičitého (NO_2). Další významnou složkou jsou nespálené uhlovodíky HC, vznikající při nepříznivých podmínkách pro oxidaci, nebo se mohou objevovat ve spalínách i při úniku čerstvé směsi přímo do výfukového traktu. V některých palivech obsažená síra vytváří při spalování oxidy síry. Ty však při měření množství emisí nejsou zjišťovány a problematika emisí se jimi nezaobírá. (Takáts, 1997)

5.3 Charakteristika složek spalin

5.3.1 Oxid uhelnatý

Je produktem nedokonalého spalování uhlíku v palivu, vzniká tedy při nedostatku kyslíku ve spalované směsi, při součiniteli přebytku vzduchu $\lambda < 1$. Vysoký obsah CO lze naměřit i při vysokém přebytku vzduchu, kde je příčinou zpomalení oxidačních reakcí ve spalovacím prostoru s extrémně nízkou teplotou reakce (štěrbiny, u studených stěn válců, apod.)

Jedovatost oxidu uhelnatého v bezprostředním působení na organismus je nesporná. Váže se intenzivněji na krevní barvivo než kyslík za vzniku karboxylhemoglobinu. Tímto blokuje funkci dýchacích barviv, tedy distribuci kyslíku a organismus je poškozován nedostatkem kyslíku. Podílí se také na vzniku letního fotochemického smogu. V ovzduší v malých koncentracích poměrně rychle oxiduje na CO_2 . Dle Takátse je množství CO vyprodukované přírodní emisí srovnatelné s antropogenní činností, z níž produkce spalin vozidlových spalovacích motorů je řádově jen v desítkách procent. (Takáts, 1997)

5.3.2 Oxidy dusíku

Oxidů dusíku ve spalovacím prostoru vznikají oxidací vzdušného dusíku. Vznik NO_x je významný při spalování chudé směsi. Hoření při přebytku kyslíku způsobuje vyšší spalovací teploty, které podněcují oxidaci dusíku. Snížení tvorby těchto dusíků je možné vytvořením dostatečně bohaté směsi, neboť většina kyslíku je užita ke spálení paliva, nikoliv k tvorbě oxidů dusíku. Maximum tvorby NO_x se pohybuje kolem $\lambda = 1,05 - 1,1$. Emise dusíku jsou hlavním problémem u naftových motorů, které pracují s vysoce chudou směsí kolem $\lambda = 2$.

Přímá škodlivost oxidu dusnatého na živý organismus je poměrně nízká. V atmosféře ale dochází k oxidaci na oxid dusičitý, který je škodlivější, než oxid uhelnatý. Na organismus působí prostřednictvím dezinformace regulační soustavy. Při vdechování NO_2 vzniká na vlhkých stěnách sliznic kyselina dusičná. Tělo na ní reaguje jako na počínající hoření a přivírá přístup vzduchu do plic, vyvolávající pocit dušení a nucení ke kašli. Tento jev nastává již při nízkých koncentracích. Mimo účinky na živé organismy se mohou NO_x projevovat na devastaci staveb, důsledkem chemického napadání stavebních materiálů. A stejně jako CO má značný vliv na tvorbě letního smogu. Při měření množství spalin je nutno měřit oba zmíněné oxidy. (Takáts, 1997; Petrás, 1997)

5.3.3 Nespálené uhlovodíky

Nespálené uhlovodíky jsou skupinou škodlivin složenou z individuálních komponent, jejichž přímá škodlivost se různí. Uhlovodíky obsažené v palivu, tzv. alifatické uhlovodíky, které se do ovzduší dostávají zkratovým vyplachováním, či odparem mají nejmenší přímý vliv na organismus. Naopak silně dráždivými na sliznice a oči je skupina nenasycených a vyšších aldehydů. Toxicita roste s velikostí molekuly. Nejznámější formaldehyd je spojován s mutagenními účinky a karcinogeností. Nejnebezpečnějšími (ze všech složek spalin) jsou pak polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), které mají průkazně karcinogenní účinky. Opět i nespálené uhlovodíky jsou obsaženy v letním smogu.

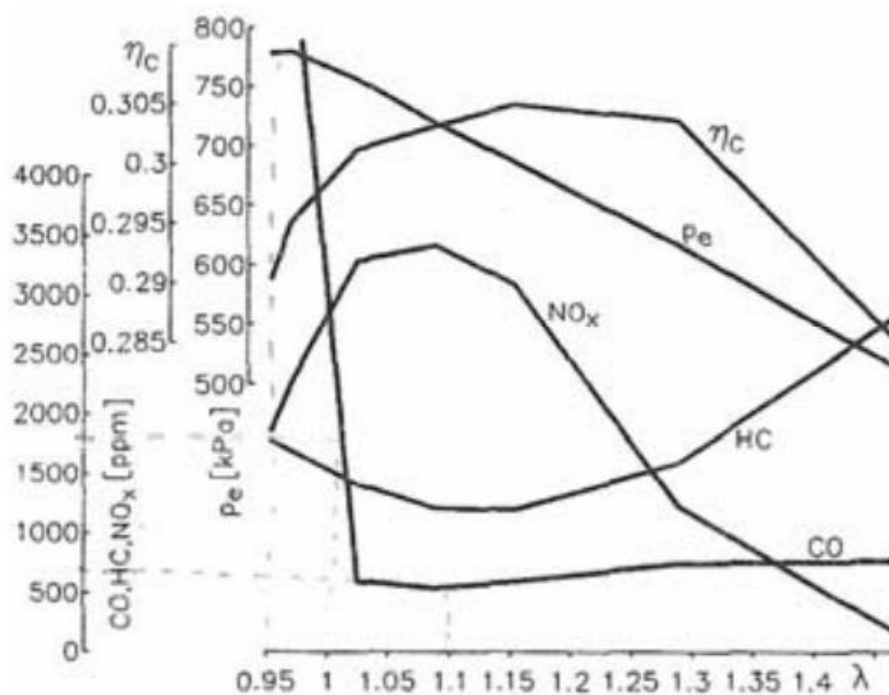
Stejně jako u emisí CO stoupají emise nespálených uhlovodíků s klesající hodnotou lambdy vlivem nedokonalého spalování. Nejmenší hodnota HC bývá kolem $\lambda = 1,1-1,2$. (Takáts, 1997; Petrás, 1997)

5.3.4 Oxid uhličitý

Je produktem dokonalého spalování a není považován za škodlivinu, také není nijak administrativně limitován. Toxicita je možná pouze pokud koncentrace dosáhne úrovně ovlivňující koncentraci kyslíku ve vdechovaném vzduchu jeho vytěsněním. Na životní prostředí působí negativně vytvářením clony, zamezující sdílení tepla ze Země sáláním, jev známý jako skleníkový efekt.

Předešlé charakteristiky ukazují na to, že koncentrace škodlivin ve spalinách je závislá na složení spalované směsi a na teplotě probíhajících reakcí. Primárně se teplota

mění podle výhřevnosti směsi, tedy směšovacího poměru. Proto lze za hlavní faktor ovlivňující složení spalin považovat součinitel přebytku vzduchu λ . Závislost obsahu škodlivin v závislosti na bohatosti směsi se nazývá regulační charakteristika (obrázek 9). Měří se za stálých otáček motoru a při plně otevřené škrticí klapce. Regulační charakteristiky se používají v základním výzkumu spalovacího motoru jako podklady pro přidělení směšovacích poměrů v jednotlivých režimech motoru. (Takáts, 1997)



Obr. 9 Regulační charakteristika (Takáts, 1997)

6 POUŽITÉ MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ, MATERIÁL A METODIKA ZKOUŠENÍ

Měření mé práce probíhalo na vozidlové zkušebně Mendelovy univerzity v Brně. Zkušebna se skládá z dynamometru MEZ 4VDM E120-D pro osobní automobily a VDU-E270T-E150T pro traktory a nákladní vozidla. Dále je vybavena emisní systémovou analýzou Bosh ESA, pro měření všech emisí spalovacích motorů a také zařízením pro měření spotřeby paliva.



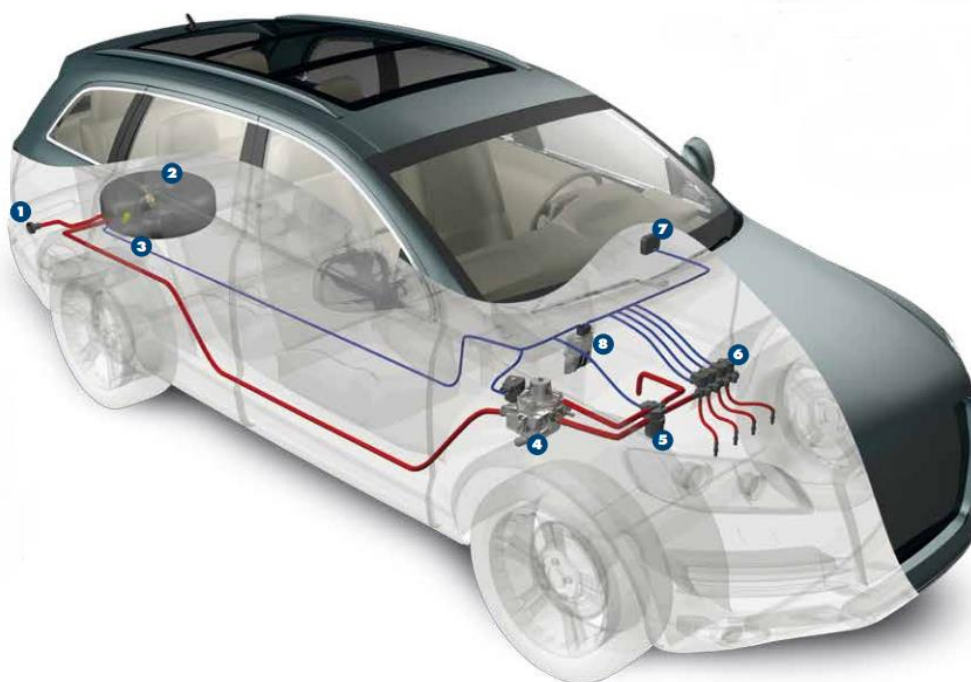
Obr. 10 Vozidlová zkušebna MENDELU

Důležitou součástí je také vzduchotechnika a spalínové hospodářství. V místnosti lze regulovat podtlak od 5 do 300 Pa s výměnou vzduchu $25\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. A výfukové plyny odebírat v množství $24\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

6.1 Popis měřené vozidla

Vozidlo	
Tovární značka	Subaru
Model	Forester AWD
Stav počítadla km	188441 km
Hmotnost (pohot./celková)	1470/1875 kg
Rozvor	2525 mm
Pneumatiky	205/70 R15
Pohon	stálý 4x4
Motor	
Zdvihový objem	1994,3 cm ³
Výkon motoru	92 kW při 5600 min ⁻¹
Točivý moment	186 Nm při 3600 min ⁻¹
Typ motoru	boxer
Plnění	bez přeplňování
Kompresní poměr	10:1
Vrtání x zdvih	92 x 75
Převodovka – převodové poměry	
1.	3,454
2.	2,062
3.	1,448
4.	1,088
5.	0,871
Zpětný chod	3,333
Stálý převod	4,111

Sada komponent LPG přestavby použitá ve vozidle je od italského výrobce značky Lovato. Jedná se o systém elektronicky řízeného vícebodového vstřikování. Na obrázku 11 je znázorněna zástavba použitých prvků sestavy: 1 – koncovka plnění, 2 – toroidní nádrž, 3 – palivové vedení, 4 – reduktor, 5 – filtr plynné fáze, 6 – vstřikovače, 7 – přepínač BA/LPG s ukazatelem stavu hladiny paliva, 8 – LPG řídicí jednotka.



Obr. 11 Prvky LPG zástavby zkoušeného vozidla (Lovato, 2016)

6.2 Válcový vozidlový dynamometr

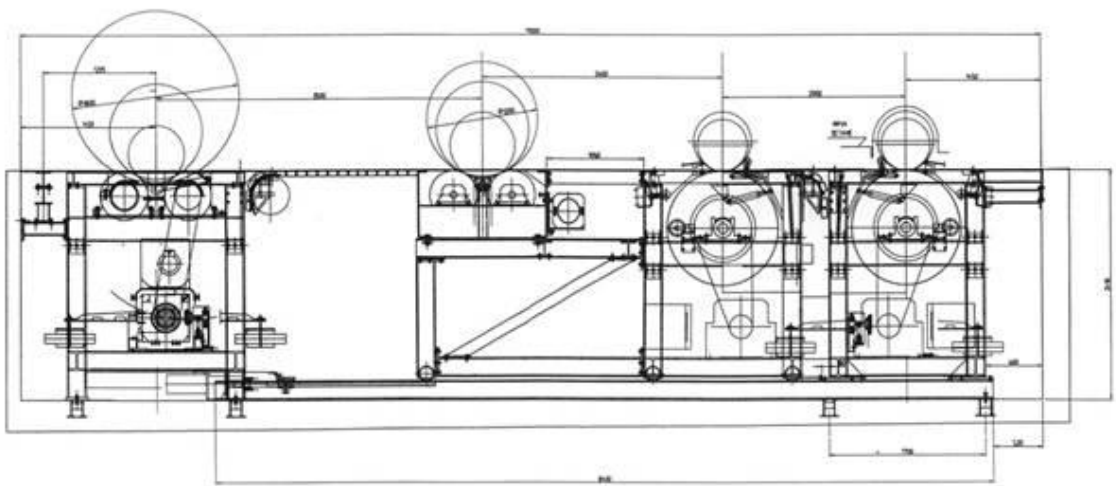
Z konstrukčního hlediska se jedná o válce průměru 1,2m ložisky uložené na tuhém rámu se stejnosměrnými elektrickými dynamometry. Tyto rámy tvoří základní bloky jednotlivých os. Blok pro přední nápravu je pevně uložen, kdežto blok zadní osy a přední traktorové osy je posuvný dle požadovaného rozvoru vozidla. Levý a pravý válec jsou spolu propojeny elektronicky ovládanou frikční spojkou, lze je tedy pro určitá měření rozpojovat. Válcové jednotky jsou s dynamometry propojeny ozubenými řemeny. Všechny válce jsou vybaveny pneumatickou brzdou pro bezpečnosti brzdění a pro umožnění najetí na válce. Před zkoušeným vozidlem je umístěn ventilátor náporového chlazení.



Obr. 12 Schéma zkušebny (Čupera, 2013)



Obr. 13 Ventilátory náporového chlazení



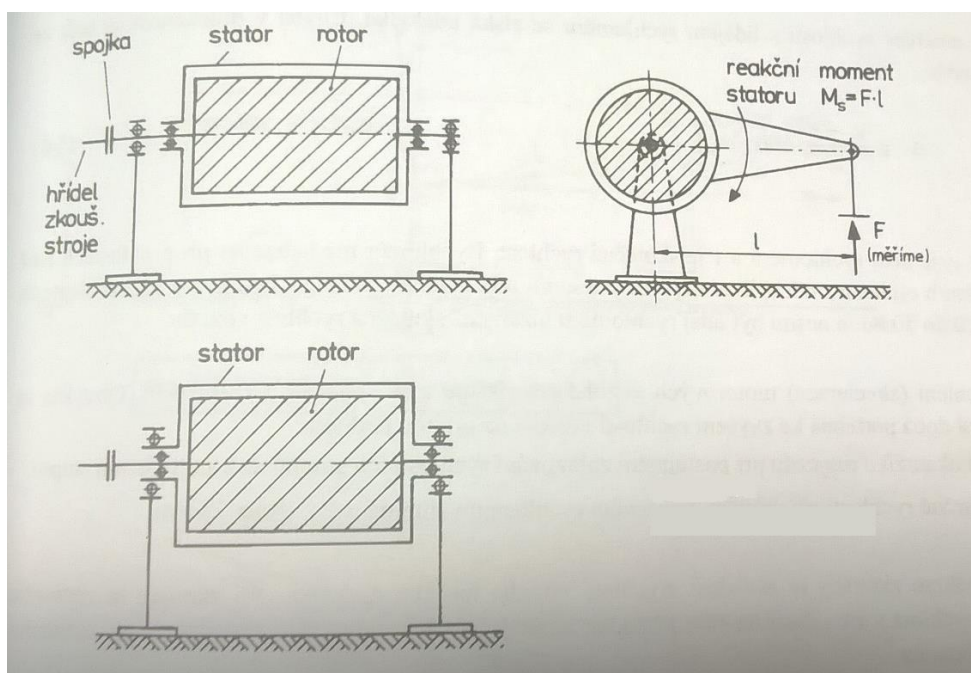
Obr. 14 Konstrukční schéma válcových dynamometrů (Čupera, 2013)

Max. zkušební rychlost [km.h ⁻¹]	200
Max. výkon na nápravu [kW]	240
Max. hmotnost na nápravu [kg]	2000
Průměr válců [m]	1,2
Šířka válců [mm]	600
Mezera mezi válci [mm]	900
Povrch válců	zdrsnění RAA 1,6
Setrvačná hmotnost válců (každá náprava) [kg]	1130
Min. rozvor [mm]	2000
Max. rozvor [mm]	3500
Zatížitelnost krytí	
v místě jízdy [kg]	2000
v místě chůze [kg]	500
Tlakový vzduch [bar]	min. 4
Rozsah měření rychlosti [km.h ⁻¹]	0 - 200
Rozsah měření sil [kN]	4x ± 5
Přesnost měření rychlosti [km.h ⁻¹]	± 0,01
Přesnost měření sil [%]	± 0,25
Přesnost regulace rychlosti [%]	± 0,1
Přesnost regulace síly [%]	± 0,5

Tab. 5 Základní mechanické vlastnosti dynamometru MEZ 4VDM E120-D (Čupera, 2013)

6.2.1 Elektrický stejnosměrný dynamometr

Elektrickým dynamometrem (brzdou) jsou v podstatě elektrické stroje, pracující jako generátory či elektromotory. Rozdílem je výkyvně uložený stator, na němž lze měřit velikost brzděné síly. Výkyvné uložení je možné dvojího druhu dle obrázku 15. Buď je stator zavěšen na ložiskách hřídele rotoru a rotor v pevných ložiskách, nebo je rotor uložen v ložiskách statoru a ten výkyvně uložen v pevných ložiskách. Výhodou těchto dynamometrů je možnost požití jako motorů a pohánět tak válce zkušební, oproti elektromagnetickým vířivým brzdám, které mohou jen brzdit. (Vlk, 2005)



Obr. 15 Uložení dynamometru (Vlk, 2005)

6.3 Měření emisí

Měření emisí probíhá pomocí přístroje Bosh ESA (emisní systémová analýza). Zařízení je vyvinuto především pro měření emisí, ale umožňuje také diagnostiku a základní seřízení motoru. Měřit lze jak motory poháněné klasickými palivy, tak motory spalující alternativní paliva. Mezi další funkce lze řadit měření otáček motoru, předstihu, polohu klikového hřídele, napětí lambda sondy, dobu vstříku apod.

Tab. 6 Charakteristika Bosh ESA (Čupera, 2013)

Modul analyzátoru ETT 008.70	Měřicí rozsah	Rozlišení
CO	0,000 - 10,00 % obj.	0,001 % obj.
CO ₂	0,00 - 18,00 % obj.	0,01 % obj.
HC	0 - 9999 ppm obj.	1 ppm obj.
O ₂	0,00 - 22 % obj.	0,01 % obj.
Lambda	0,500 - 1,800	0,001



Obr. 16 Emisní systémový analyzátor Bosh

6.4 Příprava vozidla a měřícího stanoviště

Před najetím vozidla na válce je potřeba vozidlo řádně zkontrolovat. Kontrolujeme stav provozních náplní, především stav hladiny obou paliv, dále rozměry pneumatik, dle předepsaných hodnot pro dané vozidlo, stejně tak tlaky v pneumatikách. Kola se musí očistit od nečistot, kamínků, apod. Zkušební válce se musí nastavit na požadovaný rozvor automobilu. Při najíždění na válce musíme kontrolovat podélnou osu vozidla, tak aby byla rovnoběžná s podélnou osou válců, pro předejití nestability vozidla při měření. Vozidlo se musí na válcích pevně upevnit. K tomu byly použity aretační přípravky a račnové upínací pásy. Aretační přípravky jsou šrouby připevněny k podlaze a svými

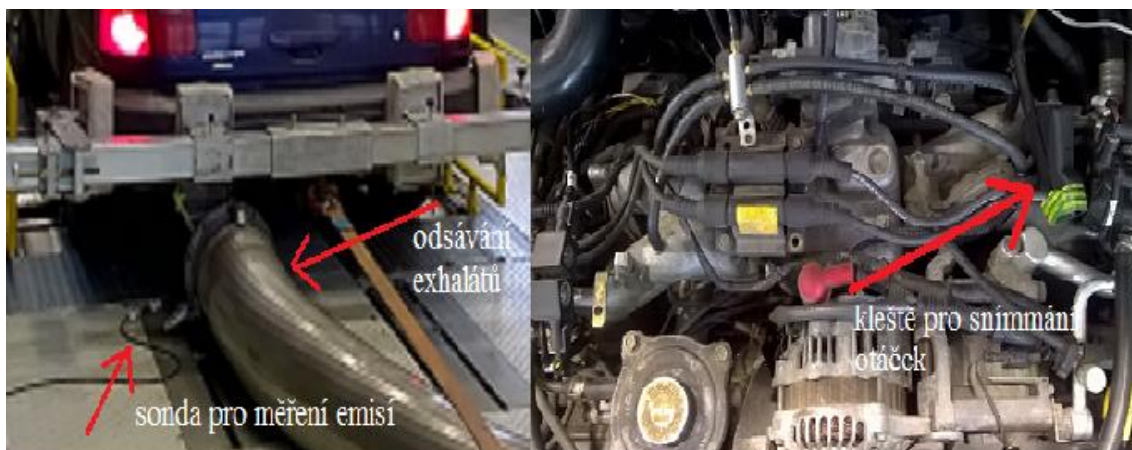
rameny opatřeny pryžovými konci se dorazí na nárazníky vozidla. Tažnými oky vozidla provlékneme upínací pásy a pomocí háku zafixujeme k podlaze.



Obr. 17 Ukotvení vozidla na válcích

Po ustavení se před vozidlo nainstaluje ventilátor náporového chlazení, nasměrován k motorovému chladiči. Při měření je motor poměrně zatěžován, a proto je vhodné použít přídatné chlazení, aby byla udržovaná stála provozní teplota motoru během všech zkoušek.

K výfuku vozidla se naopak připojí hubice odsávání výfukových plynů, která odvádí exhaláty mimo zkušebnu. Do koncovky výfuku se připojuje i sonda emisního analyzátoru Bosh ESA (obrázek 18). Emisní analyzátor měří 4 složky exhalátu, jsou to CO, CO₂, NO_x a O₂. Z těchto hodnot se dále dopočítává hodnota součinitele přebytku vzduchu lambda.



Obr. 18 Připojení sondy emisní analýzy a otáčkové sondy

Přístroj emisní analýzy byl použit i k měření otáček motoru a teploty nasávaného vzduchu. Otáčky motoru se měřili připojením proudových kleští na zapalovací kabel (obrázek 18). Teplota nasávaného vzduchu byla měřena termočlávkovou teplotní sondou vřazenou do sání motoru.

6.5 Metodika měření

Měření musí probíhat na určitý rychlostní stupeň, kvůli reprodukovatelnosti měření. Při nízkých rychlostech měření nelze dostatečně přesně měřit velké výkony, protože pneumatika při malé rychlosti není schopna výkon přenést a dochází k velkým nepřesnostem vlivem prokluzu kol. Proto je vhodné použití co nejvyšší převodový stupeň s ohledem na provozní pole dynamometru, které je do maximální rychlosti 200 km.h⁻¹. Pro zkoušení byl tedy použit 4. rychlostní stupeň.

Všechny zkoušky jsou řízeny průmyslovým počítačem s využitím datového serveru. Ty jsou uloženy ve velínu vozidlové zkušebny. Do řídicího počítače zadáváme podmínky měření, jako zařazený převodový stupeň, zatížení jednotlivých náprav, použité palivo apod. Naměřená data se ukládají a převádějí do tabulkové podoby. Z jednotlivých měření jsou vyhotoveny protokoly.

Před vlastním měřením výkonů musíme nejprve motor zahřát na požadovanou provozní teplotu a následně provedeme kalibrační testy. Zejména test závislosti rychlosti vozidla na otáčkách motoru. Test slouží k ověření přesnosti otáčkoměru vozidla a ke stanovení dynamického poloměru kola při akceleraci vozidla. Druhou užitou kalibrací je

měření pasivních odporů pro statické zkoušky. Stanovuje velikost odporů, všech roztáčených částí vozidla mezi koly a motorem. Měří se se zařazeným převodovým stupněm a sešlápnutou spojkou. Naměřené hodnoty slouží k výpočtu výkonu měřeného statickou metodou. Protokoly těchto dvou zkoušek jsou připojeny jako přílohy.

Vlastní měření výkonů se provádí dle 2 metod:

6.5.1 Dynamická metoda

Pro zkoušení dynamickou metodou je nutno znát momenty setrvačnosti všech roztáčených částí válcové zkušebny. Motor je jen krátkodobě zatěžován odporem těchto setrvačných hmot během jejich roztáčení. Měří se tedy jen obvodová rychlost válců rotačními snímači. Musíme brát v úvahu i odpory mezi kolem a motorem (převodovka, diferenciál, apod.) a musíme znát jejich hodnotu. Pasivní odpory se měří po ukončení zkoušky při doběhu válců až do zastavení. Dynamická zkouška probíhá velmi rychle, což sebou nese hlavní nevýhodu, a to že nedojde ke stabilizaci vnitřních teplot motoru (povrchové teploty ve spalovacím prostoru, teploty spalin atd.).

Pro výkon motoru platí:

$$P = M_t \cdot \omega \quad [\text{kW}]$$

kde: $M_t = J_s \cdot \varepsilon$ [Nm]

J_s – moment setrvačnosti všech roztáčených částí [kg.m²]

ε – úhlové zrychlení [s⁻²]

Postup samotného měření:

- v řídicím počítači se nastaví parametry, při kterých bude měření probíhat - zařazený převodový poměr a rozsah otáček motoru
- vozidlo rozjedeme na požadovaný převodový poměr a udržujeme otáčky těsně pod spodní hranicí zadaného rozsahu měření
- řidič pomocí klávesnice měřícího počítače spustí měření
- následuje plná akcelerace, pedál akcelerace udržujeme na maximum až do konce měření (maximální otáčky měření),

konec měření se zobrazí na signalizačním panelu před vozidlem

- na konci měření uvolníme plynový pedál, sešlápneme pedál spojky, spojku držíme zapnutou a ponecháme zařazený převodový stupeň až do zastavení kol, během této fáze jsou měřeny pasivní odpory

6.5.2 Statická metoda

Statická metoda je přesnější metodou měření výkonu. Měření se provádí při konstantních otáčkách motoru, motor je přitom zatížen brzdou – dynamometrem. Dynamometr vyrovnává brzdou silou hnací sílu kol vozidla. Měří se otáčky rotoru dynamometru a jim náležící hodnota točivého momentu. Točivý moment je snímán tenzometrem na statoru dynamometru. Z těchto hodnot je vypočten výkon motoru.

Postup samotného měření:

- podobně jako u dynamické metody zadáme parametry měření do řídicího počítače, u statické metody si musíme předem určit jednotlivé body (dle rychlosti, či otáček), při kterých bude měření probíhat. Zvolili jsme si 4 body po 50 km.h⁻¹.
- rozjedeme vozidlo na zvolený převodový stupeň a udržujeme rychlost těsně pod zadanou hodnotou prvního bodu měření
- řidič spustí měření
- pedál akcelerační sešlápneme na maximum, měření probíhá automaticky po zvolených bodech
- ukončení měření je signalizováno na monitoru, povolíme plynový pedál a vyřadíme rychlostní stupeň

Při zkoušení nesmíme opomenout barometrické podmínky, za jakých měření probíhá. Teplota, tlak i vlhkost vzduchu se v průběhu zkoušky mohou měnit. Proto jsou snímány s ostatními měřenými veličinami v průběhu měření. Následně jsou hodnoty výkonu a točivého momentu přepočítávány pomocí součinitele korekce K_0 na redukované hodnoty. Pak dostáváme redukovaný výkon P_r a redukovaný točivý moment M_{t_r} .

7 VLASTNÍ MĚŘENÍ

7.1 Úpravy prováděné na palivové soustavě LPG

Většina firem provádějící přestavby automobilů pro provoz na LPG nevěnují dostatečnou pozornost rozdílným vlastnostem LPG oproti automobilovým benzínům, a tyto přeměny následně provázejí velké nedostatky, stejně jako u měřeného vozidla. Nevěnují se správnému nastavení LPG řídicích jednotek, a to převážně stanovení velikosti dávky plynu, aby byly zachovány provozní vlastnosti jako při provozu na benzín. Seřízení řídicí jednotky bývá ponecháno na základním nastavení výrobcem LPG přestavby, které však nemusí odpovídat pro použitý motor.

V našem případě se při provozu na plynné palivo rapidně změnily jízdní vlastnosti vozidla, způsobené značným poklesem výkonu. Další nechtěnou vlastností bylo spalování benzínu i při provozu na plyn. Snažili jsme se tedy tyto vlastnosti odstranit, tak aby automobil při spalování LPG a benzínu vykazoval podobné, nejlépe stejné, provozní parametry. K dosažení cíle byla nutná výměna kalibračních trysek plynových vstřikovačů a následně softwarová úprava nastavení vstřikovaných dávek plynu.

Ve vstřikovačích byly použité kalibrační trysky o průměru 2,1 mm. Průměr trysky byl na potřebné dávky paliva malý, vstřikovače ve stanoveném vstřikovacím čase nezvládali dostatečné plnění válců. Proto je bylo nutné vyměnit za trysky průměru 2,4mm, které následně byly schopné dodávat větší množství paliva.



Obr. 19 Kalibrační trysky vstřikovače \varnothing 2,4 mm

Následně po výměně trysek bylo potřeba systém upravit, dále upravit dávky paliva úpravou vstřikovací mapy. Do řídicí jednotky LPG je možno po připojení počítače přes

diagnostický konektor zasahovat a měnit veškeré nastavení. K těmto úpravám byl použit software Lovato Easy Fast od výrobce LPG přestavby. Na obr. 20 je ukázka programu, kde vidíme znázorněnou mapu vstřikování, osy znázorňují časy vstřikování benzínu a otáčky. Hodnoty v mapě jsou koeficienty pro přepočet časů pro plynové vstřikovače. Zelený bod v tabulce zobrazuje aktuální provozní režim, ve kterém se motor nachází, dle otáček vidíme, že motor právě pracoval na volnoběh. Lze pozorovat i přepočet vstřikovacích časů, kdy u benzínu byl 2,11 Ms a plynu 5,8 Ms.

Časy inj	Rozšířená mapa											
	700	1000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000
1,50	70	74	74	74	74	72	79	80	80	79	77	77
1,80	69	70	70	74	74	75	82	81	81	80	78	78
2,00	69	70	72	76	74	75	76	75	75	74	72	72
2,30	67	63	71	80	80	79	80	79	79	78	76	76
3,00	64	64	72	81	81	83	84	83	83	82	80	80
3,50	61	62	70	79	77	74	74	74	74	74	74	74
4,00	58	58	68	77	77	77	78	77	77	77	77	77
5,00	65	70	79	79	79	79	80	77	75	75	75	75
6,00	65	70	79	79	79	79	80	77	75	75	75	75
8,00	65	70	79	79	79	79	80	77	75	75	75	75
10,00	70	70	79	79	79	79	80	77	75	75	75	75
15,00	59	60	60	69	69	69	69	77	75	75	75	75

Obr. 20 Ukázka softwaru pro diagnostiku LPG řídicí jednotky

7.2 Vyhodnocení výsledků

7.2.1 Tabulky naměřených hodnot

Pro vyhodnocení měření budu vycházet pouze z hodnot naměřených dynamickou metodou. Při statické hodnotě byly zvoleny pouze 4 body, z kterých by výsledná charakteristika nebyla příliš směrodatná. Statickou metodu jsme používali, spíše jen jako orientační při prováděných změnách na LPG soustavě.

Měřicí zařízení zapisuje data s frekvencí 18 Hz po dobu přibližně 1 minuty, což znamená obrovské množství dat. Pro přehlednost jsou tabulky redukovány na 10 hodnot, tak aby pokryly celý rozsah měřených otáček.

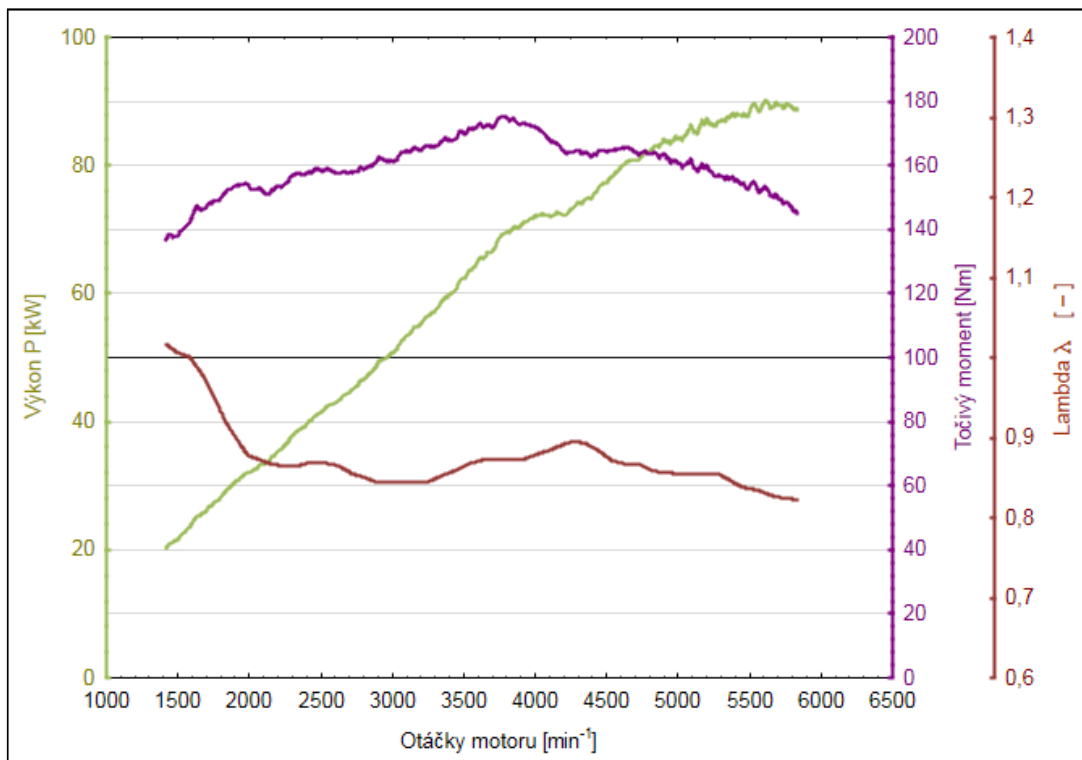
Měření při provozu na Natural 95 - 6								
n [min ⁻¹]	P [kW]	M _t [Nm]	CO [%]	CO ₂ [%]	HC [ppm]	O ₂ [%]	λ	NO _x [ppm]
1502	21,7	138,1	0,433	14,98	0	0,40	1,006	1
2002	32,1	153,3	4,805	12,36	52	0,11	0,877	1
2501	41,5	158,3	4,781	12,17	92	0,06	0,869	4
3002	50,7	161,4	5,749	11,58	101	0,04	0,844	11
3502	62,3	169,8	4,818	12,05	99	0,04	0,864	23
4002	72,1	171,9	4,375	12,36	81	0,03	0,878	31
4503	77,4	164,0	4,653	12,42	57	0,03	0,876	31
5001	84,1	160,6	5,413	11,91	44	0,03	0,855	21
5501	88,4	153,5	6,240	11,35	39	0,03	0,836	22
5831	89,0	145,7	6,717	10,96	40	0,03	0,822	25

Měření při provozu na LPG								
n [min ⁻¹]	P [kW]	M _t [Nm]	CO [%]	CO ₂ [%]	HC [ppm]	O ₂ [%]	λ	NO _x [ppm]
1500	22,8	144,4	0,074	13,82	8	0,61	1,031	32
2003	29,4	139,5	0,058	14,11	14	0,22	1,009	470
2501	38,8	147,4	0,109	14,13	8	0,07	1,001	61
3004	48,3	152,6	0,572	13,89	10	0,05	0,985	12
3501	57,9	157,0	0,155	14,03	8	0,04	0,995	9
4004	67,8	160,6	0,330	14,03	5	0,04	0,991	8
4506	73,8	155,8	0,839	13,87	5	0,04	0,981	8
4995	82,4	157,1	1,908	13,11	10	0,04	0,947	11

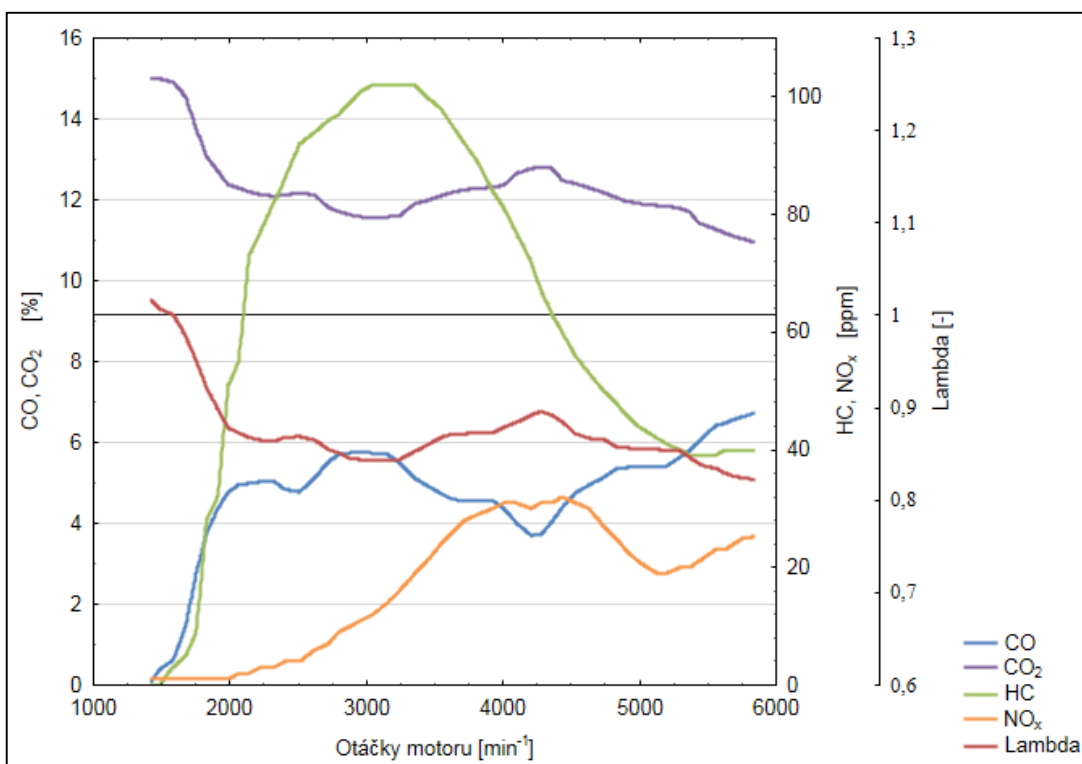
Měření při provozu na LPG po výměně trysek								
n [min ⁻¹]	P [kW]	M _t [Nm]	CO [%]	CO ₂ [%]	HC [ppm]	O ₂ [%]	λ	NO _x [ppm]
1502	19,7	125,4	0,007	12,42	7	0,80	1,042	59
2002	30,1	143,4	0,007	11,67	11	3,64	1,218	883
2500	39,0	148,9	0,007	12,64	18	2,29	1,126	2146
3000	49,2	156,7	0,011	13,81	22	0,64	1,032	2647
3500	59,2	161,5	0,951	13,90	16	0,14	0,980	753
4000	68,3	163,1	1,233	13,58	16	0,07	0,965	101
4501	73,3	155,6	1,688	13,32	14	0,05	0,954	42
5003	79,8	152,4	3,240	12,25	19	0,05	0,907	27
5502	83,8	145,4	4,882	11,04	28	0,05	0,861	24
5743	84,6	140,7	6,211	10,11	36	0,04	0,821	23

Měření při provozu na LPG po ladění								
n [min ⁻¹]	P [kW]	M _t [Nm]	CO [%]	CO ₂ [%]	HC [ppm]	O ₂ [%]	λ	NO _x [ppm]
1502	20,4	129,9	0,514	13,64	24	0,81	1,033	30
2002	31,3	149,3	0,026	13,76	32	0,51	1,023	928
2501	40,2	153,4	0,470	14,00	21	0,13	0,993	599
3003	49,4	157,0	2,061	12,88	28	0,07	0,940	64
3501	59,7	162,9	1,920	13,02	29	0,05	0,944	24
4003	69,4	165,5	1,716	13,15	23	0,04	0,948	16
4500	74,5	158,0	1,958	13,21	17	0,04	0,947	13
5003	80,7	154,0	3,911	11,84	20	0,04	0,888	12
5500	83,7	145,3	3,767	11,63	26	0,04	0,891	16
5736	86,2	143,5	4,179	11,38	30	0,04	0,877	18

7.2.2 Grafické zpracování

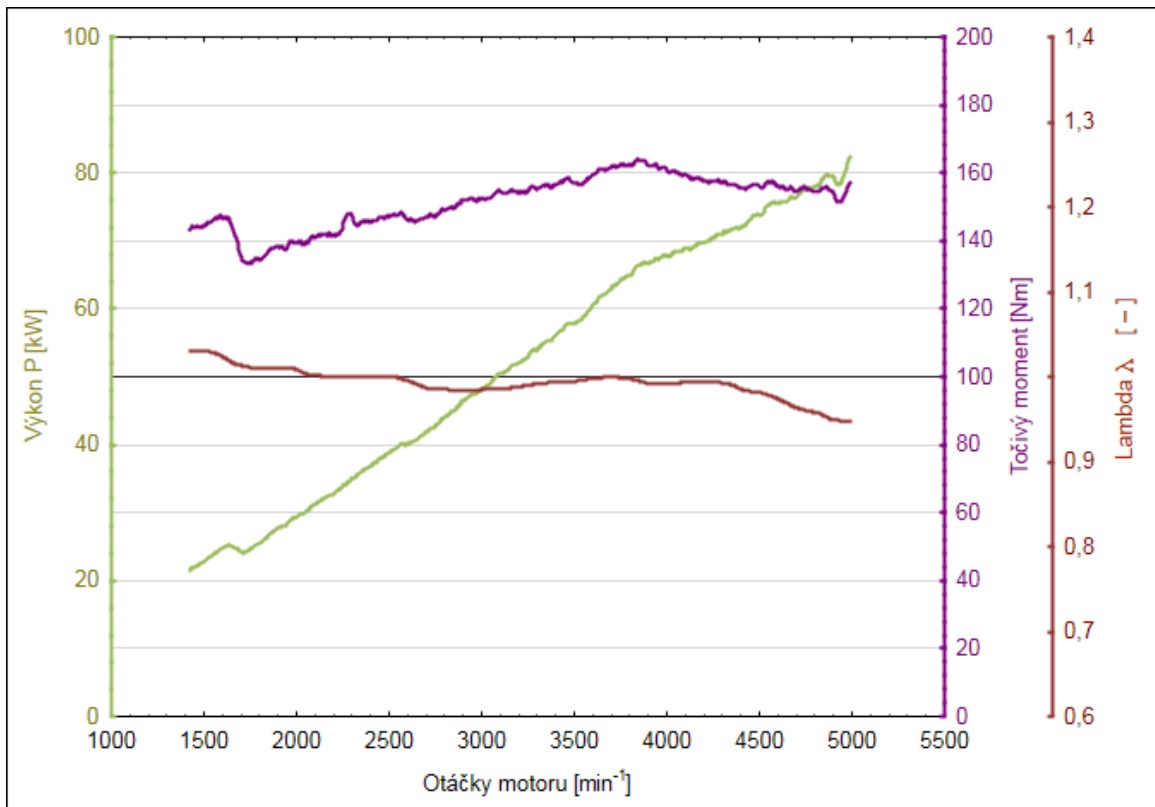


Obr. 21 Parametry motoru při provozu na BA 95

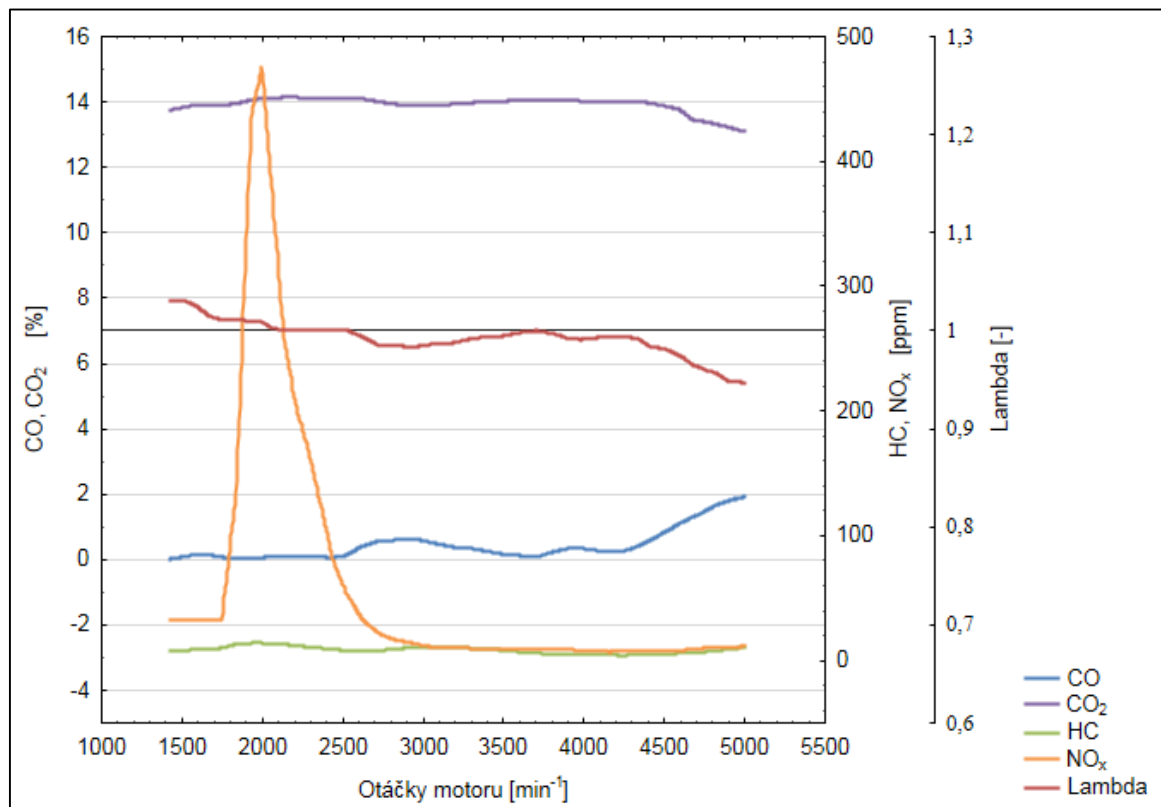


Obr. 22 Emise při provozu na BA 95

Na obrázku 21 je znázorněná závislost provozních parametrů v závislosti na otáčkách motoru. Maximální výkon byl naměřen při 5600 otáčkách, a to 90,2 kW. Výrobce udává maximální výkon 92 kW při 5600 otáčkách. Při zkoušení měl motor najeto přes 188 tis. kilometrů. Rozdíl 2 kW značí až neuvěřitelně velmi dobrý technický stav motoru i po tak dlouhé době provozu. Maximální točivý moment 175,2 Nm byl dosažen při 3770 otáčkách. Hodnota maximálního točivého momentu se opět velmi blíží hodnotě výrobcem předepsané – 186 Nm při 3600 otáčkách. Důležitou veličinou je zde i hodnota součinitele přebytku vzduchu. Vidíme, že hodnota se skoro v celém rozsahu měření pohybuje pod hodnotou 1, v oblasti bohaté směsi. V grafu je stechiometrický poměr označen zvýrazněnou čarou. Při maximálních otáčkách lambda dosahovala až na hodnotu 0,822. V dalších měřeních byla lambda hlavním sledovaným kritériem pro nastavení optimálního provozu na alternativní palivo, především kvůli kvalitě exhalátu a životnosti motoru. Výsledky z měření emisí vidíme v grafu na obrázku 22. Při spalování benzínu vidíme, že motor je provozován správně, dle emisí oxidu uhličitého, jehož průběh je zřetelně analogické s hodnotou lambdy. Množství dokonale spáleného paliva je tedy závislé jen na množství použitého paliva. Průběh emisí CO by měl být inverzní k průběhu CO₂. Množství uhlíku přivedeného v palivu musí odpovídat množství uhlíku ve spalinách ve všech jeho sloučeninách.

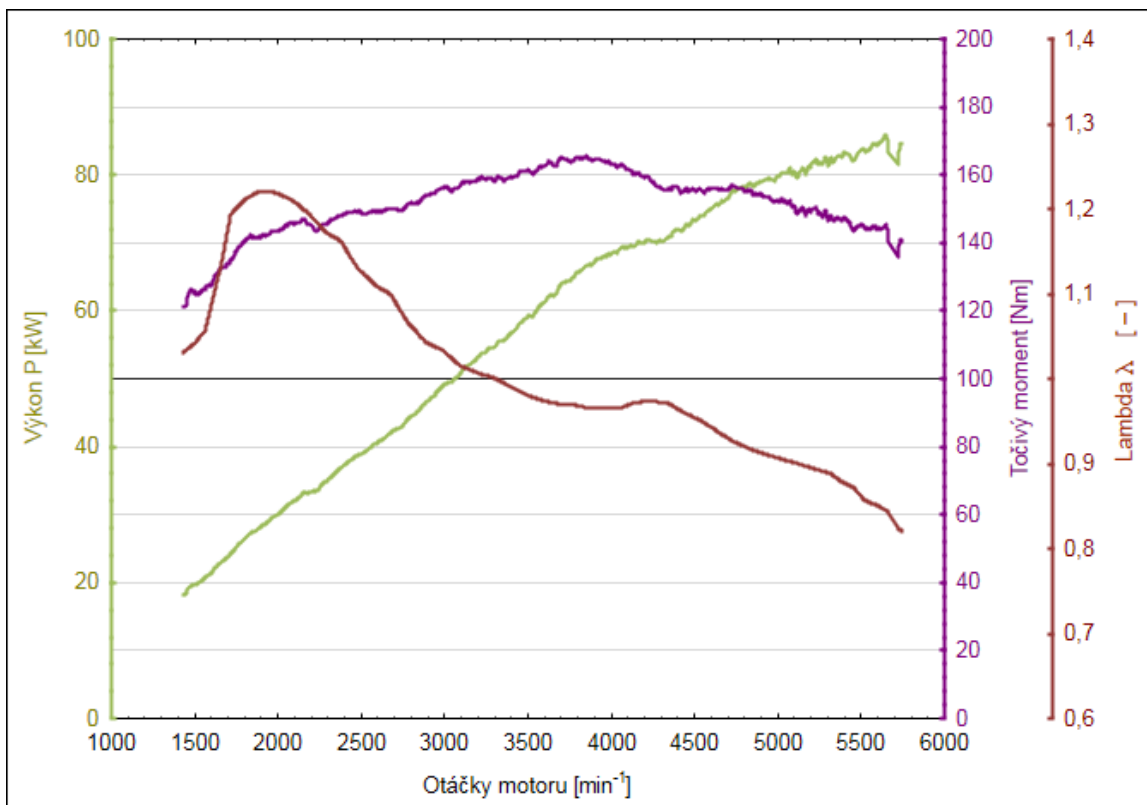


Obr. 23 Parametry motoru při provozu na LPG

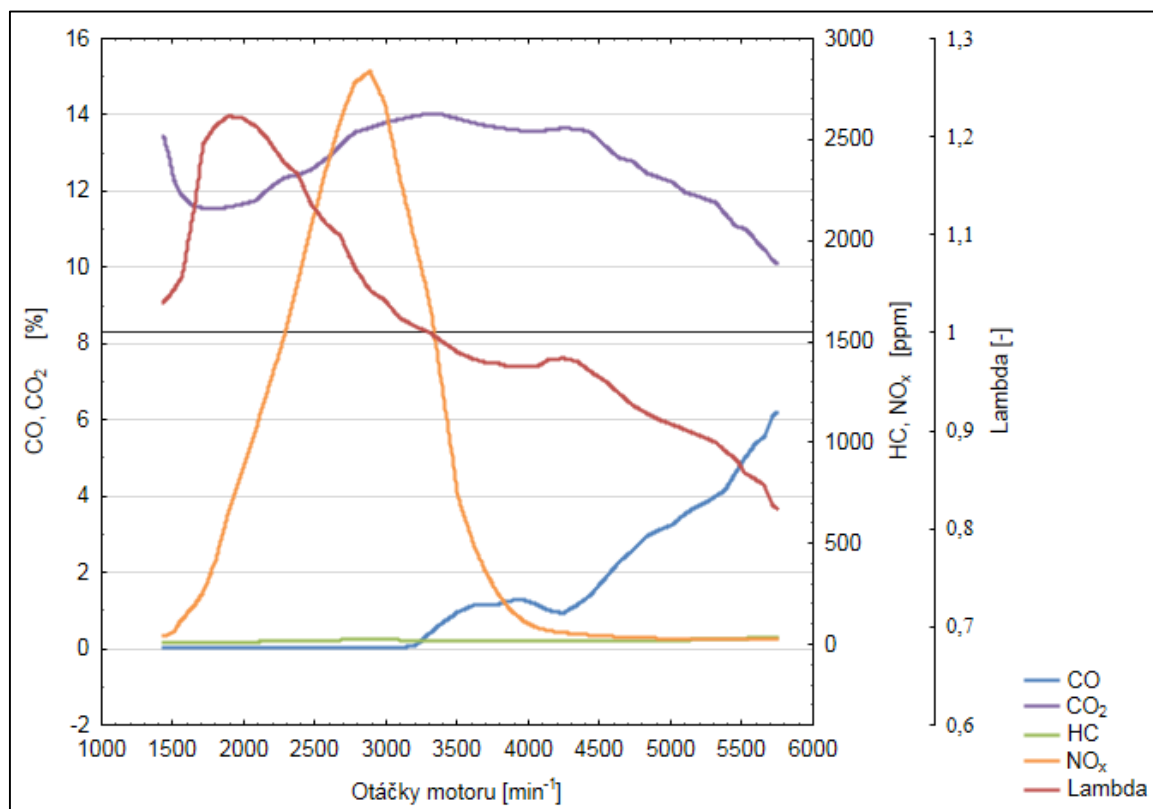


Obr. 24 Emise při provozu na LPG

Graf na obrázku 23 byl naměřen při provozu na LPG, se základním nastavením, jaké bylo dodáno firmou, která přestavbu provedla. Při vysokém zatížení motoru nebyly válce dostatečně plněny plynným palivem a řídicí jednotka LPG tak automaticky nastavovala, aby byl přistříkovan i benzín. Což je ovšem nežádoucí pokud chceme spalovat jen LPG. K přívstřiku docházelo kolem 4800 otáček. Proto bylo toto měření provedeno jen do 5000 otáček, kdy motor pracoval jen na samotné LPG. Maximální výkon zde dosahoval pouze 82,4 kW při 5010 otáčkách, což ovšem není relevantní hodnota, protože u těchto otáček již docházelo i ke spalování malého množství benzínu. Maximální moment 164 Nm (3840 min⁻¹). Hodnota lambdy se již oproti provozu na benzín posunula blíže k oblasti stechiometrického poměru. V nižších otáčkách až do oblasti chudé směsi. Průběh lambdy by měl správně být přibližně stejný při spalování obou paliv. Většina systému je od výrobce nastavena na spalování chudé směsi, aby byla výraznější změna ekonomiky provozu. Ale motoru je nutné přivádět potřebné množství energie nezávisle na druhu paliva. Rozhodujícím je zde výhřevnost paliva. Výhřevnost LPG je 24,8 MJ.dm⁻³ a benzínu 32,8 MJ.dm⁻³. Použití plynného paliva tak s sebou nese negativní zvýšení spotřeby motoru. Spalování chudé způsobuje vysokou emisí NO_x, jak lze pozorovat na obrázku 24. Chudá směs zvyšuje teplotu ve spalovacím prostoru a tím i vyšší produkci oxidů dusíku. Od 2500 otáček tyto emise klesají, jelikož již byla dále spalována směs s nedostatkem vzduchu. Největší změnu v exhalátech zde představuje snížení nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého, způsobené rozdílným složením paliva. Propan-butan je směs uhlovodíků 3 a 4 řádu, zatímco v benzínu jsou obsaženy uhlovodíky vyšších řádů. Logicky tedy, vstupují-li do spalovacího procesu uhlovodíky nižších řádů, bude v exhalátech méně zbytkových uhlovodíků. S tím souvisí menší produkce CO, protože nižší uhlovodíky jsou také lépe spalitelné. Nízké hodnoty oxidu uhelnatého jsou způsobeny také rozdílným obsahem uhlíku v palivu. V 1 kg propan butanu (60/40) je to 0,825 kg C a u obvyklého benzínu je to 0,86-0,87 kg C. V neposlední řadě má vliv i množství paliva, kterého nebylo vstříkováno dostatečné množství, dle součinitele přebytku vzduchu.

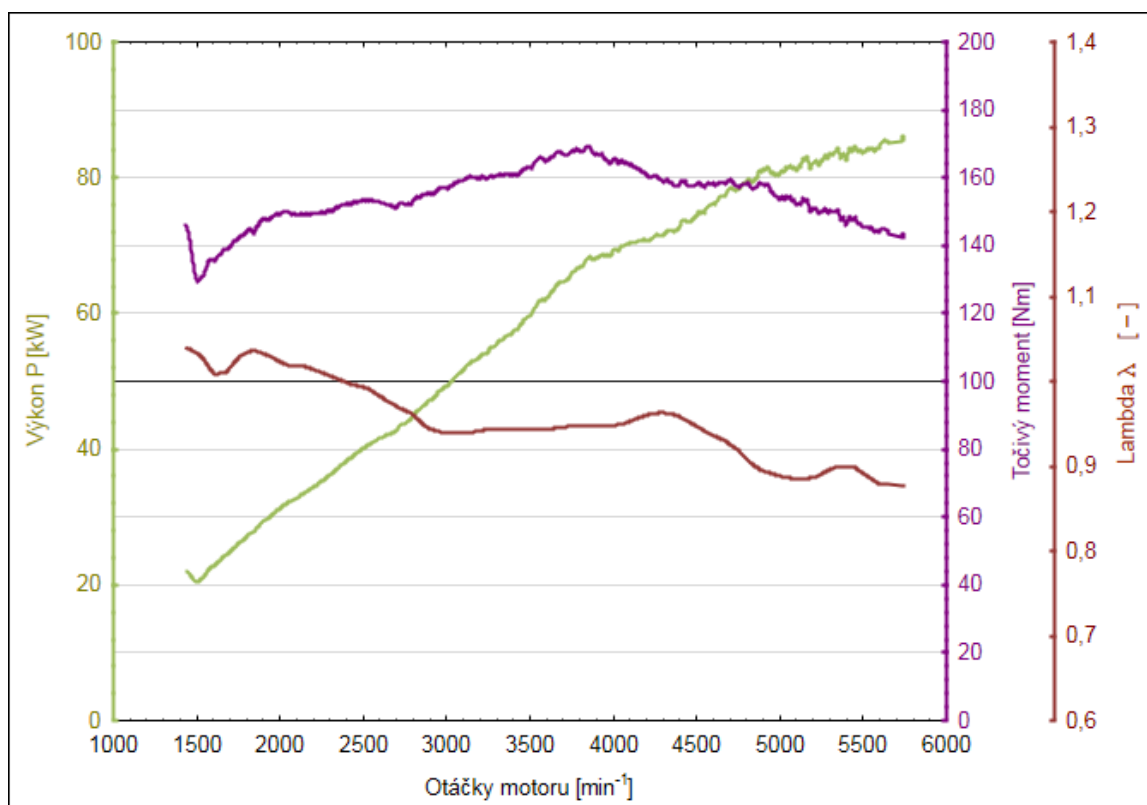


Obr. 25 Parametry motoru při provozu na LPG po výměně trysek

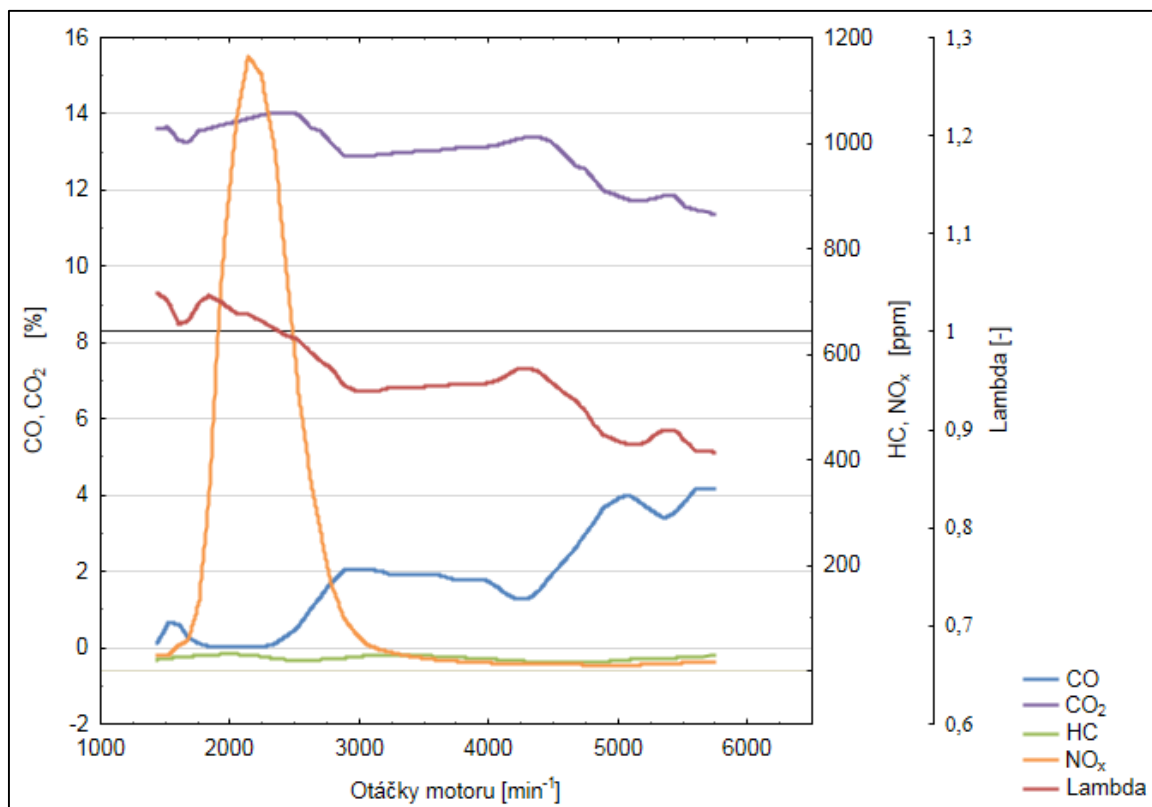


Obr. 26 Emise při provozu na LPG po výměně trysek

Obrázek 25 obsahuje graf závislosti provozních parametrů naměřených při spalování plynu. Před tímto měřením došlo k výměně kalibračních trysek vstřikovačů. Původní trysky v průměru 2,1 mm byly vyměněny za průměr 2,4 mm. Výměna trysek přinesla zlepšení plnění válců dostatečně velkou dávkou paliva. Zamezilo se tak přívstřiku paliva a i při vysokém zatížení bylo spalováno pouze plynné palivo. Spalování dostatečně bohaté směsi přineslo i zlepšení výkonových parametrů. Nejvyšší výkon se posunul až na 85,9 kW (5650 min^{-1}). A točivý moment 165,5 při 3850 min^{-1} . Změnou průměru tryšky se však mění i charakteristika vstřikovačů. Což pozorujeme při otáčkách do 3000, kdy se součinitel přebytku vzduchu rapidně zvýšil až k hodnotám 1,25 do extrémně chudé směsi. Nad 3000 otáček se podařilo směs dostatečně obohatit a lambda zde vykazuje hodnoty podobné jako provoz na benzín a při maximálních otáčkách sahá stejně až na 0,82. Extrémně chudá směs způsobila především rapidní nárůst oxidů dusíku až kolem hodnoty 3000 ppm (obrázek 26). Mimo NO_x se snížily všechny hodnoty emisí. Při 3500 otáčkách se graf láme, vstřikovaná směs je více obohacena, a tak narůstá i produkce škodlivých exhalátů.



Obr. 27 Parametry motoru při provozu na LPG po ladění



Obr. 28 Emise při provozu na LPG po ladění

Výsledky posledního měření jsou vyneseny v grafu na obrázku 27. Cílem poslední úpravy bylo ještě větší obohacení spalované směsi. Pomocí diagnostického softwaru se upravila mapa vstřikování pro zvýšení vstřikované dávky paliva. Výsledek úpravy je znatelný na součiniteli přebytku vzduchu. Podařilo se jej více přiblížit k oblasti bohaté směsi. Do otáček kolem 2500 je sice lambda stále nad hodnotou 1, ale větší část měřených otáček je již dostatečně obohacena a dosáhli jsme větší podobnosti jejího průběhu jako při spalování benzínu. S obohacením směsi samozřejmě vzrostl i výkon motoru, i když jen na 86,2 při 5740 min⁻¹. Rozdíl při provozu na benzín a LPG tak činí 4 kW. Při LPG režimu dojde tedy ke snížení výkonu jen o 4,5 %. Maximální točivý moment byl naměřen při 3860 otáčkách o velikosti 169,2 Nm. Z emisního hlediska se vyššími dávkami paliva dosáhlo snížení emisí NO_x oproti předešlému měření přibližně na polovinu (graf na obrázku 28). Produkce NO_x bude u spalování plynu vždy vyšší. Hoření plynu trvá déle než benzínu, navíc při vyšší teplotě, což poskytuje podmínky a dostatečnou dobu pro oxidaci vzdušného dusíku.

8 DISKUZE

Z výsledků měření lze konstatovat, že provedená přestavba pro spalování plynného paliva LPG nebyla provedena s dostatečnou odborností. Jak lze pozorovat v grafu na obrázku 23 došlo při provozu na LPG ke značnému omezení výkonu a točivého momentu motoru. Hlavním problémem bylo nastavení dávky paliva, motor tak pracoval s poměrně chudou směsí, oproti naměřené u Naturalu 95. Při vysokém zatížení dokonce řídicí jednotka LPG nestačila plnit válce motoru dostatečným množstvím paliva a docházelo tak i k nežádoucímu navýšení bohatosti směsi přívstřikem benzínu. Změnou průměru kalibračních trysek plynových vstřikovačů se nám podařilo dávky plynu částečně zvýšit, avšak stále ne dostatečně. K razantnímu navýšení došlo až po úpravě vstřikovací mapy LPG systému. Pomocí diagnostického programu jsme v celém rozsahu otáček dále zvýšili vstřikovací časy, a tím i bohatost nasávané směsi. Nyní už motor spaloval při vyšším zatížení dostatečně bohatou směs, dle grafu na obrázku 27. I průběh hodnoty součinitele vzduchu byl více analogický s průběhem u Naturalu 95. Adekvátní dávky paliva samozřejmě zlepšili i výkonnostní vlastnosti. Při měření benzínového provozu byl maximální výkon 90,2 kW a točivý moment 175 Nm. Hodnoty při zkoušení LPG provozu dle původního nastavení výrobcem byly 82,4 kW a 164 Nm. Po provedených změnách se podařilo dosáhnout maximálního výkonu 86,2 kW a točivého momentu 169,2 kW. Použitím alternativního plynného paliva tak došlo ke snížení výkonu o 4 kW, točivého momentu o 6 Nm. Spalování propan-butanu by zároveň mělo mít lepší emisní vlastnosti, jak bylo měřením dokázáno. Použitím plynu k pohonu vozidla se snížily hodnoty oxidu uhelnatého, uhličitého i zbytkových nespálených uhlovodíků. Ovšem za vysokého nárůstu emise NO_x . Oxidy dusíku potřebují pro vznik vysoké teploty ve spalovacím prostoru, které se objevují při spalování chudé směsi. Provozování na chudou směs u LPG bylo tedy primární příčinou navýšení těchto exhalátů. Nárůst NO_x při spalování chudé směsi lze pozorovat ve všech grafech naměřených emisí pro LPG. Po výměně trysek vstřikovačů (obrázek 26) byla v nízkém zatížení směs velmi chudá a NO_x vzrostly až na hodnoty ke 3000 ppm. Po ladění systému (obrázek 28) a větším obohacením se emise NO_x snížili k hodnotě 1000 ppm. Zvýšení oxidů dusíků je poměrně výrazné, protože u Naturalu 95 jsme naměřili maximální hodnoty kolem 30 ppm.

Podařilo se nám zlepšit nastavení LPG palivového systému, ale nedosáhli jsme stejných výkonových parametrů motoru pro obě paliva. Řízení těchto systémů není příliš

dokonalé. Řídící jednotka LPG nevyhodnocuje všechny provozní parametry a nemůže tak adekvátně motor řídit podle typu paliva, které vyžaduje jiná nastavení (např. předstihu zážehu). Novější motory už mají snímače klepání motoru, díky kterým si motor předstih zážehu může upravit pro použité palivo, pravděpodobně by tyto vozidla dosahovali lepších výsledků. Pro dokonalý provoz na jiné alternativní palivo, by měl motor mít 2 nezávislá řízení. Znamenalo by to tedy 2 řídicí jednotky se správným nastavením pro jednotlivá paliva. Dnes nejlepší variantou ke spalování LPG je systém vstřikování kapalně fáze plynu, který je svou funkcí nejvíce podobný vstřikování benzínu. Vozidla s rozdílným řízením motoru podle paliva a vstřikování kapalně fáze plynu dosahují stejných parametrů při obou palivech. Jak uvádí ve své diplomové práci Ing. Karel Červinka, 2014, který prováděl měření automobilu Subaru Outback LPI na vozidlové zkušebně Mendelovy univerzity. Tento automobil byl již vyroben pro spalování benzínu a LPG. Výrobce udává, že výkon i točivý moment motoru je naprosto stejný pro obě paliva. Měřením to bylo potvrzeno, automobil opravdu dosahoval stejných hodnot nezávisle na použitém palivu. Emise LPG byly rovněž nižší jako u mého měření, bohužel při jeho zkoušení nebyly měřeny emise dusíku a nelze je tedy porovnat.

9 ZÁVĚR

V teoretické části se věnuji popisu paliv pro zážehové motory, především automobilového benzínu a LPG. Jsou zde rozepsány jejich charakteristické vlastnosti, přednosti a nedostatky. Další část zpracovává vlastnosti vozidlových emisí. Charakterizují problematiku výfukových exhalátů, jejich administrativní omezení normou EURO a jednotlivé složky spalín spolu s jejich negativními účinky na živé organismy. Zaměřil jsem se také na LPG systémy, čili prvky zástavby nutné k přestavbě vozidla pro pohon na alternativní palivo.

Zkoušení provedené na vozidlové zkušebně Mendelovy univerzity mělo za úkol zjistit parametry vozidla při jednotlivých provozech na LPG a Natural 95. Jelikož, provedená přestavba s sebou přinesla snížení výkonu, snažil jsem se provést úpravy, které by jeho hodnoty při spalování plynu přiblížilo provozu na benzín. Hlavním problémem byly nízké dávky plynu a motor tak pracoval při $\lambda > 1$. Většina výrobců těchto přestaveb nastavuje řídicí jednotky tak, aby byl motor provozován s co nejchudší možnou směsí, představující úsporu paliva a celkově další zlepšení ekonomiky provozu. Samozřejmě naměřené hodnoty výkonu a točivého momentu byly vyšší u Naturalu 95, i když po provedených úpravách na LPG systému se nám podařilo dostatečně provoz na plyn těmito hodnotám přiblížit. Pozitivem při spalování plynů je nižší produkce škodlivých emisí. Ty se všechny snížili, pouze kromě oxidů dusíku, které budou u LPG vždy vyšší.

Tyto typy přestaveb nikdy nemohou dosahovat stejných parametrů jako při továrním nastavení na Natural 95, protože jejich řízení není tak dokonalé jak by mělo. Rozhodně je lepší pro tyto paliva využít automobilů, která jsou na něj již konstrukčně uzpůsobena od výroby a jednotlivé provozní režimy dosahují stejných výkonnostních vlastností.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

Cech odborníků plynových zařízení. *Použití propan-butanu (LPG) k pohonu motorových vozidel: v platnosti od 6.4.1993*. 1. vyd. Praha: Knižní podnikatelský klub, c1993. Technická pravidla. COPZ. ISBN 80-85267-48-9.

ČERVINKA, Karel. *Porovnání parametrů motoru na kapalná a plynná paliva*. Brno, 2014. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.

FIŠER, Lubomír. *Automobily na alternativní pohon: benzín - plyn (LPG) : [ekologický a ekonomický provoz s polovičními náklady] : (určeno pro uživatele a zájemce o pohon na propan-butan)*. 1. vyd. Brandýs nad Orlicí: Klub motoristů LPG, 1997

HLAVŇA, Vladimír. *Dopravný prostředek - jeho motor*. 1.vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2000. ISBN 80-7100-665-3

MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5

PETRÁS, Zdeněk a Antonín RŮŽIČKA. *Měření emisí*. 1. vyd. Praha: Robert Bosch, 1997

SČASNÝ, Josef a Jaroslav KUBA. *Pohon automobilů na propan-butan LPG*. 1. vyd. Havířov: IRIS, 1994

ŠTĚRBA, Pavel. *Automobily s pohonem na LPG: typové a individuální přestavby, ekonomická návratnost, opravy a doporučení pro majitele vozidel : [příručka majitele vozu]*. 1. vyd. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0148-3

ŠTĚRBA, Pavel a Ondřej KRYŽICKÝ. *Jak na LPG: přestavba, provoz a údržba automobilů na plyn*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2002. Rady a tipy pro řidiče. ISBN 80-7226-734-5

TAKÁTS, Michal. *Měření emisí spalovacích motorů*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01632-3

VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5

VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6461-5

VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel: výkon vozidla, brzdě vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, řiditelnost a ovladatelnost, životní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2005. ISBN 80-239-3717-0

Normy:

ČSN EN 228: *Motorová paliva - Bezolovnaté automobilové benziny - Technické požadavky a metody zkoušení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013

ČSN EN 589+A1: *Motorová paliva - Zkapalněné ropné plyny (LPG) - Technické požadavky a metody zkoušení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012

Internetové zdroje:

Čupera Jiří. Emisní systémová analýza. *Ústav techniky a automobilové dopravy*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/esa.htm>

Čupera Jiří. Konstrukční řešení vozidlového dynamometru 4VDM E120-D. *Ústav techniky a automobilové dopravy*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/konstdyn.htm>

EASY FAST C-OBD II LPG. *Lovatogas*. [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://www.lovatogas.com/php/eng/lpg_systems_detail/id_8_prodotto_easy-fast-c-obd-ii-lpg.html

LPG přestavba. *ELPEGE* [online]. 2015 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.elpege.cz/lpg-prestavby/>

Sajdl Jan. Emisní norma EURO. *Autolexicon*. [online]. 2011 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>

Systém LPG se směšovačem pro karburátory. *Přestavba na LPG*. [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.prestavbanalpg.cz/prestavba-lpg/typy-systemu-lpg/system-lpg-se-smesovacem/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Destilační křivka benzínu	10
Obr. 2 Závislost tlaku v nádrži na složení a teplotě LPG	15
Obr. 3 Válcová (a) a toroidní nádrž (b).	17
Obr. 4 Elektromagnetický ventil.....	18
Obr. 5 Multiventil	19
Obr. 6 Reduktor pro motory se vstřikováním	20
Obr. 7 Směšovač	21
Obr. 8 Komponenty LPG zástavby v motorovém prostoru pro vícebodové vstřikování	22
Obr. 9 Regulační charakteristika	27
Obr. 10 Vozidlová zkušebna MENDELU	28
Obr. 11 Prvky LPG zástavby zkoušeného vozidla	30
Obr. 12 Schéma zkušebny	30
Obr. 13 Ventilátory náporového chlazení.....	30
Obr. 14 Konstrukční schéma válcových dynamometrů.....	31
Obr. 15 Uložení dynamometru	32
Obr. 16 Emisní systémový analyzátor Bosh.....	33
Obr. 17 Ukotvení vozidla na válcích	34
Obr. 18 Připojení sondy emisní analýzy a otáčkové sondy	35
Obr. 19 Kalibrační trysky vstřikovače \varnothing 2,4 mm	38
Obr. 20 Ukázka softwaru pro diagnostiku LPG řídicí jednotky	39
Obr. 21 Parametry motoru při provozu na BA 95	42
Obr. 22 Emise při provozu na BA 95	42
Obr. 23 Parametry motoru při provozu na LPG	44
Obr. 24 Emise při provozu na LPG	44
Obr. 25 Parametry motoru při provozu na LPG po výměně trysek	46

Obr. 26 Emise při provozu na LPG po výměně trysek.....	46
Obr. 27 Parametry motoru při provozu na LPG po ladění.....	47
Obr. 28 Emise při provozu na LPG po ladění.....	48

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Druhy schválených automobilových benzínů dle ČSN EN 228	11
Tab. 2 Technické požadavky automobilového benzínu Super BA 95	12
Tab. 3 Charakteristické požadavky na LPG	16
Tab. 4 Normy emisí Euro pro zážehové motory	24
Tab. 5 Základní mechanické vlastnosti dynamometru MEZ 4VDM E120-D	31
Tab. 6 Charakteristika Bosh ESA	33

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Protokol kalibrace závislosti rychlosti vozidla a otáček motoru

Příloha č. 2 – Protokol kalibrace pro statické zkoušky výkonu

Příloha č. 3 – Zkušební protokol z měření při provozu na Natural 95 (měření č. 6)

Příloha č. 5 - Zkušební protokol z měření při provozu na LPG (měření č. 12)

Příloha č. 6 - Zkušební protokol z měření při provozu na LPG po výměně trysek (měření č. 19)

Příloha č. 7 - Zkušební protokol z měření při provozu na LPG po ladění (měření č.21)