

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv přestavby vozidla na pohon LPG na výkon motoru

Milan Matějka

Bakalářská práce
2010

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Milan MATĚJKA
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky-Silniční vozidla
Název tématu: Vliv přestavby vozidla na pohon LPG na výkon motoru
Zadávací katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

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

1. Úvod
2. Obecně o LPG
3. Vhodnost vozidel pro přestavbu
4. Přestavba vozidla
5. Měření výkonu motoru
6. Zhodnocení výsledků
7. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Literatura po dohodě s vedoucím práce
2. VLK, František. Diagnostika motorových vozidel. [s.l.] : [s.n.], 2006. 444 s. ISBN 80-239-7064-X
3. VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. [s.l.] : [s.n.], 2003. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Milan Graja, CSc.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **26. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2010**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 28.5.2010

Milan Matějka

Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Milanu Grajovi, CSc. za vstřícnost a podporu při vedení bakalářské práce a dále firmě Pletpo UnO, s.r.o. zastupované panem Ing. Jaromírem Beranem za odborné rady a podporu při měření.

Anotace:

Práce se věnuje posouzení vlivu přestavby vozidla na LPG na výkon motoru. Popisuje vlastnosti propan butanu a srovnává ho s klasickými palivy. Zahrnuje také druhy přestaveb a popis komponent plynové palivové soustavy. Zabývá se měřením výkonu vozidla a jeho následným vyhodnocením.

Klíčová slova:

Výkon motoru, LPG, moment motoru, přestavba, sekvenční vstřikování

Title:

The effect of vehicle transformation to LPG drive on engine power

Annotation:

The thesis deals with assessment of the effect of vehicle transformation to LPG drive on engine power. Describes the properties of propane butane, and compares it to other fuels. It also includes a description of the types of transformations and description of gas fuel system components. It deals with measuring the engine power of the vehicle and its evaluation.

Keywords:

Engine power, LPG, torque, vehicle transformation, sequential injection

Obsah

1.	Úvod.....	8
2.	Obecně o LPG.....	9
2.1.	Výroba propan-butanu.....	9
2.2.	Fyzikální a chemické vlastnosti propan-butanu.....	9
2.3.	Vliv propan-butanu na životní prostředí.....	10
2.4.	Srovnání s klasickými kapalnými palivy.....	11
3.	Vhodnost vozidel pro přestavbu na LPG.....	12
3.1.	Hledisko typu motoru.....	13
3.2.	Hledisko ekonomické.....	13
4.	Přestavba vozidla.....	14
4.1.	Přestavby motorových vozidel.....	14
4.1.1.	Hromadná přestavba.....	15
4.1.2.	Individuální přestavba.....	15
4.2.	Technická řešení systémů pro alternativní pohon LPG.....	16
4.2.1.	Systém s centrálním směšovačem.....	16
4.2.2.	Systém s centrálním směšovačem řízený lambda sondou.....	17
4.2.3.	Systém kontinuálního vstřikování.....	17
4.2.4.	Sekvenční vstřikování LPG.....	17
4.2.5.	Systém sekvenčního vstřikování pro motory FSI (TSI).....	18
4.2.6.	Systém sekvenčního vstřikování kapalné fáze – Lpi.....	18
4.3.	Prvky systému sekvenčního vstřikování LPG.....	19
4.3.1.	Plnicí koncovka.....	20
4.3.2.	Tlaková nádrž.....	20
4.3.3.	Multiventil.....	21
4.3.4.	Přepínací modul.....	22
4.3.5.	Měřič tlaku.....	23
4.3.6.	Vstřikovače.....	23
4.3.7.	Elektronická řídicí jednotka sekvenčního vstřikování.....	25
4.3.8.	Regulátor tlaku – reduktor.....	25
5.	Měření výkonu motoru.....	26
5.1.	Měřené vozidlo.....	29
5.2.	Příprava vozidla na měření.....	30
5.3.	Příprava testeru a obsluhy na měření.....	31
5.4.	Postup měření.....	32
5.4.1.	Statické měření výkonu.....	33
5.4.2.	Dynamické měření výkonu.....	33
6.	Zhodnocení výsledků.....	34
6.1.	Výkon motoru při dynamickém měření.....	34
6.2.	Moment motoru při dynamickém měření.....	35
6.3.	Měření emisí a jejich výsledky.....	36
7.	Závěr.....	39
8.	Literatura.....	40
	Seznam obrázků.....	41
	Seznam tabulek.....	41
	Seznam grafů.....	41
	Seznam příloh.....	41

1. Úvod

Používání motorových vozidel se stalo neodmyslitelnou součástí našeho života. Ovšem v důsledku neustálého zvyšování počtu motorových vozidel, které využívají k pohonu klasická paliva (benzín a nafta), dochází k velkému zatěžování životního prostředí. Proto se v minulosti hledaly cesty, jak tuto zátěž minimalizovat a začla se používat alternativní paliva. Mezi tyto alternativy patří především plynná paliva, mezi něž patří hlavně zkapalněný zemní plyn LNG (Liquified Natural Gas), stlačený zemní plyn CNG (Compressed Natural Gas) a zkapalněná směs propanu a butanu LPG (Liquefied Petroleum Gas).

LPG se jako palivo pro motory začal používat v 19. století. V bývalém Československu však bylo jako palivo v 50. letech 20. století zakázáno a jeho použití se u nás rozvíjí od 90. let. V současné době s jedná o velice oblíbené alternativní palivo, jež má perspektivu pro „poropné“ období. Nezanedbatelný je totiž jeho ekonomický dopad na provoz vozidel, stejně jako jeho vliv na snížení produkce všech dnes sledovaných výfukových emisí. Dalším přínosem použití LPG je prodloužení životnosti motoru a jeho nižší mechanické opotřebení. Z těchto důvodů se LPG používá stále častěji. V současné době se LPG jako palivo používá ve více než 5 milionech vozidel na světě [1].

2. Obecně o LPG

Na úvod bych zde rád zmínil několik základních informací o LPG, jeho původu, fyzikálních a chemických vlastnostech. Zdrojem LPG podobně jako benzínu a nafty je ropa. Ta se řadí společně s uhlím mezi neobnovitelné zdroje, které vznikly zfosilněním zbytků těl živočichů a rostlin žijících na Zemi před miliony let. Její úložiště, se nacházejí zejména v oblastech Středního východu, Ruska, Severní Ameriky a Severního moře. Úložiště se nacházejí hluboko pod zemským povrchem a pro jejich využití je potřeba provádět vrtání nebo dolování [2].

2.1. Výroba propan-butanu

Surová ropa získaná těžbou představuje směs uhlovodíků, především pak alkanů. Jejím zpracováním různými postupy z ní lze vyrobit nejen paliva pro motorová vozidla, oleje ale i pestrou škálu plastů, léků, barev a dalších materiálů.

Výrobním procesem propanu a butanu je destilace ropy. Nejprve se ropa zahřeje na teplotu 350°C, při které dochází k odpařování. Páry jsou následně vpouštěny do destilační kolony, kde jsou frakcionovány na základě své hmotnosti. Lehké frakce jako jsou právě propan a butan jsou odváděny ve vrchních částech kolony, benzín a parafínové oleje ve střední části a těžké zbytky se shromažďují na dně kolony. Z těchto zbytků se pomocí vakuové destilace získává například nafta, asfalt a mazací oleje [2].

2.2. Fyzikální a chemické vlastnosti propan-butanu

Propan-butan je, jak už název napovídá, směsí dvou lehkých uhlovodíků: propanu (C_3H_8) a butanu (C_4H_{10}). Za normálních podmínek je tato směs v plynném skupenství. Avšak je velmi snadné ji převést do kapalného stavu, a to ochlazením a nebo stlačením. Tato vlastnost je velice výhodná pro její technické využití. V kapalném stavu dochází navíc k značnému snížení objemu, což je výhodné z pohledu přepravy a skladování. Pro praktické použití je zanedbatelný obsah dalších

plynů.

Vlastnosti propanu a butanu se liší v několika charakteristikách. Například se jedná o bod varu, což je teplota rovnovážného přechodu kapalného skupenství do plynného. U propanu je tato teplota rovna -43°C , kdežto butan má bod varu při $-0,5^{\circ}\text{C}$. Tento fakt je důležitý při výrobě směsi v různých klimatických podmínkách. V zimním období je ve směsi větší podíl propanu (a to cca 60%) protože při nízkých teplotách (např. -10°C) se odpařuje pouze propan a butan zůstává uvnitř nádoby. Pokud by zůstával v nádobě pouze butan, doházelo by ke vzniku podtlaku a nebyl by možný další odběr. V letních měsících je naopak složení směsi obrácené [2].

Na rozdíl od jiných kapalin (např. voda) dochází u propan-butanu při změně teploty k dramatické změně tlaku. U propanu dochází při zvýšení teploty z 0°C na 40°C k nárůstu tlaku až o 13%. Proto musí být v každé nádobě určené k převozu a skladování propan-butanu vždy určitý volný prostor, který v případě nárůstu teploty a tím i tlaku zabrání roztržení nádoby. V praxi to znamená, že se nádrže v automobilech vždy plní maximálně do 80% objemu nádrže [3].

Důležitou vlastností propan-butanu jako paliva pro motorová vozidla je jeho hodnota oktanového čísla. Oktanové číslo paliva vyjadřuje procentuální obsah izo-oktanu ve směsi izo-oktanu (přesněji 2,2,4 – trimethylpentanu) s n-heptanem, která je proti samozápalu stejně odolná jako zkoumané palivo, jak je uvedeno v [4]. Vyšší oktanové číslo značí vyšší antidekonační schopnost. Toto číslo je v případě propanu 100 a v případě butanu 92 [2].

2.3. Vliv propan-butanu na životní prostředí

Z pohledu vlivu propan-butanu na zdraví člověka, se jedná o plyn bez zápachu (z důvodu bezpečnosti je aromatizován), který je na rozdíl od svítiplynu nejedovatý, avšak nedýchatelný. Dýchání atmosféry s obsahem par propan-butanu může vyvolávat bolesti hlavy, při vyšší koncentraci se nejprve projevují obdobné účinky jako při požití alkoholických nápojů. V propan-butanu však mohou být obsaženy i sirmé sloučeniny a jiné nečistoty a jeho vdechování tedy je v každém případě zdraví

škodlivé. V prostorech, kde se pracuje s propan-butanem je proto velmi důležitá přirozená nebo nucená ventilace vzduchu.

Hlavní nebezpečí propan-butanu je v tom, že jako každý hořlavý plyn je za určitých podmínek výbušný. Tato směs má v porovnání s ostatními topnými plyny nejnižší spodní mez výbušnosti (od 1,5% obj. dle složení [11]), to tedy znamená, že stačí pouze malé množství propan-butanu k vytvoření výbušné směsi. Ventilace vzduchu v místech práce s propan-butanem je tedy důležitá i jako prevence vzniku výbušné směsi a tím rizika výbuchu a požáru.

Další vlastností propan-butanu je, že je v plynné fázi těžší než vzduch. Při úniku má tedy tendenci držet se při zemi a může proniknout do podzemních prostorů, odkud je velmi obtížné ho odčerpat. Proto je zakázáno skladovat nádoby s propan-butanem v prostorech pod úrovní zemského povrchu a také platí zákaz parkování automobilů na LPG v podzemních garážích.

Propan-butan funguje jako rozpouštědlo materiálů vyrobených z přírodního kaučuku. Proto je důležité použít v palivovém systému automobilu materiály, které jsou odolné tomuto působení. Mezi takové materiály patří ty vyrobené ze syntetického kaučuku, například teflon.

2.4. Srovnání s klasickými kapalnými palivy

Protože se propan-butan používá jako náhrada kapalných paliv – benzinu a nafty, je zajímavé porovnat vlastnosti všech těchto látek. Souhrnně jsou všechny nejdůležitější vlastnosti uvedeny v tabulce 1.

tabulka 1 - Základní vlastnosti paliv (převzato z [2])

Vlastnost	propan	butan	benzin	nafta
Hustota při 15°C (kg/l)	0,508	0,584	0,73 - 0,78	0,81 - 0,85
Tlak par při 37,8°C (bar)	12,1	2,6	0,5 - 0,9	0,003
Teplota varu (°C)	-43	-0,5	30 - 225	150 - 560
R. O. N.	111	103	96 - 98	-
M. O. N.	97	89	58 - 57	-
Výhřevnost (MJ/kg)	46,1	45,5	44	42,4
Výhřevnost (MJ/l)	23,4	26,5	32,3	35,6
Stechiometrický poměr (kg/kg)	15,8	15,6	14,7	-
Kalorická hodnota MIX.S. (kJ/mc)	3414	3446	3482	-

Jak je vidět v tabulce 1, mají nafta a benzin vyšší bod varu než je normální teplota prostředí. Oproti tomu propan a butan se odpařují při nízkých teplotách. Z uvedeného vyplývá, že benzin a nafta jsou při atmosférickém tlaku v zásobnících v kapalném stavu, zatímco ke zkvalnění LPG je potřeba určitý tlak (viz tabulka 1). I když je teoretický bod varu pro benzin vyšší než teplota prostředí, tak i on se odpařuje a v moderních vozidlech se drží v přetlakových nádržích.

Pokud porovnáme oktanové číslo určené výzkumnou metodou (R. O. N.) vysvětlit a oktanové číslo určené motorovou metodou (M. O. N.) zjistíme, že LPG má lepší antidetonační vlastnosti než benzin.

Kalorickou hodnotu má LPG vyšší než kapalná paliva. Když se uvažuje spotřeba jako kg/hmota pohonné látky, je v případě nafty a benzínu nižší než u LPG. Pokud se ale uvažuje vzhledem k objemu, je to právě naopak, protože tyto látky mají odlišné specifické hmotnosti.

3. Vhodnost vozidel pro přestavbu na LPG

Použití LPG jako palivo je možné teoreticky u každého typu silničního motorového vozidla. Ovšem u různých typů vozidel je technická náročnost řešení přestavby různě složitá a v jistých případech i ztrácí veškeré výhody s ní spjaté. Přestavovat je možné i nákladní automobily, ale jelikož drtivá většina z nich je se vznětovým motorem, zaměřím se spíše na osobní automobily. Vhodnost osobních automobilů pro přestavbu na LPG lze rozdělit podle těchto základních hledisek.

3.1. Hledisko typu motoru

Určitě nejvhodnějším typem motoru pro přestavbu na LPG je zážehový motor chlazený kapalinou. V současné době se už přestavují výhradně jen tyto typy motorů. Důležitou skutečností je, aby byla zaručena potřebná ventilová vůle. Pokud by nebyla zajištěna, mohlo by docházet k otláčení sedel ventilů a tím k netěsnostem. Vůle se zajišťuje dvěma způsoby. Prvním způsobem je výroba sedel ze speciálního tvrdého materiálu, což je ovšem velmi nákladná záležitost. Druhým způsobem je provádění pravidelných servisních kontrol, při nichž se kontroluje i ventilová vůle. U moderních automobilů je to řešeno automatickým seřizováním vůlí.

Jak bylo uvedeno na začátku kapitoly, přestavět lze prakticky jakýkoliv motor, takže lze přestavět i zážehový motor vzduchem chlazený. Avšak takový motor je nutné doplnit o ohřívací zařízení, které se napojuje na výfukové potrubí. V něm se ohřívá voda, která pak následně slouží k ohřevu regulátoru tlaku plynu, ve kterém se kapalná fáze plynu mění na plynou.

Přestavba vznětových motorů osobních automobilů se nyní již prakticky vůbec neprovádí. Hlavním důvodem je fakt, že přestavba naftového motoru na LPG spočívá ve změně systému motoru ze vznětového motoru na zážehový. Z toho vyplývá, že naftu již není možné použít jako palivo pro tento motor. Další komplikací je změna kompresního poměru, který je pro LPG výrazně nižší než je tomu pro naftu. Tohoto snížení se dosahuje úpravou pístů obrobením, což je ovšem velký a nákladný zásah do motoru. S tím souvisí i nutnost upravit hlavy válců, kdy vstříkovací trysky jsou nahrazeny zapalovacími svíčkami [1]. Všemi těmito úpravami se přestavba stává velmi finančně náročnou a díky ztrátě možnosti použití nafty jako paliva silně nevýhodnou.

3.2. Hledisko ekonomické

Jedním z nejdůležitějších důvodů pro použití LPG jako motorového paliva je jeho dopad na ekonomiku provozu vozidla. Spotřeba vozidla na LPG je sice mírně vyšší

v orovnění se spotřebou benzínu, avšak při porovnání současných cen LPG a benzínu, kdy cena litru LPG je zhruba poloviční než cena litru benzínu, je použití LPG ekonomičtější. Toto však platí pouze za předpokladu, že automobil bude dostatečně často využíván (při najetí pouze minimálního počtu kilometrů ročně, bude mít přestavba spíše negativní ekonomický význam).

Současně je z ekonomického hlediska je důležitý režim provozu vozidla. Při krátkých trasách (např. v městském provozu) u systémů s přepínáním dle teploty motoru se totiž často motor nestihne zahřát na teplotu potřebnou k přepnutí na LPG. Motor v těchto podmínkách tedy jezdí častěji na benzín než na LPG a tím se ztrácí ekonomický význam přestavby. Proto jsou vhodnější spíše delší trasy.

4. Přestavba vozidla

Historie automobilů na plynový pohon se traduje přibližně od roku 1930. První pokusy provedli Angličané a Francouzi, kdy k pohonu svých automobilů používali stlačený svítiplyn. V tehdejším Československu, se svítiplyn začal používat jen o něco málo později. K prudkému rozšíření přestaveb vozidel s pohonem na plyn došlo za druhé světové války, kdy nastal nedostatek benzínu. Rozvoj pokračoval i po válce, bohužel jen do padesátých let, kdy byl plyn jako pohonná směs pro motorová vozidla na dlouhou dobu zakázán. Teprve až po sametové revoluci v roce 1989 bylo opět povoleno přestavovat automobily na plynový pohon, ale jen při splnění předpisů daných vyhláškou EHK 67. V ní se píše, že je možno použít pouze homologovaných zařízení, která musí projít zkouškami ve státní zkušebně (u nás Ústav pro výzkum motorových vozidel).

4.1. Přestavby motorových vozidel

Podle zákona č. 38/1995 Sb. a podle prováděcí vyhlášky Ministerstva dopravy České republiky (dále jen MD ČR) č. 102/1995 Sb. je možné provádět dva způsoby přestaveb motorových vozidel. Jsou to hromadná přestavba a individuální přestavba [3].

4.1.1. Hromadná přestavba

Hromadná přestavba představuje přestavbu jednotlivých vozidel určité značky a určitého typu. Při této přestavbě musí počet shodného provedení určeného pro obchodní účely v průběhu dvanácti po sobě následujících kalendářních měsíců dosáhnout šest nebo více kusů. Přestavbu schvaluje MD ČR na základě žádosti dodané výrobcem zařízení (v případě zahraničního výrobce jeho pověřeným zástupcem v České republice). Když jsou všechny náležitosti splněny, vydá MD ČR výrobcovi Osvědčení a rozhodnutí pak dokládá, že hromadná přestavba je povolena. Na základě těchto dokumentů pak smí jejich držitel provádět přestavby vozidel a vydávat jim náležití doklady, podle kterých registr vozidel dopravního odboru (dále je DO), u něž je dané vozidlo registrováno, zapíše změnu (do pěti dnů od ukončení přestavby) na základě požadavku majitele vozidla do technického průkazu a OTP vozidla.

Tento druh přestavby je pro zákazníka tím nejlepším krokem, jak si zajistit spolehlivě fungující systém. Celé zařízení je pečlivě odzkoušené, homologované a veškerá odpovědnost za všechny vzniklé vady a nedostatky pak leží na organizaci, která samotnou přestavbu uskutečnila [3].

4.1.2. Individuální přestavba

V tomto případě přestavby je schvalovací proces značně komplikovaný. Jedná se například o vozidla, jejichž značka a typ nemají v České republice homologaci pro hromadnou přestavbu na pohon LPG. Povinností majitele vozidla je předem zažádat u DO, u kterého má vozidlo přihlášené. DO následně rozhodne o vydání povolení, v němž jsou dány podmínky, za jakých je přestavbu možné provést.

Jelikož je přestavba technicky i právně složitá, musí ji zajišťovat odborná dílna, která k tomu má všechna nutná povolení a osvědčení. Vozidla přestavovaná individuálně se dělí do dvou skupin podle podmínek splňujících vyhlášku č. 102/1995 Sb. a Metodiku MD ČR. Jsou to jednak vozidla vybavená karburátorovým motorem a pak také vozidla vybavená řízeným katalyzátorem, přitom všechna tato vozidla musí splňovat všechny jim předepsané limity a předpisy. Z toho je jasné, že

individuální přestavba je značně administrativně i technicky náročná a je zapotřebí s tím před rozhodnutím o přestavbě počítat[3].

4.2. Technická řešení systémů pro alternativní pohon LPG

Na úvod je pro ilustraci uveden v tabulce seznam výrobců plynových zařízení, se kterými je možno u nás setkat. U nás se nejvíce vyskytuje italský systém Lovato, na který je přestaveno okolo 70 % všech automobilů na pohon LPG.[1].

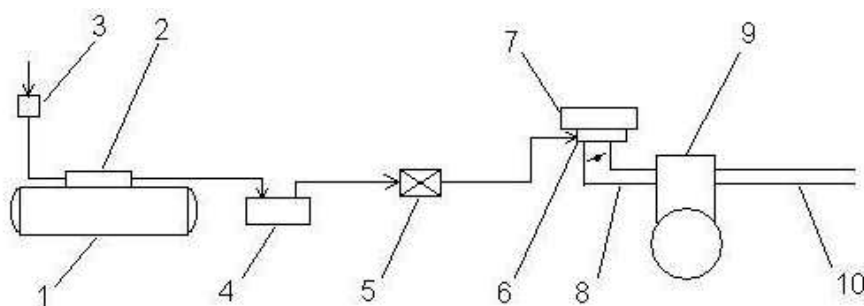
tabulka 2 - Výrobci zařízení pro alternativní pohon LPG (upraveno z [3])

Značka	Výrobce	Země
BRC	BRC S. p. A.	Itálie
Vialle-Landi Hartog	Vialle B. V. Ekkersrijt 4106	Holandsko
LOVATO	Lovato S. p. A.	Itálie
Star Gas	Star Gas S. R. L.	Itálie

Samotná řešení se po technické stránce od sebe příliš neliší, koncepčně i konstrukčně jsou si podobná. Na následujících obrázcích jsou vidět schémata systémů rozdělená podle toho, jak je provedena u konkrétního vozidla tvorba směsi (následující systémy dle [6]).

4.2.1. Systém s centrálním směšovačem

Používá se u starších vozidel s karburátorem, s jednobodovým nebo vícebodovým vstřikováním bez katalyzátoru. Hlavním prvkem je centrální směšovač, ve kterém se mísí plyn se vzduchem a vzniklá směs se nasává přes sací ventily do spalovacího prostoru motoru. Bohatost směsi se reguluje škrtícím šroubem, který se nachází v plynové hadici před směšovačem. Velkou výhodou tohoto systému je jeho nízká cena (začíná na cca 10.000 Kč). Pro vozidla se vstřikováním paliva je nutné doplnit systém o řídicí jednotku, která ale značně zvyšuje cenu systému. Nevýhodou tohoto systému oproti modernějším systémům jsou nižší výkon a vyšší spotřeba (díky tvorbě směsi). V současné době se montují jen velice málo, protože se již výhradně vyrábí vozidla s moderní tvorbou směsi.



obrázek 1 - Schéma uspořádání prvků zařízení pro alternativní pohon zážehového motoru na LPG (automobil s karburátorovým motorem bez řízeného katalyzátoru výfukových plynů) (převzato z [3])

1 – tlaková nádrž na LPG, 2 – příslušenství nádrže (tlakoměr, ventily a plynotěsná schránka), 3 – plnicí hrdlo přípojky dálkového plnění, 4 – regulátor tlaku, 5 – škrticí prvek, 6 – směšovač, 7 – čistěč vzduchu, 8 – karburátor a sací potrubí, 9 – motor, 10 – výfukové potrubí

4.2.2. Systém s centrálním směšovačem řízený lambda sondou

Je vhodný pro stejná vozidla jako předchozí systém a pracuje i na podobném principu. Rozdíl je jen v tom, že dávkování paliva je řízeno lambda sondou. Tím je dosaženo lepších výkonových parametrů a nižší spotřeby než u systému bez lambda sondy. Zároveň vozidla splňují přísnější emisní normy.

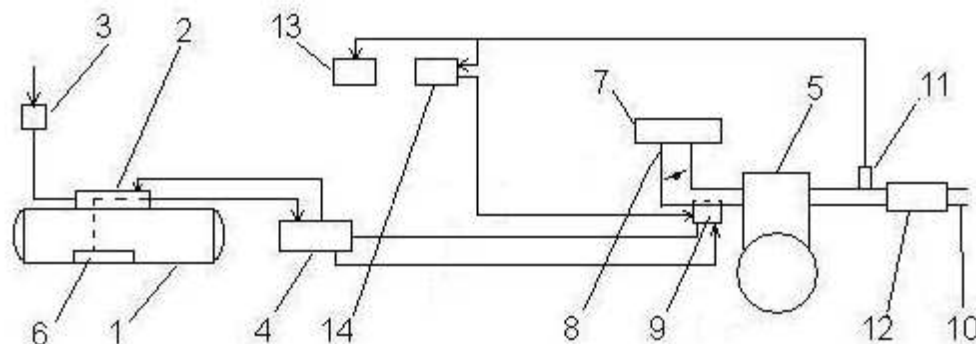
4.2.3. Systém kontinuálního vstřikování

Tento typ systému se montuje do vozidel s jednobodovým nebo vícebodovým vstřikováním paliva, s třícístečným katalyzátorem a s lambda sondou. Zařízení pracuje na podobném principu jako zařízení pro vstřikování benzínu, kde se palivo přivádí do každého válce zvlášť (řízení lambda sondou). Díky lepšímu dávkování paliva, které obstarává servomotor ovládaný přidanou plynovou řídicí jednotkou (na základě informací získaných ze snímačů umístěných na motoru upravuje směs plynu se vzduchem), se zvyšuje výkon motoru a snižuje spotřeba oproti předešlému systému s centrálním směšovačem.

4.2.4. Sekvenční vstřikování LPG

Sekvenční vstřikování paliva je v současnosti nejpoužívanějším systémem, který se instaluje do nejnovějších automobilů. Palivo je stejně jako u kontinuálního

vstřikování dodáváno do každého válce zvlášť, ale navíc je palivo pomocí elektronicky ovládaných trysek velmi přesně dávkováno. Dávkování řídí benzínová řídicí jednotka, která poskytuje informace plynové řídicí jednotce o délce vstřiku (systém bez řízení lambda sondou). Tím se dosahuje hodnot výkonu motoru a spotřeby paliva při jízdě na plyn přibližujících se hodnotám při jízdě na benzín.



obrázek 2 - Schéma uspořádání prvků zařízení pro alternativní pohon zážehového motoru na LPG (automobil s řízeným katalyzátorem výfukových plynů a vstřikováním paliva) (převzato z [3])

1 – tlaková nádrž na LPG, 2 – příslušenství nádrže (tlakoměr, ventily a plynotěsná schránka), 3 – plnicí hrdlo přípojky dálkového plnění, 4 – regulátor tlaku, 5 – motor, 6 – čerpadlo LPG, 7 – čistič vzduchu, 8 – sací potrubí, 9 – vstřikovač LPG, 10 – výfukové potrubí, 11 – lambda sonda, 12 – trojčinný katalyzátor, 13 – řídicí jednotka pro benzinový pohon, 14 – řídicí jednotka pro pohon LPG

4.2.5. Systém sekvenčního vstřikování pro motory FSI (TSI)

Používá se pro vozidla s přímým vstřikováním benzínu. LPG je opět dávkováno pro každý válec zvlášť a navíc je každý osmý vstřik do válce benzínový. Řízeno je to benzínovou řídicí jednotkou, která předává údaje plynové řídicí jednotce. U tohoto systému se spotřebává spolu s LPG i benzín podle způsobu jízdy. Přívstřik benzínu je v poměru 30/70 a při sportovní jízdě se může poměr zcela obrátit.

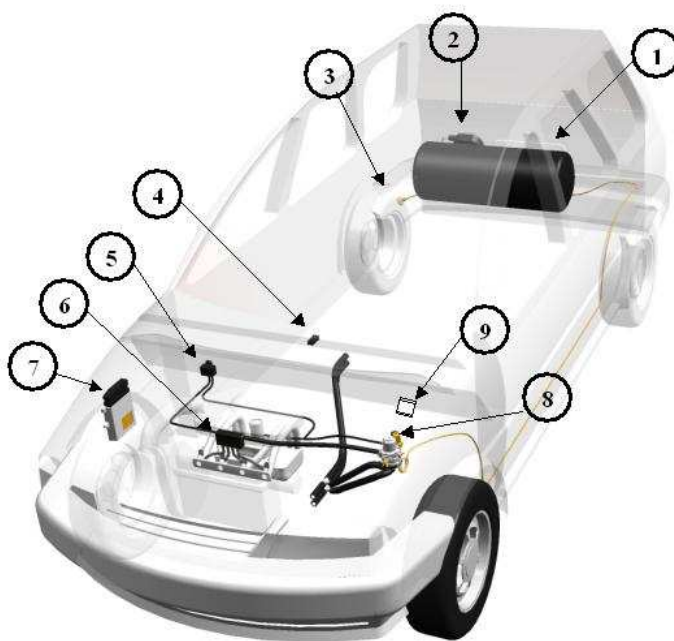
4.2.6. Systém sekvenčního vstřikování kapalné fáze – Lpi

Tento systém se od předchozího systému sekvenčního vstřikování liší tím, že je

do válců vstřikována kapalná fáze plynu. Stejně jako v předchozím případě je vstřikování řízeno benzinovou řídicí jednotkou, která předává údaje plynové řídicí jednotce. Další rozdíl je v tom, že zde není potřeba vyhřívat regulátor vodou z motoru. Tento systém je v současnosti cenově ještě výše než sekvenční vstřikování plynné fáze.

4.3. Prvky systému sekvenčního vstřikování LPG

System sekvenčního vstřikování je typu multipoint (vícebodový) sekvenční fázový, který řídí elektronická řídicí jednotka. Jednotka zajišťuje a kontroluje pořadí a časy vstřikování plynu, přičemž se plyn pomocí vstřikovačů vstřikuje v plynné fázi přímo do sacího potrubí motoru. Tím se dosahuje velmi přesného dávkování paliva a také lepšího spalování než jak je tomu u starších systémů. Na obrázku 3 je vidět rozmístění jednotlivých prvků na vozidle.



obrázek 3 - Schema rozmístění komponent (převzato z [8])

1 - Nádrž na LPG, 2 - Multiventil s pojišťovacím ventilem, 3 - Plnicí koncovka LPG, 4 – Přepínač, 5 - Měřič tlaku, 6 – Vstřikovače, 7 - Elektronická řídicí jednotka systému sekvenčního vstřikování LPG, 8 - Reduktor/Regulátor tlaku, 9 – Pojistky

4.3.1. Plnicí koncovka

Plnicí koncovka LPG je zařízení umožňující naplnění LPG do nádrže; má zpětný ventil (kuličku), který zamezuje zpětnému toku plynu. Existují dva typy koncovek rozlišené podle toho, zda se jedná o koncovku holandského nebo italského systému. U holandského systému se plnicí hubice nasazuje a upevňuje na koncovku pomocí krátkého pootočení v závit, kdežto u italského systému zapadají zajišťovací páčky do vybrání v koncovce. Od koncovky k nádrži (přesněji řečeno k ventilu na nádrži) je plyn veden měděnou trubičkou o průměru 8 mm, která se ještě z bezpečnostních důvodů přetahuje hadičkou (kdyby došlo k poškození trubičky, aby plyn neunikal přímo do protoru pro posádku vozidla).



obrázek 4 - Plnicí koncovka italského systému (převzato z [6])

4.3.2. Tlaková nádrž

Tlakové nádrže na LPG jsou válcového tvaru nebo mohou být toroidní a umísťují se místo rezervního kola (obrázek 5). Válcové nádrže se vyrábí z kvalitních ocelí, a to nejčastěji ze tří částí – ze dvou dnů a jednoho pláště. Části se spojují kontinuálním obloukovým svářením pod tavidlem. Každou nádrž je nutné vyzkoušet tlakovou vodní zkouškou na přetlak 3 MPa. Za působení tohoto tlaku po dobu jedné minuty nesmí dojít k výskytu vypuklin, výpotků, úbytků, trhlin nebo táhnutí. Z celé sady zkoušených nádrží se jedna vybere a provede se na ní vodní tlaková zkouška, prodloužená až do destrukce (tzv. zkouška na výbuch). Velmi důležité je také upevnění nádrže, které podléhá homologaci. Musí zabezpečit upevnění nádrže při

zrychlení 20 g v podélném směru a do 8 g v příčném směru při případné havárii vozidla. Na tlakové nádrže se umísťuje multiventil [3].

4.3.3. Multiventil

Na nádrži je namontován multiventil, který mimo jiné určuje její polohu (je odkloněn o 30° od vodorovné plochy proložené osou nádrže). Součástmi multiventilu jsou stavoznak a plynotěsná schránka. Multiventil obstarává následující základní funkce:

- provozní - odebírá plyn z nádrže. Zabezpečuje plnění nádrže pouze do 80% jejího objemu a slouží také jako ukazatel stavu paliva v nádrži (tzv. stavoznak)
- bezpečnostní - objeví-li se porucha potrubí, zastavuje tok paliva a brání úplnému a náhlému úniku LPG z nádrže. Při zvýšení tlaku nad 2,5 MPa nebo při zvýšení teploty vypouští plyn pod vozidlo. Plynotěsná schránka odděluje hermeticky všechny části multiventilu od kabiny karosérie (odpouští se přes ní plyn při přetlaku).



obrázek 5 – Toroidní tlaková nádrž a detail multiventilu

Multiventil v této kompaktní variantě se používá u italského systému. Holandského systém se odlišuje tím, že jednotlivé funkce multiventilu zde zajišťují jednotlivé prvky, které jsou od sebe odděleny. Plyn je přiváděn od plnicí koncovky

hadičkou o průměru 12 mm do plnicího a uzavíracího ventilu. Ten zajišťuje plnění nádrže jen na 80% a uzavírá také nádrž při jízdě na benzín nebo při vypnutém zapalování. Samostatně jsou u toho systému i stavoznak, který může být elektromagnetický, a pojišťovací ventil. Ten je nastaven na 15,6 bar a v případě překročení tlaku vypouští plyn pod vozidlo. Na výstupu z nádrže je pak ještě jeden elektromagnetický ventil [8].

Od nádrže až do motorového prostoru je plyn veden v měděné trubičce o průměru 6 mm. Aby se minimalizovala možnost úniku plynu, montuje se trubička v celku a nikde se nespojuje. Trubička se nesmí vést blízko výfukového potrubí, kde by docházelo k tepelnému působení. Rovněž se nevede na exponovaných místech, kde by mohlo dojít k přímému poškození, a proto se nejčastěji umísťuje na straně vozidla pod prahem, kde je dostatečně chráněna.

Za trubičkou následuje další elektromagnetický ventil, u kterého je umístěn plynový filtr. Ten zachytává případné nečistoty z nádrže.

4.3.4. Přepínací modul

Přepínací modul (přepínač) umožňuje snadné přepínání pohonné hmoty, kterou zvolí řidič (benzín nebo LPG). Nejčastěji se umísťuje na palubní desku vozidla v zorném poli řidiče (obrázek 6). Skládá se z přepínače a z LED diod, které signalizují provoz buď na benzín nebo na LPG. V současnosti se přepínače osazují LED diodami, které signalizují také stav hladiny paliva v nádrži. Existují dvě možná provedení přepínače. Může být ve verzi akcelerační – přepíná se při zvyšování otáček motoru pod zátěží a nebo decelerační – při předem daných otáčkách motoru dojde k přepnutí na LPG, ale děje se to až v momentě jejich poklesu - bez zátěže motoru. Výhodnější je decelerační provedení z důvodu toho, že při akceleraci a při použití akceleračního přepínače může docházet k cuknutí v okamžiku přenutí.



obrázek 6 - Přepínací modul na palubní desce vozidla

4.3.5. Měřič tlaku

Měřič tlaku informuje plynovou řídicí jednotku o rozdílu tlaku, který je mezi plynovými vstřikovači a sacím potrubím. V závislosti na rozdílu tlaku pak řídicí jednotka nastavuje vstřikovače. Doporučuje se montáž měřiče tlaku s tryskami otočenými směrem dolů, jako na obrázku.

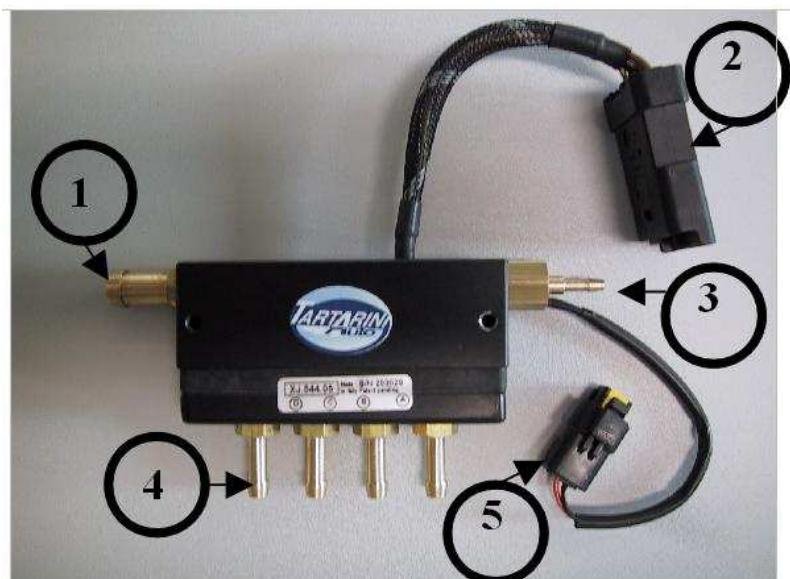


obrázek 7 – Měřič tlaku (převzato z [8])

4.3.6. Vstřikovače

Vstřikovač je zařízení, které slouží k dávkování požadovaného množství paliva pro každý válec motoru. Řízení je zajišťováno elektronickou řídicí jednotkou pro

plynový systém (tzv. plynová řídicí jednotka).



obrázek 8 – Vstříkovač (převzato z [8])

1 – vstup plynu, 2 – elektronický konektor, 3 – přípojka pro měřič tlaku, 4 – kalibrované trysky pro vývod plynu do sacího potrubí, 5 – konektor pro teplotní čidlo plynu

Doporučuje se instalovat vstříkovače co možná nejbližší k tryskám tak, aby se dosahovalo co nejkratších spojovacích plynových hadiček. Vše ovšem se zřetelem na velikost prostoru v motoru. Sací potrubí je nutné provrtat ve vzdálenosti přibližně 3-15 cm od hlavy motoru, aby bylo možné nainstalovat trysky vystřikování. U víceventilových motorů je doporučováno umístit trysky na místě, které je vzhledem ke vstříkovačům benzínu umístěno dál. Tím je zajištěna tvorba homogenní směsi v sacím potrubí.

Velmi důležitý je štítek s písmeny A, B, C, D (platí pro čtyřválcové motory), který je nalepen na tělese vstříkovače. Písmena určují směr montáže vstříkovačů a každé je přiřazeno jednotilému válci [8].

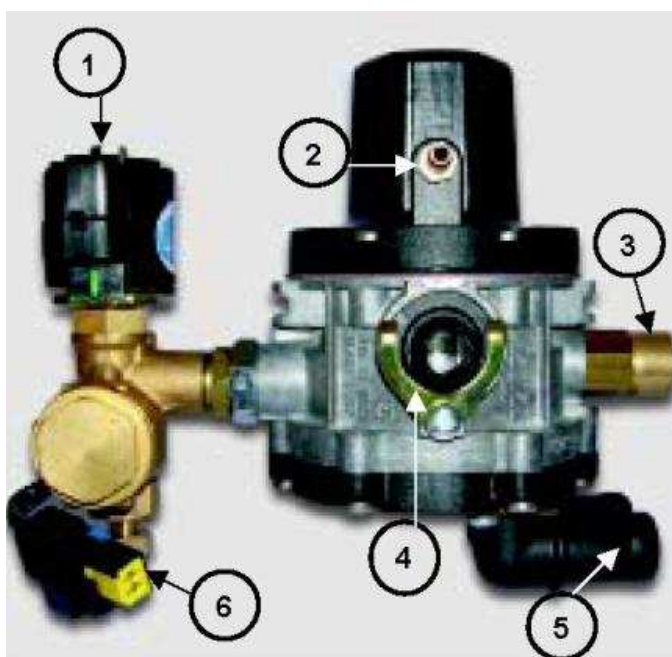
Existuje několik typů trysek, které jsou výměnné. Správný typ trysky se určuje podle velikosti zdvihového objemu a výkonu motoru.

4.3.7. Elektronická řídicí jednotka sekvenčního vstřikování

Elektronická řídicí jednotka je schopna po získání potřebných signálů korigovat množství plynu a zachovat ho v perfektním stechiometrickém poměru, aby se zlepšily jak spotřeba, tak i výkon. Technické řešení si chrání výrobci, proto se řídicí jednotky objednávají přímo u výrobce nastavené na požadované parametry konkrétního vozidla.

4.3.8. Regulátor tlaku – reduktor

Reduktor slouží ke snižování tlaku plynu, který se nachází v nádrži, na tlak provozní. Pro vstřikovače se tlak snižuje na stálou hodnotu 1 bar. Dále také dochází v regulátoru ke změně skupenství plynu z kapalného (v nádrži) na plynné. Při změně fáze z kapalně na plynnou se pochopitelně snižuje teplota plynu. Úbytku tepla se zabráňuje tím, že se výparník připojuje na chladicí soustavu motoru a je vyhříván cirkulující chladicí kapalinou v hadicích. Součástí regulátoru je také elektroventil.



obrázek 9 - Regulátor tlaku (převzato z [8])

1 – elektroventil s filtrem pro kompetní zachycení nečistot, 2 – vývod pro podtlak, 3 – vývod pro podtlak, 4 – kolínko plyn, 5 – kolínko voda pro ohřev, 6 – konektor teplotního čidla

Provozní elektromagnetický ventil LPG se stará o uzavírání plynového systému při provozu na benzin nebo při vypnutí zapalování. Pokud je pod napětím, je otevřený a může jím proházet plyn. Provozní ventil se instaluje mezi nádrž a regulátor a obsahuje filtr, který zabraňuje vniknutí mechanických nečistot do regulátoru [8].

5. Měření výkonu motoru

Měření bylo provedeno na válcovém výkonovém dynamometru pro osobní automobily Power tester 2PT220. Jedná se o přesné měřicí zařízení, které je schopno měřit nejen výkon motoru, ale i jiné veličiny dvoustopých motorových vozidel. Elektrický dynamometr obsahuje programovatelný regulátor, který je řízen počítačem. Je proto možné měřit jednak měření výkonu při stálém zatížení (např. simulace jízdy maximální rychlostí – tzv. statické měření), ale také zjišťovat výkon během akcelerace (tzv. dynamické měření). Zařízení je schopno provádět i další zkoušky vozidel jako například testování činnosti systému ABS. Jak je vidět z tabulky 3, je možno provádět statická měření do výkonu 220 kW a dynamická měření do 300 kW. Maximální povolená rychlost na dynamometru je pak 200 km/h.

tabulka 3 - Parametry zařízení Power tester 2PT220 (převzato z [4])

Základní parametry zařízení POWER TESTER 2PT220	
Výkonové parametry:	
a) max. výkon na hnací nápravě (trvale absorbovaný el. dynamometrem)	220 kW/200 km/h
b) max. výkon na hnací nápravě (přidynamických měřeních výkonu)	300 kW
Maximální povolená rychlost jízdy	200 km/h
Maximální zatížení válců	1200 kg
Min. vnější průměr kola	520 mm
Max. vnější průměr kola	700 mm
Min. vnitřní šířka hnací nápravy	880 mm
Max. vnitřní šířka hnací nápravy	2080 mm
Typ zvedače	mechanický, el. pohon, ruční obousměrné ovládání
Max. zdvih zvedače	cca 85 mm
Max. zvedací síla zvedače	15 kN
Ventilátor chladičho vzduchu	radiální jednostupňový, RNH 250, ruční ovládání
Rychlost chladičho vzduchu	25 m/s

Díky programovému vybavení válcového dynamometru ho lze využít ve třech úrovních:

- První úroveň – možnost rychlého měření výkonu, kdy je dynamometr elektricky odpojen a k měření je využito setrvačných hmot měřicího zařízení. Nejčastěji se této úrovni používá pro rychlé diagnostikování výkonu motoru.
- Druhá úroveň - dynamometr je elektricky spuštěn a umožňuje podrobné měření průběhu výkonu motoru. Výkonová křivka je zaznamenávána velmi podrobně a díky tomu lze postřehnout výkonové propady i ve velmi úzkém pásmu otáček motoru. Motor lze také dlouhodobě zatěžovat při daném provozním režimu, čehož lze využít při měření emisí pomocí motorového testeru.
- Třetí úroveň – používá se pro vývojová měření (tzv. tuning). Jedná se vlastně o kombinaci dvou předešlých úrovní, kdy lze měřit výkon pomocí účinků setrvačných hmot a elektrického dynamometru při předem zvolených podmínkách (např. velikost akcelerace).

Jak bylo uvedeno výše, je zařízení Power tester 2PT220 univerzální a lze jím měřit různé druhy výkonů. Kromě již zmíněných dynamických a statických měření na hnací nápravě lze dále měřit např. průběh výkonu a točivého momentu na klikovém hřídeli motoru, zjišťování ztrátového výkonu, dlouhodobé měření výkonu při zvolené jízdní rychlosti, simulace jízdních odporů a měření tažné síly.[4]



obrázek 10 - Válcový dynamometr 2PT220

Celé měřicí zařízení se sestává ze dvou hlavních částí. První částí je šasi válcového dynamometru a druhou je ovládací panel. Ovládací panel obsahuje počítač, který ovládá veškeré funkce celého zařízení. Ovládací panel je umístěn na vhodném místě blízko šasi dynamometru a je opatřen monitorem a externí klávesnicí, díky čemuž může řidič provádějící měření ovládat panel přímo z vozidla. Spojení panelu s dynamometrem je provedeno pomocí kabelů, které jsou vedeny v podlaze zkušebny. Jejich maximální délka nesmí přesahovat 3 m.



obrázek 11 - Ovládací panel (stůl) měřicího zařízení

Šasi válcového dynamometru je umístěno v dutině v podlaze a je položeno na pryžových pásech 5 –10 mm silných. Šasi se skládá z těchto hlavních částí [4]:

- Rám – jsou na něm nainstalovány všechny ostatní části a připevňuje se na něj krytování.
- Elektrický dynamometr – je založen na principu vířivých proudů. Má výkyvně uložený stator a dva rotorové disky s chladicími žebry. Chlazení dynamometru se provádí vzduchem a je navržen tak, že nedochází k jeho přehřívání ani při dlouhodobějším měření. Hřídele dynamometru jsou uloženy ve valivých ložiskách s trvalou tukovou náplní.
- Snímač otáček – je uložen na samostatném držáku a pomocí pružné spojky spojen s dynamometrem. Poloha snímače je nastavena přímo od výrobce a umožňuje měřit okamžité otáčky velmi přesně.
- Válce – mají průměr 370 mm a šířku 600 mm. Jejich povrch je speciálně upraven a dosahuje se tím minimálního opotřebení pneumatik a vysokého součinitele adheze mezi pneumatikou a válcem. Ve středu válce je vyfrézována drážka, která účinně odvádí nečistoty z válců.
- Snímač točivého momentu – jedná se o přesný tenzometrický snímač síly. Přes vyklápěcí ložiska je uložen mezi výkyvný stator dynamometru a závěs na rámu. Snímač je velmi citlivý a vyžaduje přesné seřízení.

5.1. Měřené vozidlo

Měřeným vozidlem je Škoda Fabia s čtyřválcovým zážehovým motorem s vícebodovým vstřikováním a s přestavbou na LPG se sekvenčním vstřikováním o zdvihovém objemu 1.4 litru (1.4 MPI). Maximální výkon 50 kW při otáčkách 5000 min⁻¹ a maximálním točivým momentem 120 Nm při otáčkách 2500 min⁻¹ [9]. Hnací moment je na kola automobilu přenášen pomocí manuálního převodového agregátu s pěti dopřednými rychlostními stupni a jedním zpětným rychlostním stupněm.

Veškeré základní parametry vozidla jsou uvedeny v tabulce 4.

tabulka 4 - Parametry vozu Škoda Fabia 1,4 MPI (převzato z [9])

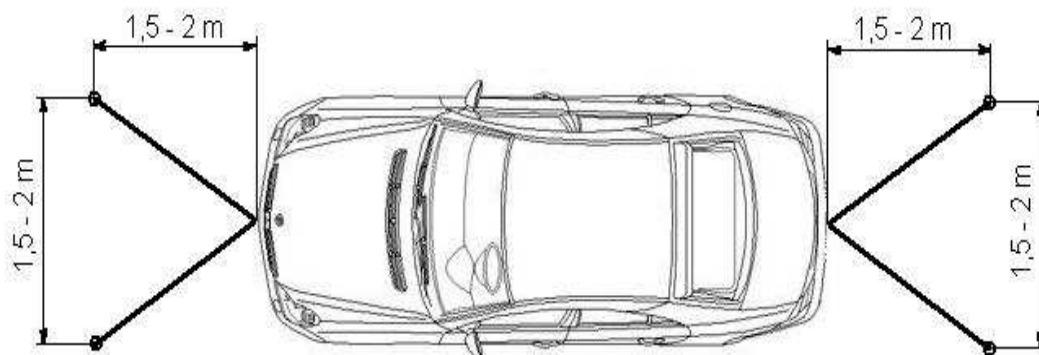
Zdvihový objem [cm ³]	1397
Maximální výkon [kW/min ⁻¹]	50/5000
Maximální kroutící moment [N.m/ min ⁻¹]	120/2500
Pohotovostní hmotnost [kg]	1110
Celková hmotnost [kg]	1625
Rozměr pneumatik	165/70 R14
Dynamický poloměr kola [m]	0,28
Mechanická účinnost η_m	0,9

5.2. Příprava vozidla na měření

Předtím než začne samotné měření je třeba splnit několik důležitých podmínek, které zajistí bezpečnost lidí pohybujících se v okolí měřicího zařízení a které zaručí správnost měření. Na vozidle smějí být namontovány pouze pneumatiky předepsané výrobcem a před měřením se kontroluje jejich správná montáž na nápravě. Pneumatiky nesmějí být poškozené, nesmí být nepřiměřeně opotřebené, na obou stranách testované nápravy musí být shodné typy pneumatik a nelze použít pro měření pneumatiky protektorované nebo pneumatiky se zimním vzorkem.

Na válce dynamometru je zapotřebí najíždět pomalu tak, aby bylo možné kontrolovat, zda je podélná osa vozidla kolmo na osy válců dynamometru. Po najetí je spuštěn zvedač dolů a vozidlo se ustaví na válcích. Přitom vzdálenost podvozku vozidla od podlahy zkušebny musí být minimálně 4 cm. Aby nedošlo k náhlému vyjetí vozidla z válců, je nutné ho jistit při měření výkonů pomocí předepsaných úvazů. Pro vozidlo s poháněnou přední nápravou musí být vozidlo upevněno vpředu dvojitým V-úvazem (rozevření ramen 60 – 90°) se dvěma samostatnými bočními lany, které jsou na vozidlo zavěšeny na předním tažném úchyty. Vzadu je vozidlo upevněno jedním úvazem připojeným na na zadní tažný úchyt vozidla. Každý úvaz má vlastní napínací ústrojí a jejich utahování se provádí po ustavení vozidla do

měřicí polohy. Umístění kotvících prvků ve zkušebně je vidět na obrázku 12.



obrázek 12 - Upevnění vozidla při měření (převzato z [8])

Před vozidlo se umístí ventilátor a otevře se kapota, tak aby mohl vzduch proudit motorovým prostorem a nedošlo k přehřátí motoru. Před samotným spuštěním motoru je nutné na koncovku výfuku nasadit a zapnout odsávací zařízení, aby nedocházelo k nadměrnému hromadění spalin v prostorách zkušebny.. Při měření musí být ve vozidle řidič, který je předem o průběhu měření náležitě poučen a proškolen [4].



obrázek 13 - Odsávací zařízení a ventilátor

5.3. Příprava testeru a obsluhy na měření

Měření smí provádět pouze řádně a prokazatelně poučená osoba. Z důvodu

bezpečnosti musí být za chodu motoru a během celé zkoušky minimálně dvě osoby, přičemž volně se smí pohybovat pouze osoba ovládající tester. Otáčí-li se válce dynamometru nesmí se nikdo pohybovat před a za vozidlem a na boční straně musí udržovat odstup minimálně 1 m od půdorysu vozidla. Maximální přípustná rychlost testeru je 200 km/h a při takto vysokých rychlostech je velké nebezpečí odlétávání předmětů od pneumatik (kamínky, zbytky dezénu, apod.). Při měření se výrazně zvyšuje hladina hluku, je proto doporučeno používat při dlouhodobé manipulaci protihlukové ochranné pomůcky. Obsluha musí být také seznámena s barevnou výstražnou signalizací, která se zobrazuje přes monitor na ovládacím panelu (zelená – měření lze provádět, červená – okamžité ukončení měření). Velmi důležité z hlediska bezpečnosti je domluva všech účastníků měření o varovném signálu („Nebezpečí – zastav motor“) tak, aby při neočekávané situaci (poruše) nedošlo ke zranění osob.

Zařízení je povoleno používat pouze s nasazenými a řádně připevněnými ochrannými kryty (v případě odkrytování musí být zařízení odpojeno ze sítě). Přístroj je nutné chránit před přímým deštěm a před příliš vysokou vlhkostí. V případě výskytu vibrací vozidla se musí měření neprodleně ukončit a příčina se musí vyšetřit. Možnými příčinami můžou být například nevyváženost kola, poškození pneumatiky nebo porucha uložení kola [4].

5.4. Postup měření

Měření se zahájí zapnutím hlavního vypínače umístěném na ovládacím panelu. Podle bezpečnostních předpisů se zkontroluje vozidlo a pomalu se s ním najede na válce, kdy zvedač se nachází v horní poloze. Zvedač se spustí do spodní polohy a pomalým pojezdem se vozidlo ustaví do pozice pro měření. Nasadí se V-úvazy a pačlivě se napnou, u pohonu přední nápravy (případ Škody Fabia) se zatáhne ruční brzda. Před vozidlo se přistaví chladicí ventilátor a otevře se kapota automobilu tak, aby mohl proudit vzduch motorovým prostorem. Na výfukové potrubí se nasadí odsavač spalin a provede se kontrolní spuštění motoru (přibližně 2 min se nechá motor běžet na válci bez měření, kdy se motor zahřeje a stabilizuje se dynamometr)

[4]. V tomto okamžiku je vše připraveno k měření.

5.4.1. Statické měření výkonu

Jedná se o nejtypičtější měření výkonu, které je možné provádět na zařízení Power tester. Při tomto druhu měření lze kontrolovat správnost měřených veličin tzv. cejchováním. Na počátku je třeba zadat několik informací, a to označení motoru, zdvihový objem a celkový převodový poměr. U převodového poměru je důležité, aby bylo měření provedeno na převodový stupeň, pro který byl celkový převodový poměr zadán. Volí se takový převodový stupeň, aby při dosažení maximálních otáček nedošlo k překročení maximální rychlosti. Dále se zadají počáteční a konečné otáčky pro určení rozsahu měření a také počet bodů, v nichž bude výkon změřen.

Při samotném měření je motor nejdříve udržován pod zvolenými počátečními otáčkami, po startu (signalizace pro řidiče zelenou barvou) řidič plně seslápne pedál plynu, řízení přebírá počítač dynamometru. Motor je následně pomocí regulátoru brzdy stabilizován v daných otáčkách a je provedeno odečtení hodnoty výkonu. Poté řidič uvolní pedál plynu a stejným způsobem se provedou další zvolené otáčkové body až do zvolených konečných otáček. Poté je měření ukončeno a měřicí počítač vyhodnotí zaznamenané hodnoty a vytiskne graf.

5.4.2. Dynamické měření výkonu

Při dynamickém měření se zaznamenává výkon během akcelerace vozidla. Na Power testeru je možné provádět dva druhy dynamického měření, kdy se ztrátový výkon určuje buď výpočtem a nebo měřením. Při měření ztrátového výkonu řidič plně sešlápne plynový pedál a nechá vozidlo akcelarovat. Po dosažení maximálních otáček řidič ubere plyn, sešlápne spojku a vyřadí rychlost. Při volné deceleraci dochází k měření ztrátového výkonu.

Při dynamickém měření se zadávají stejné hodnoty parametrů jako u měření statického (zdvihový objem, převodový poměr, počáteční a konečné otáčky, atd.). Na rozdíl od statického měření jsou během akcelerace odečítány okamžité otáčky dynamometru a z průběhu je potom vyčíslena hodnota dynamického výkonu [4].

Výsledky měření jsou okamžitě zaznamenávány monitoru na ovládacím panelu a lze je opět vytisknout.

6. Zhodnocení výsledků

Při měření byl zaznamenáván jak výkon motoru, tak i moment motoru. Bylo provedeno dynamické měření, a to vždy nejprve v provozu na benzín a pak v provozu na LPG. Klimatické podmínky, za kterých bylo prováděno měření, byly následující: teplota vzduchu byla 20°C, atmosférický tlak 99,9 kPa a vlhkost vzduchu byla 45%. Kompletní záznamy z měření jsou v příloze A.

6.1. Výkon motoru při dynamickém měření

Výsledky měření jsem zpracovával v programu Microsoft Excel 2000. Výkonovou křivku pro benzín a výkonovou křivku pro LPG jsem spojil do grafu č. 1. Do tohoto grafu jsem ještě doplnil rozdílovou křivku obou výkonů motoru v procentech. Percentuální rozdíly jsem stanovil dle vzorce:

$$\Delta P = \frac{P_{LPG} - P_{benzín}}{P_{LPG}} \cdot 100[\%] \quad , \text{ kde}$$

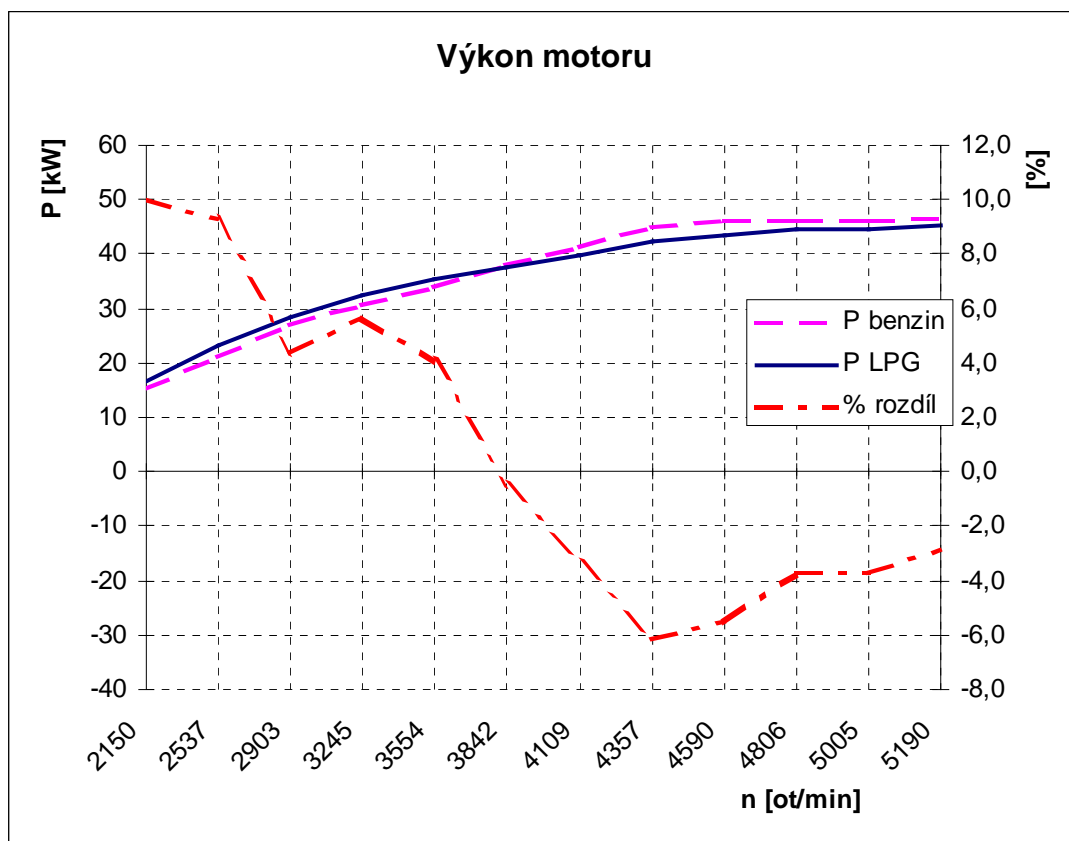
ΔProzdíl výkonů v procentech,

P_{LPG}výkon při provozu na LPG,

$P_{benzín}$výkon při provozu na benzín.

Ze sestrojeného grafu a rozdílové křivky pro dynamické měření vyplývá, že výkon motoru při provozu na LPG je přibližně do otáček motoru 3800 min⁻¹ vyšší, a to v průměru o 5% (maximální hodnota rozdílu je v počátečních měřených otáčkách cca 2150 min⁻¹). Po překročení těchto otáček se situace mění a výkon motoru na LPG klesá a je v průměru o 4 % nižší (maximální hodnota rozdílu je 6 % při otáčkách cca 4350 min⁻¹).

graf 1 - Křivky výkonu motoru při dynamickém měření



6.2. Moment motoru při dynamickém měření

Stejným způsobem jako výkonové křivky jsou sestrojeny i momentové a jejich rozdílová křivka. Percentuální rozdíl momentů se stanoví podobně jako u výkonu dle vzorce:

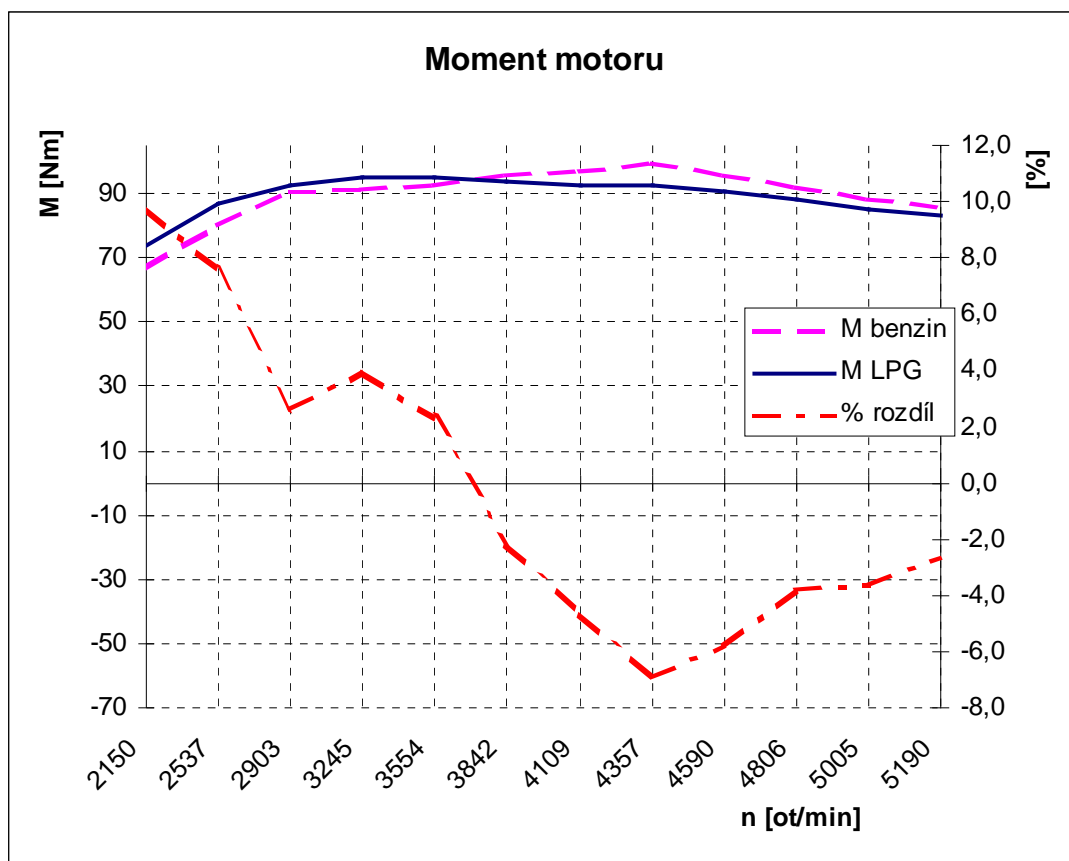
$$\Delta M = \frac{M_{LPG} - M_{benzín}}{M_{LPG}} \cdot 100[\%] \quad , \text{ kde}$$

ΔMrozdíl momentů motoru v procentech,

M_{LPG} moment motoru při provozu na LPG,

$M_{benzín}$...moment motoru při provozu na benzín.

graf 2 - Křivky momentu motoru při dynamickém měření



Z grafu 2 vyplývá, že průběhy momentů jsou podobné průběhům výkonu. Do otáček motoru přibližně 3700 min^{-1} je moment motoru při provozu na LPG vyšší v průměru o 4 % s maximální hodnotou opět v počátečních otáčkách měření (9 % při otáčkách 2150 min^{-1}). Nad otáčkami 3700 min^{-1} je vyšší moment při provozu na benzín v průměru o 4 % a s maximálním rozdílem 9% při otáčkách 4350 min^{-1} .

6.3. Měření emisí a jejich výsledky

V průběhu měření výkonu byly orientačně změřeny také emise výfukových plynů. Měření probíhalo na zařízení BOSCH BEA 850 (viz obrázek 14), které je celé umístěné na pojízdném rámu. Skládá se z analyzátoru výfukových plynů a počítače, který celé zařízení ovládá. Součástí je i monitor, myš, klávesnice a tiskárna (na monitoru lze přímo sledovat měřené hodnoty ve formě sloupcových grafů). Analyzátor pracuje na principu nedisperzivního infračerveného spektrometru (NDIR

– non-dispersive infrared spectroscopy). Metoda vychází z toho, že některé plyny absorbují určité vlnové délky záření, které jimi prochází. Každý plyn absorbuje jinou vlnovou délku záření a tím lze přesně zjišťovat složení plynů ve směsi různých plynů (analyzuje se, které vlnové délky záření jsou zeslabeny nebo zcela utlumeny). Podle intenzity útlumu se následně zjišťují koncentrace jednotlivých plynů ve směsi. Zařízení je možné použít pro měření CO (oxid uhelnatý), HC (nespálené uhlovodíky), CO₂ (oxid uhličitý) a O₂ (kyslík) [5].

Měření probíhá tak, že se analyzátor připojí k řídicí jednotce vozidla (u měřeného vozidla Škoda Fabia přes 12 V zásuvku v kabině). Na koncovku výfuku se nasadí odsavač výfukových plynů. Motor se nechá běžet 2 min při otáčkách motoru 2500 min⁻¹, aby se zahřál katalyzátor na provozní teplotu. Měří se poté při volnoběžných otáčkách (700 – 900 min⁻¹) a při zvýšených otáčkách (2400 – 2600 min⁻¹).



obrázek 14 - Analyzátor výfukových plynů BEA 850

Tento druh měření se používá pro zjišťování koncentrace oxidu uhelnatého ve výfukových plynech a pro ověření funkce řízeného katalytického systému vozidel se

zážehovými motory (při STK). Povolené hodnoty CO jsou při volnoběžných otáčkách do 0,50% objemu a při zvýšených otáčkách do 0,30% objemu. Hodnota lambda by se měla pohybovat v rozmezí 0,97 – 1,03. Jak je vidět z naměřených hodnot (viz příloha B) tak pro oba typy paliva jsou hodnoty CO splněny. Hodnoty lambda jsou splněny pro zvýšené otáčky. Při volnoběžných otáčkách jsou mírně zvýšené, což je způsobeno tím, že přes 12 V zásuvku se obtížně dosahuje ustálených otáček (tento druh připojení na vozidlo vnáší větší nepřesnosti než přímé napojení na řídicí jednotku).

Všechna měření byla prováděna ve spolupráci s firmou Pletpo U.n.O., spol. s r.o., která se zabývá přestavbami motorových vozidel na pohon LPG. Všechna výsledná data byla firmě poskytnuta a její vyjádření je obsaženo v příloze E.

7. Závěr

Předkládaná práce měla za cíl posoudit vliv přestavby vozidla na LPG na výkon motoru. Tento vliv byl zjišťován pomocí měření na válcovém zkušebním zařízení Power tester 2PT220. Z naměřených výsledků dynamické zkoušky vyplývá, že výkony a momenty motoru pro oba testované systémy pohonu vozidla jsou přibližně stejné. Nepatrné odchylky se vyskytly do hranice otáček přibližně 3700 min⁻¹, kdy byly oba sledované parametry vyšší v průměru o 5% u pohonu na LPG. Naopak nad touto hranicí byly parametry vyšší u pohonu na benzín, a to v průměru o 4%.

Nižší výkon motoru ve vyšších otáčkách lze ovlivnit nastavením systému sekvenčního vstřikování pomocí diagnostického programu. Pro dosažení hodnot by bylo třeba provést několik opakovaných měření a postupně pomocí programu měnit nastavení. To ovšem přesahuje rámec této práce a může to sloužit jako námět pro další zkoumání.

Z pohledu měření emisí při nezatíženém motoru byla ověřena funkčnost jak lambda sondy, tak i třicestného katalyzátoru. Pro komplexnější posouzení tvorby emisí zkoušeného vozidla by bylo nutné provést zátěžové zkoušky a ty dále vyhodnotit dle předpisu EHK/OSN č. 83.

8. Literatura

- [1] FRANTIŠEK, Vlk. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006. 376 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [2] FIŠER, Lubomír. *Automobily na alternativní pohon : BENZÍN - PLYN I.* 1. vyd. [s.l.] : Klub motoristů LPG, 1997. 116 s.
- [3] CEDRYCH, Mario René. *Jezdíme na plyn : Přestavba automobilů na alternativní pohon plynem*. 1. vyd. [s.l.] : Grada Publishing, spol. s r. o., 1998. 128 s. ISBN 80-7169-719-2.
- [4] JAROŠ, Karel. *Manuál k zařízení Power tester 2PT220*. Brno, 55 s.
- [5] *Manuál k zařízení Bosch BEA 050*. Plochingen : Robert Bosch GmbH, 2007. 75 s.
- [6] *Www.autanaplyn.cz* [online]. [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.autanaplyn.cz/>>.
- [7] Wikipedia : otevřená encyklopedie [online]. 2002, 4.4.2010 [cit. 2010-05-05]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Oktanov%C3%A9_%C4%8D%C3%ADslo
- [8] *Systém sekvenčního vstřikování LPG : Manuál k instalaci*. Brno : Nova Gas s.r.o., 2003. 20 s.
- [9] *Sekvenční vstřikování LPG/zemní plyn : Návod k obsluze a údržbě*. Brno : Nova Gas s.r.o., 2003. 19 s.
- [10] *Katalog automobilů.cz* [online]. 2003-2010 [cit. 2010-05-06]. Škoda Fabia 1,4 50 kW. Dostupné z WWW: <<http://skoda.katalog-automobilu.cz/Automobil/skoda-fabia-1-4-50kw/>>.
- [11] Coleman SI [online]. 2009 [cit. 2010-05-15]. Bezpečnostní list propan-butan. Dostupné z WWW: <<http://www.coleman.cz/certifikace/propan-butan-podle-v231-2004-sn-rev-1.pdf>>.

Seznam obrázků

obrázek 1 - Schéma uspořádání prvků zařízení pro alternativní pohon zážehového motoru na LPG (automobil s karburátorovým motorem bez řízeného katalyzátoru výfukových plynů) (převzato z [3]).....	17
obrázek 2 - Schéma uspořádání prvků zařízení pro alternativní pohon zážehového motoru na LPG (automobil s řízeným katalyzátorem výfukových plynů a vstřikováním paliva) (převzato z [3]).....	18
obrázek 3 - Schema rozmístění komponent (převzato z [8])	19
obrázek 4 - Plnicí koncovka italského systému (převzato z [6])	20
obrázek 5 – Toroidní tlaková nádrž a detail multiventilu.....	21
obrázek 6 - Přepínací modul na palubní desce vozidla	23
obrázek 7 – Měřič tlaku (převzato z [8]).....	23
obrázek 8 – Vstřikovač (převzato z [8]).....	24
obrázek 9 - Regulátor tlaku (převzato z [8])	25
obrázek 10 - Válcový dynamometr 2PT220	28
obrázek 11 - Ovládací panel (stůl) měřicího zařízení	28
obrázek 12 - Upevnění vozidla při měření (převzato z [8]).....	31
obrázek 13 - Odsávač spalin a ventilátor	31
obrázek 14 - Analyzátor výfukových plynů BEA 850	37

Seznam tabulek

tabulka 1 - Základní vlastnosti paliv (převzato z [2])	12
tabulka 2 - Výrobci zařízení pro alternativní pohon LPG (upraveno z [3]).....	16
tabulka 3 - Parametry zařízení Power tester 2PT220 (převzato z [4])	26
tabulka 4 - Parametry vozu Škoda Fabia 1,4 MPI (převzato z [9]).....	30

Seznam grafů

graf 1 - Křivky výkonu motoru při dynamickém měření.....	35
graf 2 - Křivky momentu motoru při dynamickém měření.....	36

Seznam příloh

Příloha A – Protokoly z měření výkonu
Příloha B – Protokol z měření emisí při pohonu na LPG
Příloha C - Protokol z měření emisí při pohonu na benzín
Příloha D – Dovolené hodnoty pro měření emisí
Příloha E – Vyjádření firmy Pletpo U.n.O., spol. s r.o.

PŘÍLOHY

Vliv přestavby vozidla na pohon LPG
na výkon motoru

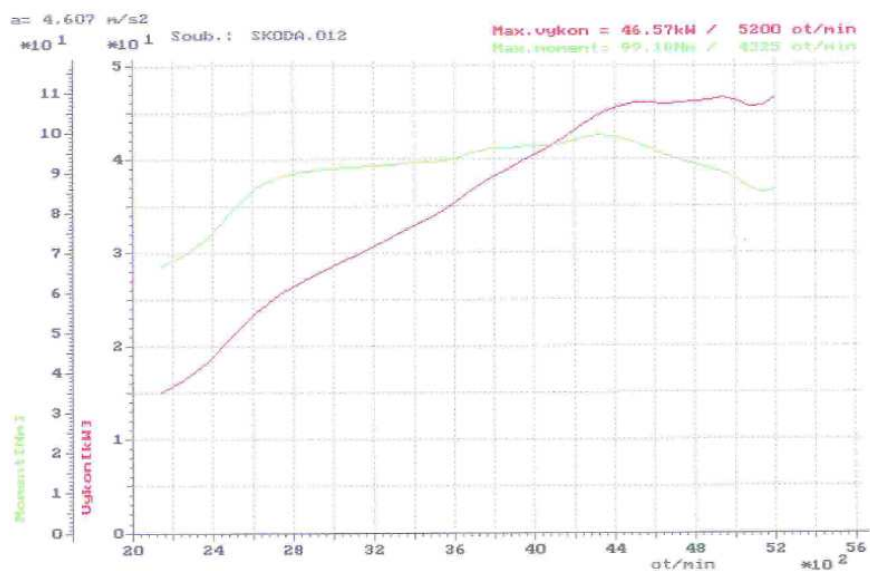
Milan Matějka
2009/2010

Příloha A

Dynamická výkonová křivka (Korig.) - motor

No.7904

Soubor : SKODA.012 15. 4.2010 Time 7:35
 Typ motoru : Skoda 1400cm3
 Popis : Fabia
 : 1.4 MPI
 : benzin
 Prevodovy pomer (ot.brzdy/ot.motoru) : 0.2667
 Moment setrvacnosti motoru [kgm²] : 0.500
 Teplota vzduchu pri mereni [°C] : 20.0
 Atmosféricky tlak pri mereni [kPa] : 99.9
 Vlhkost [%] : 45.0
 Korekční konstanta [-] : 1.0168
 Ucinnost mezi hn.kolem a motorem [%] : 85.0
 Prenos vykonu [Retez/Kolo] : K
 Meril : Sudoma



Otá. [rpm]	Vykon [kW]	Vykon [k]	Moment [Nm]
2143	15.00	20.39	66.82
2490	20.96	28.51	80.40
2852	26.99	36.70	90.38
3186	30.55	41.55	91.57
3492	33.91	46.12	92.73
3780	37.93	51.59	95.84
4059	41.09	55.88	96.66
4325	44.92	61.09	99.18
4575	45.94	62.47	95.88
4802	46.18	62.81	91.85
5010	46.16	62.78	87.99
5200	46.57	63.34	85.53

Vliv přestavby vozidla na pohon LPG
na výkon motoru

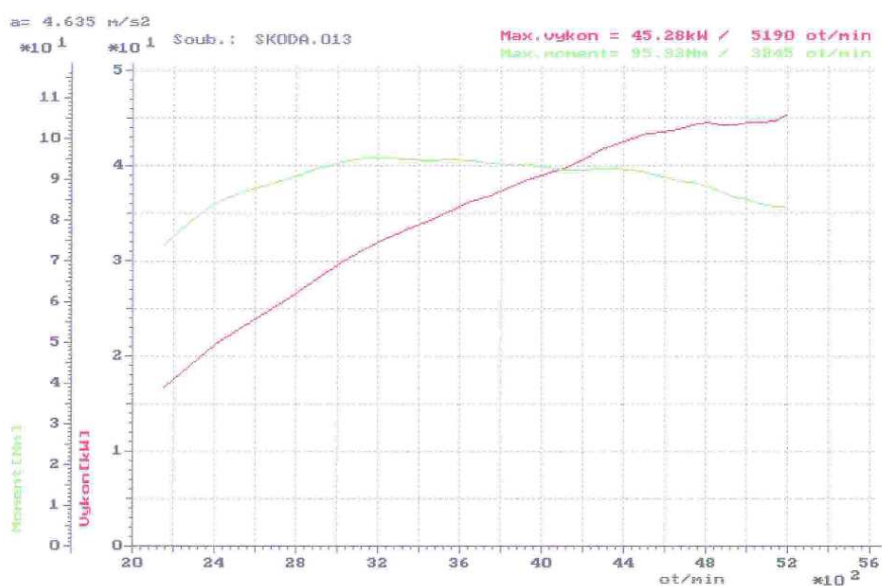
Milan Matějka
2009/2010

Příloha A

Dynamická výkonová křivka (Korig.) - motor

No.7904

Soubor : SKODA.013 15. 4.2010 Time 7:38
 Typ motoru : Skoda 1400cm3
 Popis : Fabia
 : 1.4 MPI
 : LPG
 Prevodovy pomer (ot.brzdy/ot.motoru) : 0.2667
 Moment setrvacnosti motoru [kgm²] : 0.500
 Teplota vzduchu pri mereni [°C] : 20.0
 Atmosféricky tlak pri mereni [kPa] : 99.9
 Vlhkost [%] : 45.0
 Korekční konstanta [-] : 1.0168
 Ucininnost mezi hn.kolem a motorem [%] : 85.0
 Prenos vykonu [Retez/Kolo] : K
 Meril : Sudoma



Otá. [rpm]	Vykon [kW]	Vykon [k]	Moment [Nm]
2150	16.67	22.67	74.05
2537	23.10	31.42	86.98
2903	28.21	38.37	92.80
3245	32.39	44.05	95.33
3554	35.34	48.06	94.96
3842	37.75	51.33	93.82
4109	39.74	54.05	92.37
4357	42.32	57.56	92.76
4590	43.56	59.24	90.62
4806	44.53	60.56	88.49
5005	44.50	60.52	84.91
5190	45.28	61.59	83.33

**Vliv přestavby vozidla na pohon LPG
na výkon motoru**

**Milan Matějka
2009/2010**

Příloha B

Bosch Diagnostika emise

Bosch ESA

V 2.40 CZ

Název a sídlo SME:

**Třebovská 348
562 03 Ústí nad Orlicí**

**Tel.: 468 002 642
Fax.: 465 523 560**

15.04.2010

07:51

Vozidlo(značka,typ,kateg.):	Skoda, Fabia, M1		
Registrační značka	1E6 3067	Typ motoru	AUA
Rok výroby	2000	Výr.č.motoru	-----
Stav poč. km	117460	Výr.č.karosérie	TMBNB46Y3019470

Teplota 101.2 °C

Otáčky /min	CO %obj	HC ppmvol	PEF	Lambda	CO2 %obj	O2 %obj
670	0.000	32	0.520	1.055	12.30	0.70
2580	0.000	20	0.520	1.017	12.61	0.23
3510	0.030	15	0.520	1.003	12.71	0.06

**Vliv přestavby vozidla na pohon LPG
na výkon motoru**

**Milan Matějka
2009/2010**

Příloha C

Bosch Diagnostika emise

Bosch ESA

V 2.40 CZ

Název a sídlo SME:

**Třebovská 348
562 03 Ústí nad Orlicí**

**Tel.: 468 002 642
Fax.: 465 523 560**

15.04.2010

07:45

Vozidlo(značka,typ,kateg.):	Skoda, Fabia, M1		
Registrační značka	1E6 3067	Typ motoru	AUA
Rok výroby	2000	Výr.č.motoru	-----
Stav poč. km	117460	Výr.č.karosérie	TMBNB46Y3019470

Teplota 103.2 °C

Otáčky /min	CO %obj	HC ppmvol	PEF	Lambda	CO2 %obj	O2 %obj
680	0.000	8	0.520	1.043	13.67	0.60
2580	0.004	6	0.520	1.006	14.18	0.09
3500	0.015	4	0.520	0.999	14.18	0.00

Vliv přestavby vozidla na pohon LPG
na výkon motoru

Milan Matějka
2009/2010

Příloha D

Předepsané hodnoty s řízeným katalyzátorem

Zadání předepsaných hodnot pro vozidla s řízeným katalyzátorem

	min.	max.	
Teplota oleje	80		°C
Příprava KAT			
Otáčky	2500	----	/min.
			Čas
			2.0 min.
Volnoběh			
Otáčky	700	900	/min.
			CO max
			0.50 %obj
Zvýšené otáčky			
Otáčky	2400	2600	/min.
			0.30 %obj
Lambda	0.97	1.03	

Přenos	Připraveno	Test otáček	DSO	Data uživatele	Diagnostika	Otáčky	Návod	Zpět	Dále
ESC	F1	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F11	F12
↑	💧	📊	🔧	🚗	🔍	📄	💡	⏪	⏩

Příloha E

**Hodnocení bakalářské práce pana Milana Matějky z pohledu firmy zabývající se
přestavbami automobilů na alternativní pohon propan butanem.**

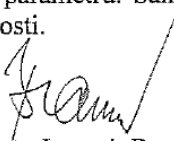
Závěry vyplývající z pečlivě provedeného měření emisí a především však provedeného měření výkonu a točivého momentu motoru přestavěného automobilu byly pro firmu Pletpo U.n.O. spol. s r.o. přínosné.

Došlo k praktickému ověření, že emisní limity dosažené po přestavbě motoru na alternativní palivo jsou identické s dosaženými hodnotami při provozu motoru na benzín. Samozřejmě by bylo daleko transparentnější posoudit hodnoty z dynamického emisního testu, který by dal k dispozici i hodnoty dalších prvků obsažených v emisích. Pak by bylo možné utvářet a potvrzovat názory na používání propan butanu jako alternativního paliva s ohledem na palivo, které je šetrné k životnímu prostředí.

Měření a porovnání průběhu točivého momentu a výkonu přestavěného motoru na oba druhy paliva nás nepřekvapilo z pohledu maximálních dosažených hodnot. Tato skutečnost je celkem známá, že motory provozované na alternativní palivo mají nepatrně nižší maximální hodnotu točivého momentu a maximálního výkonu. Tento nedostatek, by však mohlo být možné odstranit lepším individuálním nastavením řídicí jednotky ovládající systém alternativního pohonu právě v oblasti nad 4 000 ot min⁻¹.

Co dosud však není nijak široce prezentováno, je fakt, že v otáčkách motoru do 3 700 ot. min⁻¹ byly dosaženy nepatrně vyšší hodnoty obou sledovaných parametrů. Samozřejmě, že tento fakt bude možné využít minimálně pro marketingové záležitosti.

Za Pletpo U.n.O. spol. s r.o.


Ing. Jaromír Beran
jednatel

V Ústí nad Orlicí 24.05.2010