

Česká zemědělská univerzita v Praze

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011

David ZAHRADNÍK

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

LPG jako alternativní palivo

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Miler, Ph.D.

Autor práce: David Zahradník

PRAHA 2011

Prohlášení

Tuto bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Milera, Ph.D. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce.

V Praze dne 19. 3. 2011

David Zahradník

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat firmě Autogascoubal za poskytnutí technického zázemí a Vladimíru Coubalovi mladšímu i staršímu za praktické zkušenosti.

Abstrakt: Tato bakalářská práce má za cíl ekonomicky zhodnotit přestavbu na alternativní palivo LPG a přiblížit princip celé soustavy u osobního automobilu. V první části jsou vypsány základní informace o tomto palivu, jeho použití v minulosti i v současnosti a zejména výhody a nevýhody provozu. Nechybí zde přehled dalších alternativních paliv včetně stručného seznámení s elektrickými a hybridními pohony. Jsou zde popsány nejpoužívanější systémy pro přestavbu na LPG od podtlakových – používaných u motorů s karburátorem – až po vstřikování LPG v kapalném stavu. V neposlední řadě je zde podrobněji rozvedena funkcionality programu pro diagnostiku přestavěných vozidel, která je prakticky znázorněna na čtyřválcovém motoru se zabudovaným systémem pro sekvenční vstřikování plynné fáze LPG. V poslední části je popsáno ekonomické porovnání provozu na LPG a benzín a v závěru pak celková návratnost investice do přestavby u konkrétního automobilu.

Klíčová slova: LPG (Liquefied Petroleum Gas), vstřikovač, PŘJ (plynová řídicí jednotka), palivo

LPG as an alternative fuel

Summary: The thesis aims to assess economic benefits of vehicle upgrade to alternative fuel LPG and explain the entire fuel system used by a passenger car. First, basic information about the fuel, its past and present use and potential advantages and disadvantages of the upgrade are presented. An overview of other alternative fuels, including a brief introduction to electric and hybrid drives, is shown as well. Additionally, the most commonly used types of conversion to LPG are described here, e.g. vacuum which is used for engines with a carburetor, or LPG injection in the liquid state. Next, a program used for a diagnosis of rebuilt vehicles is described in more detail. This is illustrated on a four-cylinder engine with built-in system for sequential LPG injection in gaseous phase. The last section then describes economic comparison between the usage of LPG and petrol. This also includes an assessment of overall returns when investing into the vehicle upgrade.

Key words: LPG (Liquefied Petroleum Gas), injector, PŘJ (gas controller unit), fuel

Obsah

Úvod	8
1. LPG jako palivo	10
1.1 Historie LPG	11
1.2 Současnost LPG	12
1.3 Výhody a nevýhody	12
1.4 Požadavky normy ČSN EN 589	14
1.4.1 Oktanové číslo LPG	14
1.4.2 Tlak par LPG	14
1.4.3 Síra a sirné sloučeniny v LPG	15
1.4.4 Olejovitý zbytek v LPG	15
1.4.5 Voda a metanol v LPG	16
1.4.6 Odorizace LPG kvůli bezpečnosti	16
2. Přehled alternativních paliv	17
2.1 Vozidla s modifikovanými spalovacími motory	18
2.1.1 Biogenní paliva	18
2.1.2 Zemní plyn	18
2.1.3 Vodík	19
2.2 Vozidla s elektrickým pohonem	19
2.2.1 Elektrická vozidla na baterii	19
2.2.2 Elektrická vozidla s palivovými články	20
2.3 Vozidla s hybridním pohonem	21
2.3.1 Sériové uspořádání pohonu	21
2.3.2 Paralelní uspořádání pohonu	21
3. Přehled systémů LPG	22
3.1 Obecný princip činnosti LPG zařízení ve vozidle	22
3.2 Princip podtlakového systému u motorů s karburátorem	24
3.3 Princip systému s krokovým motorkem	26
3.4 Princip systémů se vstřikováním plynného LPG	27
3.5 Princip systémů se vstřikováním plynného LPG pro motory FSI a TFSI	31
3.6 Princip vstřikování LPG v kapalném stavu	33

4.	Popis palivové soustavy	34
4.1	Seznam komponentů pro sekvenční vstřikování LPG – sériové zapojení	34
4.1.1	Plynová řídicí jednotka STAG-4	34
4.1.2	Snímač tlaku plynné fáze	35
4.1.3	LPG vstřikovače	35
4.1.4	Reduktor	35
4.1.5	Filtr plynné fáze LPG	35
4.1.6	Přepínací modul	35
4.1.7	Plnicí přípojka	36
4.1.8	Tlaková toroidní nádrž	36
4.1.9	Měděné potrubí	36
4.1.10	Multiventil	37
4.1.11	Plynotěsná skříň	37
4.2	Program pro diagnostiku Ac Gas Synchro	37
4.2.1	Připojení	38
4.2.2	Parametry	38
4.2.3	Autokalibrace	39
4.2.4	Mapa	39
4.2.5	Chyby	40
4.2.6	Nastavení a Data recorder	40
5.	Ekonomické zhodnocení provozu na LPG	41
5.1	Dostupnost	41
5.2	Cena	42
5.3	Ekonomické srovnání provozu mezi LPG a benzinem	42
5.3.1	Spotřeba LPG	42
5.3.2	Výpočet návratnosti investice přestavby	44
5.4	Zhodnocení investice do přestavby	45
	Závěr	46
	Seznam použité literatury	48
	Seznam zkratk	49
	Seznam obrázků	50
	Seznam tabulek	50
	Seznam příloh	50

Úvod

Pojem alternativní pohon je v posledních letech používán stále častěji. Jeho význam stoupá nejen pro osobní automobily, ale také pro autobusy a nákladní vozy. Rostoucí požadavky společnosti na ekonomiku provozu a čistotu ovzduší tlačí automobilový průmysl do řešení nejrůznějších koncepcí. Vývoj ovlivňuje jednak stoupající celková spotřeba paliva a omezené množství fosilních paliv, jednak vzrůstající množství škodlivých emisí, zejména skleníkových plynů ohrožujících klimatické podmínky. Použitím alternativ místo klasických pohonných hmot, jako je benzin a nafta, lze částečně dosáhnout tyto vytyčené ekologické a ekonomické požadavky.

Jedním z nejrozšířenějších alternativních paliv je v současné době propan-butanová směs LPG. Tato zkratka v angličtině znamená „Liquefied Petroleum Gas“, což lze přeložit jako zkapalněný ropný plyn. Jedná se o produkt vzniklý rafinací ropy, tudíž je zřejmé, že je závislý na ropě jak existenčně, tak ekonomicky. Snižující se ropné zásoby limitují potenciál této výroby. LPG lze získat také ze zemního plynu, což může do budoucna zvýšit dostupnost tohoto zdroje, protože odhady zásob jsou několikanásobně vyšší než u ropy.

Cílem této práce je poskytnout určitý přehled o tomto alternativním palivu a zároveň ekonomicky zhodnotit investici do přestavby vozidla. Měla by seznámit čtenáře s možností využití LPG jako alternativního paliva.

V první části uvedu základní informace o LPG jako o palivu, a to včetně historického a současného pohledu na tento pohon. V druhé kapitole se zaměřím na přehled alternativních paliv a dalších možných alternativ v pohonných technologiích. Obecný princip činnosti LPG systému s podrobnějším popisem nejpoužívanějších technických řešení rozeberu v další části. Popisem palivové soustavy navážu na jeden z těchto systémů zvaný sekvenční vstřikování LPG. Zde uvedu jednotlivé komponenty celé soustavy a pozastavím se u programu pro diagnostiku přestavěných vozidel. V poslední kapitole ekonomicky zhodnotím provoz osobního automobilu na toto palivo a srovnám jej s benzinovým.

Téma bakalářské práce jsem zvolil vzhledem ke svému vztahu k životnímu prostředí a zároveň z toho důvodu, že jsem se chtěl o této problematice více dozvědět. Osobně jsem se s tímto alternativním palivem poprvé setkal již před patnácti lety, kdy můj otec začal pracovat ve firmě zabývající se přestavbami vozidel na LPG. Výhody a nevýhody provozu na propan-butan jsem mohl zjišťovat už na svém prvním vozidle a postupem času jsem o tomto pohonu získal mnoho užitečných znalostí a zkušeností, o které bych se v této práci se čtenáři rád podělil.

1. LPG jako palivo

Norma ČSN EN 589 uvádí LPG – pro použití coby motorového paliva – jako směsi zkapalněných uhlovodíků tvořené převážně propanem a butany, tj. nasycenými uhlovodíky se 3 a 4 atomy uhlíku v molekule. Uhlovodíkové složení paliva pro pohon vozidel prodáváného v zemích s různou zeměpisnou polohou je přizpůsobováno klimatu. Jeho předností je hlavně velká výhřevnost a snadné zkapalnění. V surové ropě je tato směs obsažena v množství někde mezi 0,5–2 %. Palivo bývá uskladněno v kapalném skupenství, do kterého jej lze přivést buď stlačením pod tlakem cca 1,5 MPa, nebo ochlazením. Výhodou je pak daleko menší objem než při běžné teplotě a tlaku, kdy se vyskytuje v plynném stavu. [7]

Jedná se o bezbarvý plyn, který je těžší než vzduch. Není jedovatý, ale při vyšších koncentracích je mírně narkotický. Relativně dobře vytěsňuje vzduch a špatně se odvětrává.

Používání LPG je ekologicky přínosné, protože zážehový motor při jeho provozu produkuje daleko méně škodlivých emisí než pohon na benzin. Řádově nižší emise jsou hlavně u jedovatého oxidu uhelnatého. Emise nespálených uhlovodíků jsou také nižší. Naopak tomu může být v případě oxidů dusíku. Použití LPG samo o sobě nezajistí nízkou produkci škodlivých emisí, je k tomu zapotřebí dobrý technický stav a správné seřízení motoru. [1]

Přestavba se provádí většinou pouze u zážehových motorů, kde zůstává možnost dále provozovat vozidlo na benzin. U vznětových motorů není ekonomicky přínosná, jelikož zásahy do motoru se dají přirovnat k přestavění na zážehový. Musel by se upravit tvar spalovacího prostoru a pístu, vyměnit žhavicí svíčky za zapalovací a snížit kompresní poměr. Vozidlo by již dále nebylo možné provozovat na naftu.

Zapalovací teplota plynové směsi je o 100–150 °C vyšší než u benzinové směsi se vzduchem, s čímž souvisí zvýšené nároky na zapalovací soustavu motoru. Měli bychom věnovat zvýšenou pozornost zapalovacím svíčkám, jejichž vzdálenost elektrod by měla být o 0,1 mm menší. Životnost se tak zkracuje na polovinu. [9]

1.1 Historie LPG

LPG jako alternativní palivo bylo v automobilovém průmyslu poprvé použito v třicátých letech minulého století v Německu. Ve spalovacích motorech pro čluny dokonce ještě o deset let dříve. Naléhavá potřeba jiných paliv se objevila v dobách druhé světové války, kdy byl benzinu nedostatek. Veškeré ropné produkty byly pod správou německé okupační armády. V té době byly benzinové motory užívány nejen u osobních, ale i u nákladních automobilů a autobusů. Za války se lidé zoufale snažili přebudovat vozidla na všemožné alternativy z dostupných tuzemských zdrojů jako například dřevoplyn, acetylén nebo svítiplyn. Jedním z nich byl i propan-butan, který byl úspěšně užíván již před válkou. Jeho technické nevýhody byly oproti ostatním daleko menší, což se také projevilo po skončení války. Ostatní paliva rychle ustoupila a LPG zaznamenal nový rozvoj, jaký se u nás projevoval provozem vozů ještě v padesátých letech. Například v ČR byl přebudován celý vozový park lehkých nákladních automobilů pro pekárny Odkolek v Praze. Výbuch a následné vyhoření garáží v roce 1947 způsobil s největší pravděpodobností únik tohoto propan-butanu. [1]

Po válce se obnovil chemický průmysl a plyny se tehdy začaly získávat z hydrogenačních a hydrokrakovacích procesů, což se postupně různým tempem rozšířilo i do dalších zemí. Používání se odvíjelo od dostupnosti a ceny ovlivněné velikostí spotřební daně a zároveň od klimatických podmínek. [7]

V následujících letech byla v ČSSR plynová zařízení sice vyvíjena a zkoušena, ale k běžnému motoristovi se již výsledky výzkumu a vývoje nedostaly. Plnicí stanice neexistovaly a zařízení pro přestavbu se k nám nedovážela, jelikož žádná ani nebyla schválena. Složitou variantou tak bylo dovézt již přestavěné vozidlo ze zahraničí. Až teprve po roce 1989 došlo v ČR k rozvoji používání LPG.

1.2 Současnost LPG

Produkcí a spotřebu výstižně uvedl Štěrbá a Kryžický [9]: „V USA se 60 % LPG vyrábí v Kalifornii, v Evropě vyrábí 74 % produkce Francie, zbytek připadá na ostatní státy světa. Celková spotřeba LPG ve světě byla v roce 1997 něco přes 177 milionů tun, což jsou pouhá 2 % celosvětové spotřeby energií. Nejvíce energie spotřebují, jak známo, USA (52 mil. tun), západní Evropa (28 mil. tun) a Japonsko (20 mil. tun). Nejvíce vyrobeného LPG se ovšem spotřebuje v domácnostech a pro průmyslové použití. Jako palivo pro provoz motorových vozidel představuje pouze okrajový podíl celkové spotřeby, v USA jsou to asi 3 %, ve Francii 1 %. Výjimky v tomto případě existují, např. Holandsko spotřebuje pro účely motorismu 42 % svého objemu výroby LPG.“

Přestavby na plyn dnes nabízejí rovnou automobilky. Například Škoda Auto nabízí Octavie přestavěné přímo v továrně. Jedná se o benzinové motory 1,6 MPI s výkonem 75 kW, u nichž jsou tabulkové hodnoty spotřeby následující: 7,1 litrů benzínu nebo 9,2 litrů LPG na 100 kilometrů. Výkon pak nepatrně klesne ze 75 na 72 kW. Oficiální přestavby mají výhodu zachování plné záruky na vůz.

1.3 Výhody a nevýhody

Nevýhodou provozu na plyn může být o cca 10 % snížení výkonu, prakticky se ale toto snížení pohybuje v rozmezí 2–15 % podle použitého systému.

Výhody provozu na LPG lze shrnout do těchto bodů:

- nižší provozní náklady vozidla z hlediska paliva;
- nižší emise CO₂, což má význam z hlediska přistoupení k mezinárodním dohodám o ochraně atmosféry před skleníkovými plyny;
- teoreticky vyšší životnost motorového oleje;

- lepší plnění válců směsí při nedostatečně prohřátém motoru (studený motor běží klidněji s menším sklonem k vynechávání a s tím související lepší využití paliva v oblasti nízkých zatížení);
- možnost provozovat automobil na obě paliva, čímž se zvětší dojezdová vzdálenost bez natankování;
- odpuštění silniční daně firemním vozidlům pro podnikatele;
- nižší hlučnost motoru (někdy až o 5 dB).

Nevýhody:

- vyšší náklady na přestavbu u novějších vozidel, které musejí plnit nejpřísnější emisní limity;
- zákaz vjezdu do většiny podzemních garáží;
- odlišné tankování, které v některých zemích včetně ČR může provádět pouze proškolená obsluha (až na výjimky);
- proměnné složení paliva v závislosti na roční době;
- nižší výkon motoru kromě systému se vstřikováním kapalné fáze;
- vyšší nároky na bezchybnou funkci zapalovací soustavy (častější výměna svíček a případně zapalovacích kabelů);
- teoreticky vyšší životnost motorového oleje může být snížena zvýšenou oxidací způsobenou odlišným tepelným namáháním;
- zvýšené opotřebení částí motoru, které nejsou konstruovány na tento pohon;
- částečné snížení užitečného zatížení;
- snížení objemu zavazadlového prostoru (ne, pokud je umístěna nádrž místo rezervy a rezervu nahradí lepicí sada pro případ defektu).

1.4 Požadavky normy ČSN EN 589

Cituji Vladimíra Matějovského [7]: „Pro pohon vozidel provozovaných na pozemních komunikacích v České republice je dovoleno používat pouze palivo LPG v kvalitě definované normou ČSN EN 589, vydání červen 2004, s několika významnými změnami vzhledem k vydání z roku 2001.“

Nejdůležitější změnou oproti roku 2001 je přísnější požadavek na obsah síry (z původních 100 na maximálně 50 mg/kg). Dále pak zavedení další sezónní třídy E, vizuální kontrola obsahu vody a zkoušení zápachu.

1.4.1 Oktanové číslo LPG

Výbornou odolnost proti klepání mají paliva obsahující uhlovodíky se třemi a čtyřmi uhlíky v molekule. Oktanové číslo u propanu a izobutanu je větší než 100 a u butanu je roven 95. Zjištěno to bylo stejnou metodou jako v případě benzinů s oktanovými čísly 91, 95 a 98. [7]

„Odolnost proti klepání v normě pro LPG je však udávána oktanovým číslem motorovou metodou, které se neměří jako u benzinů na zkušebním motoru, ale počítá se ze složení paliva. Požaduje se minimálně 89 jednotek. Pro srovnání: u výše uvedených druhů benzinů je požadavek na oktanová čísla motorovou metodou minimálně 82, 85 a 88. Podle literatury má propan OČMM 100, butan 92 a izobutan 99, buteny jen kolem 80. Uvedená čísla se liší od údajů používaných pro výpočty OČMM v ČSN EN 589, protože se jedná o odlišnou metodu stanovení oktanového čísla a protože v normě uvedené hodnoty jsou empirické a platné jen pro výpočet podle této normy. Je zřejmé, že odolnost proti klepání je velmi ovlivněna složením uhlovodíkových plynů, a proto také v definici LPG uvedené v normě najdeme větu, že se toto palivo skládá převážně z propanu a butanů s malými podíly propenu, butenů a pentanů/pentenů.“ [7]

1.4.2 Tlak par LPG

Správný tlak par je důležitý proto, aby byla zajištěna dodávka dostatečného množství paliva do regulátoru. V zimě může klesnout na několik desítek kPa, což může mít za

následek nedostatečný výkon nebo selhání motoru. U posledních systémů není důležitý, jelikož palivo je dodáváno do regulátoru čerpadlem. Vhodné složení směsi vychází z toho, že propan má bod varu při $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$, tudíž při poklesu venkovní teploty na $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ je jeho tlak par stále ještě 2,5 MPa, zatímco butan má bod varu kolem $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, takže při teplotách pod tuto hranici mrazu je jeho tlak par menší než atmosferický a klesá tak na hodnotu tlaku par u benzínu. V České republice bylo do roku 2001 obvyklé vyrábět sezónní směsi. Letní obsahovala 40 % propanu a zimní 60 % propanu. [7]

1.4.3 Síra a sirné sloučeniny v LPG

Podle Vladimíra Matějovského [7] je dle normy ČSN EN 589 kontaminace síry a sirnými sloučeninami sledována hned třemi složkami. Cituji:

„Je to obsah sirovodíku, celkový obsah síry a koroze na měděné destičce, což je koroze vyvolaná korozně aktivními sirnými sloučeninami. Přítomnost sirovodíku v LPG je naprosto nežádoucí, protože je silně kyselý, korozivní a zvyšuje celkový obsah síry. Síra v LPG může být přítomna nejen ve formě sirných sloučenin, ale údajně i jako rozpouštěná elementární síra. Veškerá síra v LPG, v jakékoliv formě, je nežádoucí z hlediska vlivu na životní prostředí, spalováním vzniká SO_2 , který uniká do ovzduší. Kromě toho SO_2 ve výfukových plynech snižuje účinnost katalyzátoru, takže se při větším obsahu síry v palivu měřitelně zvyšují emise ostatních škodlivin.“

Tento a další uvedené parametry lze zařadit do požadavků na čistotu paliva.

1.4.4 Olejovitý zbytek v LPG

Opět cituji Vladimíra Matějovského [7], který olejový zbytek výstižně popisuje:

„Dříve byl používán termín odparek. Významným znečištěním LPG mohou být výše vroucí látky, například i výše vroucí uhlovodíky. Pokud jsou obsaženy ve větším množství, hromadí se jejich neodpařený podíl v odpařovači a blokuje některé cesty plynu, jestliže má zbytek velkou viskozitu, nebo když ještě obsahuje částice nečistot, může blokovat pohyb některých regulačních prvků. Proto je požadavek normy na odparek velmi přísný a je stanoven hranicí maximálně 100 mg/kg. Z praxe je známo, že pro některá zařízení ani tato

hodnota neznámá dostatečnou čistotou a požaduje se, aby zbytky po odpaření byly pouze v jednotkách nebo několika málo desítkách ppm.“

1.4.5 Voda a metanol v LPG

Voda je také nežádoucí prvek v LPG. Podle normy by při 0 °C neměla být ve směsi přítomna, což ve skutečnosti znamená, že zde může zůstat jen nepatrné množství, které bude rozpuštěné ve zkapalněných plynech. Způsobuje komplikace se zamrzáním potrubí při záporných teplotách nejen u osobních automobilů, ale i u čerpacích stanic. Norma povoluje přidávat až 2000 mg/kg metanolu proti zamrzání vody, která se může vyloučit při minusových teplotách. [7]

1.4.6 Odorizace LPG kvůli bezpečnosti

Hustota plynného skupenství LPG je větší než hustota vzduchu, takže při úniku se koncentruje v nejnižší poloze okolního prostředí. Například v podzemních garážích je únik těchto plynů velmi nebezpečný. Nelze je odstranit obvyklým způsobem větrání. Se vzduchem vytvářejí snadno zápalnou a výbušnou směs. Proto se požaduje, aby do LPG byla přidávána látka, která již při malé koncentraci silně zapáchá a upozorní tak na nebezpečí úniku plynu. [7]

2. Přehled alternativních paliv

Níže cituji přehled paliv nebo složek paliv pro současné automobilové spalovací motory podle Vladimíra Matějovského [7].

„Některé z těchto látek mohou být použity také jako zdroje energie pro palivové články elektrických vozidel, která jsou považována za perspektivní. Jedná se zejména o vodík a metanol. Všechna tato paliva lze shrnout do těchto skupin:

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

2.1 Vozidla s modifikovanými spalovacími motory

2.1.1 Biogenní paliva

Využití paliv z dorůstajících surovin je nejjednodušší cesta nezávislosti na fosilních zdrojích energie. Biomasa, ze které lze získat bioplyn, představuje akumulovanou sluneční energii. Je záměrně pěstována jako cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina a olejniny. Dále se dá získat z odpadních zdrojů, jako je například sláma, nezkrmitelné zbytky, odpady ze sadů, dřevařského průmyslu a lesní produkce.

Bioplyn lze z biomasy získat buď termochemickým způsobem (zplynováním biomasy), nebo biochemickým způsobem (methanolové kvašení, při němž je nutno vyloučit kyslík). Obsahuje 55–70 % methanu a 27–47 % CO₂.

Biopaliva lze zavádět pouze s nepatrnými změnami modifikovaných motorů. Motory provozované na biopaliva vykazují méně škodlivých emisí než konvenční naftové motory. Díky uzavřenému uhlíkovému řetězci nevznikají žádné přídavné uhličitě oxidy. [4]

2.1.2 Zemní plyn

Zemní plyn je bezbarvý, sám o sobě nezapáchající, hořlavý plyn. Patří do skupiny topných plynů, využívá se k vytápění, vaření a ohřevu vody, v elektrárnách, teplárnách, v kogeneračních jednotkách a v dopravě. Existují dvě formy uskladnění. CNG (Compressed Natural Gas), což je stlačený zemní plyn při tlaku 200 barů, a LNG (Liquefied Natural Gas), zkapalněný zemní plyn při teplotě –162 °C. Skládá se převážně z methanu a vyšších uhlovodíků s malou příměsí inertních plynů. Zemní plyn je nejedovatý, nedýchatelný a lehčí než vzduch. [12]

„Má vynikající odolnost vůči klepání (oktanové číslo 130 – ROZ), proto má většina zážehových motorů kompresní poměr 13 : 1, přesto má v motoru měkké spalování, takže hlučnost je většinou nižší. Také může být vyšší stupeň přeplňování, proto je měrný výkon přeplňovaných motorů větší než u benzinových. Zemní plyn kromě toho přispívá i k ekologické jízdě. Při čistém spalování zemního plynu dochází k výraznému snižování ozónu, smogu, plynů vyvolávajících skleníkový efekt a nejsou produkovány pevné částice ani síra.“ [4]

Palivo je levnější než běžné pohonné hmoty a spotřeba vozidla také mírně klesne. Náklady na provoz se prakticky snižují na polovinu oproti benzinu nebo naftě.

2.1.3 Vodík

Vodík může být také použit jako přímé palivo spalovacích motorů s velmi nízkými emisemi. Vodík (stlačený nebo zkapalněný) se spaluje obdobně jako běžné pohonné hmoty. Při spalování vzniká voda a malé množství kyslíčků dusíku. V současnosti je výroba vodíku drahá a ve směsi se vzduchem je silně výbušný, což jsou zásadní nevýhody.

2.2 Vozidla s elektrickým pohonem

2.2.1 Elektrická vozidla na baterii

Elektrický pohon je jednou z možností alternativního řešení, jelikož neprodukuje žádné škodlivé emise, má nízkou hladinu hluku, příznivou výkonovou charakteristiku, ale také menší jízdní výkon, omezený dojezd, vyšší cenu, případně vyšší nebezpečí při havárii. [4]

Vozidla lze rozdělit na dvě skupiny – a sice pro silniční provoz a pro dopravu v podniku. Jsou zaváděna všude tam, kde jsou nežádoucí výfukové emise a hluk. Jejich pohon zajišťuje elektromotor, u kterého vyjmenuji alespoň základní typy:

- stejnosměrný motor s cizím buzením,
- asynchronní motor,
- transversální motor,
- řízený reluktanční motor,
- stejnosměrný motor bez kartáčů.

Druhým základním prvkem pro pohon těchto elektromotorů jsou bateriové systémy a energetické zásobníky, mezi které patří:

- olověný akumulátor,
- baterie nikl-kadmium,

- baterie nikel-metalhydrid,
- baterie lithium-iont,
- baterie lithium-iont polymer (Li-Pol),
- baterie vysokoteplotní. [4]

2.2.2 Elektrická vozidla s palivovými články

Jako alternativa zásobníku energie elektrovozidla je vhodný palivový článek. Tato technika umožňuje výrobu vozidla s nulovými emisemi, které má poměrně vysokou účinnost a není odkázáno na fosilní paliva. Na rozdíl od baterií je zde stále přiváděn redukční prostředek – palivo a oxidační prostředek kontinuálně zvenčí. Článek sám zůstává nezměněn, což je pro vozidlo neocenitelná výhoda. Dodává v principu neomezenou energii, dokud je účastná chemická substance přiváděna zvenjšku. Jeho výkon se může v širokých mezích měnit. Vozidlo vybavené palivovými články může v krátké době natankovat palivo, např. vodík, methanol nebo zemní plyn, které mu postačí na mnoho hodin jízdy stejně jako u spalovacího motoru. Účinnost zařízení je téměř dvojnásobná oproti účinnosti spalovacího motoru. Oxid dusíku nebo oxid uhelnatý odpadají zcela, oxid uhličitý je emitován, pouze jedná-li se o uhlovodíkové palivo. [4]

Rozdělit se dají především podle typu elektrolytu na několik systémů:

- alkalické články, v nichž je elektrolytem zpravidla zředěný hydroxid draselný;
- články s tuhými polymery, elektrolytem je tuhý organický polymer;
- články s kyselinou fosforečnou;
- články s roztavenými uhličitany;
- články s tuhými oxidy, jejichž elektrolytem jsou oxidy vybraných kovů.

Pro provoz palivového článku ve vozidle může být vodík ve stavu čistém jako prvek, a nebo ve vázané formě, např. jako methanol. Může být ukládán jako stlačený plyn, jako kapalina v podchlazených zásobnících, jakož i v metalhydridových zásobnících, v nichž je chemicky vázán. [4]

2.3 Vozidla s hybridním pohonem

Hybridní vozidla kombinují elektrický pohon a klasický spalovací motor. Vhodnou kombinací těchto pohonných systémů mohou být využity jejich přednosti. Vede to ke značné úspoře paliva, a tím k odpovídajícímu snížení emisí výfuku, zvláště dnes ve vysoko zatížených aglomeracích. Koncepce hybridů je vhodná pro vozidla nízké a střední třídy, převážně pro městský provoz. Zásobníkem energie pro spalovací motor je zpravidla benzin nebo nafta v palivové nádrži. Jako zásobník elektrické energie slouží baterie, vysoko energetické kondenzátory nebo také setrvačnick, jehož nahromaděná mechanická energie může být přeměněna pomocí generátoru na elektrickou.

2.3.1 Sériové uspořádání pohonu

Zde je vozidlo poháněno výhradně elektromotorem. Jako zdroj energie má také ještě spalovací motor (generátor) ve funkci trakčního motoru, případně také k dobíjení baterie. Jednotlivé poháněcí komponenty jsou vzájemně uspořádány za sebou. Jestliže baterie nemohou pokrýt momentální potřebu energie pro provoz, je spalovací motor automaticky nastartován. [4]

2.3.2 Paralelní uspořádání pohonu

„Jeho výhoda je především v tom, že při provozu se spalovacím motorem nedochází k žádnému zhoršení účinnosti oproti normálnímu provozu vozidla. Převodovka konvenčního typu je společná i pro elektrickou poháněcí větev. U této poháněcí varianty postačuje analogicky měnit otáčky elektrického motoru ve vztahu ke spalovacímu motoru jen v rozsahu účinnosti a emisí.“ [4]

3. Přehled systémů LPG

Přehled běžných LPG systémů můžeme rozdělit podle použití pro různé typy motorů. Podle vývoje motorů se postupem času vyvíjely i přestavby na plyn. Hlavním motivem vývoje byla nedostačující technická úroveň těchto systémů a následné problémy, které přestavbou moderních motorů se zastaralým zařízením vznikaly. Dalším jsou pravděpodobně legislativní požadavky na stále snižování emisních hodnot výfukových plynů.

Nejstarší, ale zároveň stále hojně používaný systém byl vytvořen na principu podtlaku v sacím ústrojí motoru. Je vhodný pro motory s klasickým karburátorem (např. Škoda 120, Škoda Favorit, Fiat Uno).

Další se používá u motorů se vstřikováním benzinového paliva s řízeným katalyzátorem (např. Škoda Felicia 1,3, Škoda Felicia 1,3 MPI). Pro snížení emisí je zde přidán regulační prvek, nejčastěji je to krokový motorek.

Pro novější vozidla bez systémů palubní diagnostiky „European On Board Diagnostic“ (dále jen EOBD) a „On Board Diagnostic“ (dále jen OBD) (tj. přibližně do roku výroby 2001) se vstřikováním plynného paliva se montuje paralelní systém. Vozidla, která již diagnostiku EOBD a OBD II. mají, jsou osazena sériovým systémem.

V poslední době se začíná rozmáhat systém se vstřikováním kapalného LPG. [6]

3.1 Obecný princip činnosti LPG zařízení ve vozidle

Zpočátku je třeba natankovat palivo do nádrže vozidla. Je zde však zásadní rozdíl oproti tankování benzínu. Plyn mohou tankovat pouze proškolené osoby s oprávněním k této činnosti. V poslední době se stále častěji objevují možnosti tankovat i bez obsluhy. Proškolená osoba nebo řidič sundá zátku plnicího hrdla, k němuž následně přiloží tankovací pistoli. Pokud jsou obě části po celém obvodu přitisknuté, stlačením páky se pistole sama zaaretuje v plnicím hrdle. Z plnicí přípojky se palivo dostává do nádrže přes víceúčelový ventil neboli multiventil, který v sobě sdružuje hned několik funkcí:

- uzavírá přívod paliva při natankování 80 % objemu nádrže;
- plynový ventil uzavírá nádrž při vypnutém zapalování;
- obsahuje stavoznak ukazující zásobu paliva a zároveň je tento údaj pomocí odporového snímače přenesen do plynové jednotky, která řidiči zobrazuje aktuální stav paliva;
- za provozu vozidla zajišťuje odběr paliva z nádrže;
- pracuje jako pojistný přetlakový ventil, který v případě požáru odpustí plyn z nádrže;
- pracuje jako nad-průtoková pojistka, která uzavře výtok z nádrže při poruše potrubí.

LPG je v nádrži uskladněno v kapalném stavu a udržováno pod určitým tlakem, jehož maximální hodnota by neměla překročit 2,5 MPa. Při dosažení této hranice již vstoupí v činnost ochranné systémy (přetlakový ventil). Jelikož je nádrž umístěna ve vozidle, může v létě teplota snadno přesáhnout 50 °C, a pokud by byla naplněna na více než 80 % svého objemu, mohlo by v lepším případě dojít k odpouštění paliva přetlakovým ventilem mimo automobil. V horším případě, při selhání ventilu, by mohlo dojít k roztržení nádrže. Za běžných okolních podmínek je tlak v nádrži nižší a odpovídá tzv. tlaku par, což je tlak, který musí být dosažen nad hladinou LPG, aby zůstalo zachováno jeho kapalné skupenství. Nádrže se vyrábějí v mnoha objemových velikostech v rozmezí cca 30–120 litrů. Jak velkou nádrž můžeme použít, je dáno možnostmi její zástavby do vozidla a jeho spotřebou. Vždy musí být umístěna mimo deformační zónu. Z hlediska tvaru je můžeme rozdělit na válcové a toroidní. Válcové se pomocí držáků montují do zavazadlového prostoru. Toroidní se montují do prostoru místo rezervní pneumatiky, abychom mohli plně využívat zavazadlový prostor. Nevýhody jsou v tom, že tyto nádrže mají menší objem než válcové a také musíme někde umístit rezervní pneumatiku. Většinou jí umístíme do zavazadlového prostoru, čímž jej opět zmenšíme, což není tak rapidní jako v případě válcové nádrže. U novějších automobilů můžeme použít sadu pro zalepení pneumatiky, a tím tak plně využít zavazadlového prostoru. [9]

Nedílnou součástí nádrže je plynotěsná skříň, která má odvětrání směrem pod vůz a ústí do ní všechny armatury a průchody dovnitř nádrže. Pokud by došlo k selhání utěsnění potrubí

nebo by přetlakový ventil odpouštěl přebytečný plyn, unikne plyn pouze do této skříně a odtud se odvětrá.

Dalším důležitým prvkem, do kterého putuje plyn měděným potrubím, je regulátor. V celém systému je to nejchoulostivější součást, která zastává funkci odpařovače a zároveň regulace tlaku. Do regulátoru vstupuje kapalný plyn pod stejným tlakem, jako je v nádrži (cca 1 MPa), nastává jeho odpaření, snížení tlaku a vyregulování výstupního tlaku podle požadavků plnění motoru směsí. K odpaření pomáhá teplota vody z chladicího okruhu motoru, jelikož při rychlém snižování tlaku plynu klesá i teplota a může tak dojít k zamrznutí LPG. Při studeném motoru je vyšší riziko zamrznutí, a proto se dnes používá start motoru na benzin a následné přepnutí na plyn až po předepsaném ohřevu chladicí kapaliny v okruhu na teplotu nezbytnou k provozu regulátoru. Většinou se používají buď jednostupňové, a nebo dvoustupňové typy regulace. [9]

Až do této chvíle se principiálně činnost palivové soustavy téměř neliší. Popis v současné době nejrozšířenějších palivových soustav LPG rozvedu podrobněji v dalších kapitolách.

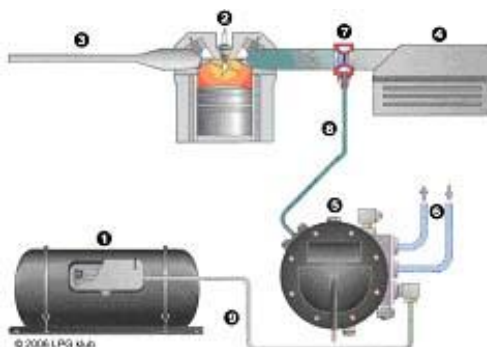
3.2 Princip podtlakového systému u motorů s karburátorem

Jedná se o nejjednodušší a stále používaný systém, který je určen převážně pro starší typy motorů s karburátorem. Není vhodný pro motory s katalyzátorem, což mohou být především různé typy s elektronicky řízeným vstřikováním, protože by mohlo dojít k poškození katalyzátoru. Následně by tak došlo ke zhoršení emisí a také jízdních vlastností. Zjednodušené schéma jsem uvedl na obrázku 1. Perfektní popis této soustavy cituji od Jiřího Heroda:

„Množství plynu proudícího do motoru je řízeno v reduktoru na základě podtlaku v sání motoru. Ten vychyluje malou membránu, která je táhlem napojená na provozní membránu. Ta je spojena společně s hlavní regulační pákou. Tento obvod reguluje množství LPG, které poté vstupuje do motoru. Minimální dávka plynného paliva pro volnoběh se nastaví šroubem přímo na reduktoru. Maximální dávka se nastavuje škrťícím šroubem na přívodní hadici, která vede z reduktoru do směšovače. Při poruše na zapalování může dojít k předčasnému zážehu paliva a k jeho vznícení (zpětný zápal). Jelikož je sání motoru od směšovače až k sacím ventilům plné LPG směsí, dojde k jeho vznícení. Tlaková vlna

v lepším případě poruší sací potrubí a vzduchový filtr. Proto se před směšovač montuje tzv. protišlehová klapka, která uzavře přístup od motoru k vzduchovému filtru a tlak pustí přes navlečenou pryž ze sání. Za normálních podmínek je v sání podtlak, který pryž přitlačuje a nedochází tak k přísávání vzduchu. K ovládání systému slouží přepínací modul, pomocí kterého si řidič zvolí, na jaké palivo chce automobil provozovat. Při přepínání z benzínu na LPG přepne spínač do mezipolohy, kde jsou uzavřeny oba provozní ventily. Musí počkat, až dojde k vyprázdnění benzinového potrubí a plovákové komory karburátoru. V okamžiku, kdy motor začne vynechávat, přepne spínač do polohy na LPG. Opačné přepnutí z LPG na BA probíhá bez mezipolohy. Do doby, než se naplní potrubí a plováková komora, pracuje motor ještě na zbytkový plyn. Tento systém má špatně řešenou regulaci množství paliva, tudíž nelze nastavit, aby pracoval optimálně v celém rozsahu otáček, teplot a zatížení. Dochází tedy ke zvýšení spotřeby plynu oproti benzínu, a to až o 10 %. Jeho výhodami jsou jednoduchost, snadná instalace, nenáročná údržba a hlavně relativně nízká pořizovací cena, která se pohybuje okolo 12 000 Kč.“ [3]

Obrázek č. 1 Schéma podtlakového systému LPG



Legenda:

1. Tlaková nádrž
2. Spalovací prostor
3. Výfukové potrubí
4. Filtr nasávaného vzduchu
5. Reduktor
6. Horkovodní okruh
7. Směšovač – mixér
8. Hadice LPG
9. CU potrubí

Zdroj: [6]

3.3 Princip systému s krokovým motorkem

Jde o zařízení velice podobné předchozímu podtlakovému, používané především u motorů s jednobodovým nebo vícebodovým vstřikováním s řízeným karburátorem. Maximální dávka LPG směsi je určována krokovým motorkem umístěným mezi reduktorem a směšovačem. Pro lepší představu jsem jej znázornil na obrázku 2. Oproti předchozímu systému je zde hlavní rozdíl v elektronicky řízené maximální dávce pomocí krokového motoru nebo v lepším případě také elektromagnetickým aktuátorem.

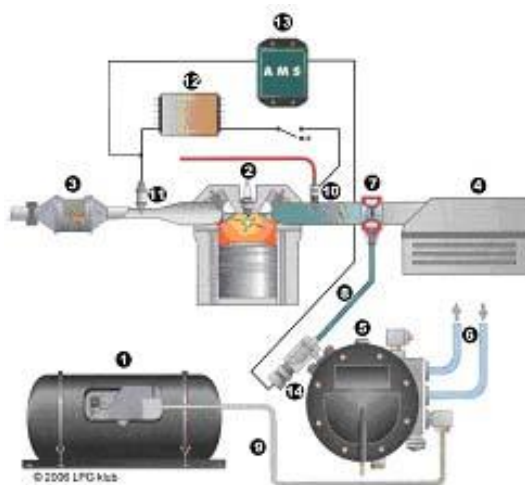
„Pro výpočet potřebného množství paliva se využívá signálu lambda sondy, která prostřednictvím elektrického signálu hlásí řídicí jednotce informaci o okamžitém složení směsi (o odchylce složení směsi od hodnoty $\lambda=1$), a tím umožňuje řídicí jednotce provést regulaci směsi opět na stechiometrický poměr. Dále signálu ze zapalování, polohy škrticí klapky a signálu snímače teploty chladicí kapaliny. Tento regulační systém neustále udržuje stechiometrický poměr vzduchu a paliva. Tím se dosahuje lepších hodnot výkonu i spotřeby a splňují se přísnější emisní normy.“ [3]

Přepínacím modulem může řidič určit palivo, které bude motor spalovat. Jsou zde tři polohy spínače. První určuje jízdu pouze na plyn, druhá pouze jízdu na benzin a třetí mezipoloha je tzv. „benzostart“. Tato funkce zajišťuje start na benzin a následné automatické přepnutí na plyn po ohřátí motoru a zároveň při mírném zvýšení otáček. Vypnutí přívodu benzínu je řešeno odpojením benzinových vstřikovačů. Jelikož by toto odpojení generovalo velké množství chyb v řídicí jednotce motoru, je zároveň po přepnutí na plyn v signálu pro benzinové vstřikovače generován stejný odpor, který simuluje jejich správnou funkci, aniž by byl benzin vstřikován.

U tohoto systému může také dojít k předčasnému zážehu paliva a k jeho vznícení, což zde opět určuje nutnost použití protišlehové klapky.

Hlavní výhodou celého systému je ještě přijatelná cena přestavby, která se v současné době pohybuje okolo 18 000 Kč. Nevýhodou je však vyšší spotřeba a menší výkon oproti benzinu.

Obrázek č. 2 Schéma podtlakového systému s krokovým motorkem



Legenda:

1. Tlaková nádrž
2. Spalovací prostor
3. Katalyzátor
4. Filtr nasávaného potrubí
5. Regulátor tlaku
6. Horkovodní okruh
7. Směšovač – mixér
8. Hadice LPG
9. CU potrubí
10. Benzinový vstříkovač
11. Lambda sonda
12. Benzinová řídicí jednotka
13. Plynová řídicí jednotka
14. Krokový motorek

Zdroj: [6]

3.4 Princip systémů se vstříkáváním plynného LPG

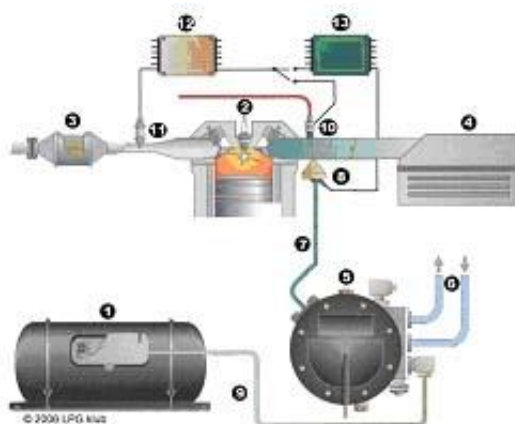
Základním rozdílem oproti předchozím systémům je dávkování LPG přímo do sacího potrubí v blízkosti benzinových vstříkovačů u hlavy motoru. Zlepšení se projevilo hlavně v rychlosti a přesnosti dávkování plynu a také díky přidání dalších signálů motoru.

Systém „Flying injector“ firmy BRC používá jako hlavní signály od benzinových vstříkovačů kombinované se signálem otáček (dále jen RPM) a díky tomu může fungovat i bez připojené lambda sondy, jelikož využívá regulační systém z benzinové řídicí jednotky. Dalším je IGS od firmy Landi Renzo, který používá jako hlavní MAP senzor

nebo signál zátěže motoru kombinovaný s polohou škrtící klapky (dále jen TPS) a RPM. S jeho vylepšením nazvaným ETA GAS přišla firma Tartarini, jelikož umožňuje adaptování křivky zátěže na dávkování plynu při jízdě. Základní křivku dávkování lze nastavit při namontování. [5]

Rád bych zmínil typ vstřikování DGI (kontinuální vstřikování) od firmy AG Autogas systems, který využívá signálů TPS, zátěže motoru, RPM a lambda sondy. Představuje aplikaci klasického vícebodového vstřikování benzínu. Dosavadní přestavby tzv. degradovaly motory s vícebodovým vstřikováním benzínu na karburátorové motory. U systému DGI je palivo pod stálým tlakem 0,8 baru přivedeno do vstřikovače, kde je regulováno množství vstříknutého paliva LPG podobně jako u benzinového. Ve výstupu vstřikovače je průtokoměr měřící množství vstříknutého LPG, který tuto informaci posílá řídicí jednotce plynu. Dávku pak rozdělí separátor umístěný za měřičem do čtyř stejných pulsů, aby během sání došlo k dokonalejšímu promíslení paliva se vzduchem. Do sacího potrubí je plyn vstříknut pomocí malých beztlakových regulátorů v blízkosti ventilů. Pokud se uzavře klapka a dochází k deceleraci, přeruší se i dodávka plynu do vstřikovače. Tento systém tak zcela zamezuje zpětným zášlehům do sacího potrubí. Zároveň je téměř nezatelný (2–3%) rozdíl ve výkonu oproti jízdě na benzin, a tím i téměř stejná spotřeba. V porovnání s benzinem dosud nízké hodnoty škodlivých emisí se ještě snížily, takže odpovídají přísným evropským normám Euro 2, Euro 3 a Euro 4. Jelikož má tento systém vlastní vyhodnocovací jednotku (průtokoměr a separátor) dávkování plynu, není závislý na funkčnosti řízení směsi benzínu. Stejně jako předešlé systémy je řídicí jednotka LPG zařazena paralelně podle níže uvedeného obrázku 3. [5]

Obrázek č. 4 Schéma sériového zapojení se vstřikováním plynného paliva



Legenda:

1. Tlaková nádrž
2. Spalovací prostor
3. Katalyzátor
4. Filtr nasávaného vzduchu
5. Regulátor tlaku
6. Horkovodní okruh
7. Hadice LPG
8. Vstřikovač LPG
9. CU potrubí
10. Benzinový vstřikovač
11. Lambda sonda
12. Benzinová řídicí jednotka
13. Plynová řídicí jednotka

Zdroj: [6]

Sekvenční vstřikování plynu již nepotřebuje žádné emulátory OBD ani odlišná schémata pro různé typy vozidel. Zapojení je u všech vozidel téměř shodné a je možné jej instalovat bez obav i pro nová vozidla vybavená EOBD a OBD II se dvěma nebo i čtyřmi lambda sondami. Jednoduché zapojení a univerzálnost celého systému je velkou výhodou. Systém používá proměnlivého přetlaku z regulátoru podle zátěže motoru. Nezapojují se žádné přímé signály motoru jako lambda sonda, TPS a další, jelikož pro optimální běh PŘJ postačují pouze signály z jednotlivých benzinových vstřikovačů, RPM a údaje o zátěži motoru. Umožňuje také přestavby vozů se systémy multiplex. Díky nízko-objemovým a elektronickým vstřikovačům, rychlosti PŘJ a MAP sensorům snímajícím tlak regulátoru a podtlak sání lze tento unikátní systém použít pro každé vozidlo až do počtu 8 válců. Další možnost přestavby se týká motorů s turbem bez prodlevy v akceleraci a bez dalších potíží, které přinášely přestavby s předchozími systémy.

Princip systému se vstřikováním plynné fáze má tyto výhody:

- Nemůže dojít ke zpětnému zášlehu, jelikož plyn se dostane do spalovacího prostoru bez prodlevy (zvýšený přetlak a trysky jsou umístěny téměř u hlavy motoru);
- LPG je pod stálým tlakem až ke vstřikovačům, což zabraňuje ztrátě energie při nasávání plynu, čímž je možné využít celou energii podtlaku k nasávání vzduchu;
- Oproti předchozím systémům je výrazně nižší spotřeba (přibližně o 10 % v městském provozu).

Nevýhodou je o něco vyšší pořizovací cena (v roce 2010 kolem 27 400 Kč) a větší množství kabeláže.

3.5 Princip systémů se vstřikováním plynného LPG pro motory FSI a TFSI

Motory FSI a TFSI používají vstřikování benzínu přímo do spalovacího prostoru motoru na rozdíl od ostatních, které vstřikují palivo do sacího potrubí před sací ventily. Toto vstřikování je náročnější na přestavbu do LPG, jelikož nelze použít běžnou sadu pro sekvenční vstřikování popsanou v předchozí kapitole. Je nutné použít speciální sadu určenou pro konkrétní vozidlo, rok výroby a kód motoru. Jedině ta zaručí bezproblémový provoz motoru na LPG i na původní benzinové palivo. Systém využívá nové strategie, která zabraňuje poškození benzinových vstřikovačů při provozu na LPG. Ty jsou při větším zatížení vystaveny vysokým teplotám a při běžném provozu jsou benzinem zároveň chlazeny. Použitím klasického sekvenčního vstřikování LPG by došlo k úplnému odstavení benzinových vstřikovačů, což by vlivem vysoké teploty vedlo k jejich zničení a znemožnění provozu na benzin. Nebylo by pak možné nastartovat na benzin, což je u všech LPG systémů nezbytné. Speciální sada pro tyto motory je konstruována způsobem, který je ochrání. Každá z těchto sad speciálně určených pro konkrétní vozidlo je před uvedením na trh důkladně testována a program upravován podle potřeb automobilu, pro něž je určena. Z tohoto důvodu je nabídka zatím dost omezena.

Funkce tohoto systému spočívá v tom, že v žádném režimu motoru nedochází k úplnému odstavení benzinových vstřikovačů, jelikož i při provozu na LPG je občas vstřikován benzin. Tyto dávky nejsou v celém režimu výkonu motoru stejnoměrné, ale podle výkonu se stále mění, jak je znázorněno v následujícím grafu číslo 1. Nejsou zde uvedena žádná konkrétní čísla, protože se liší podle typu motoru a výrobce LPG zařízení je ani nikde neuvádí. [2]

Graf č. 1 Spotřeba LPG a benzinu u FSI motorů podle zatížení



Zdroj: [2]

Při volnoběžných otáčkách je spotřeba benzinu maximální bez dodávky plynu. V nejpoužívanějším režimu, tedy v oblasti střední zátěže motoru, je dodávka benzinu jen minimální a většina spotřebovaného paliva je LPG. Při vysoké zátěži pak postupně roste spotřeba benzinu na úkor plynu. V praxi bývá poměr spotřebovaného paliva tento:

- při úsporné jízdě cca 95 % LPG a 5 % benzinu,
- při vysoké akceleraci se spotřeba paliva mění v poměru 65 % LPG a 35 % benzinu.

3.6 Princip vstřikování LPG v kapalném stavu

Nejnovějším a zároveň také nejdražším systémem je v poslední době vstřikování kapalného LPG. Výhodou je zvýšení výkonu a točivého momentu motoru při zachování spotřeby a také snížení škodlivých emisí výfukových plynů. Kapalně LPG hned po vstříknutí před sací ventily okamžitě přejde do plynné fáze, čímž dojde k ochlazení nasávané směsi a umožní tak nasátí většího hmotnostního množství vzduchu i ochlazení spalovacího prostoru. To se pak příznivě projeví i na problematických NOx částicích ve výfukových plynech. Nevýhodou je hlavně vyšší cena soupravy pro montáž (v současné době pro 4válec je cena 46 200 Kč bez DPH) a krátká životnost některých dílů. Nejčastěji je nutné měnit vstřikovací trysky, které jsou hodně namáhané poklesem teploty při rychlém zplynování vstupujícího kapalného LPG (používá se proto elektrické vyhřívání). Celkem výstižně je systém popsán na stránkách firmy Autogascoubal (www.autogascoubal.cz), která pro montáž používá výhradně holandského výrobce Vialle.

„Způsob funkce zařízení na LPG se podobá benzinovému vstřikovacímu zařízení. Zkapalněný plyn pro pohon automobilů (nazývaný také tekutý plyn nebo LPG) je samostatnými přívody přiváděn pod tlakem přímo před sací ventily jednotlivých válců. Vstřikovací množství plynu řídí mikroprocesor a zajišťuje příznivé spalování v motoru s nízkým obsahem škodlivin. Zařízení LPi se snaží v co největší míře využívat řídicí jednotku motoru. Snímá tedy dobu vstřiku a té přiřazuje dobu vstřiku LPG. Pro výpočet korekcí bohatosti zatížení a předstihu je zde benzinová jednotka a je tedy výhodné nechat ji nadále pracovat a řídit. Aby mohlo zařízení LPi pracovat korektně, musí vstřikovat kapalinu. Vzhledem k tomu, že za normálních podmínek by docházelo v oblastech motoru ke zplynování, je v nádrži umístěné čerpadlo, které zajišťuje potřebné zvýšení tlaku a cirkulaci LPG. Od čerpadla do motorového prostoru vedou vysokotlaké hadice – na rozdíl od ostatních zařízení naše LPi nepoužívá měděné trubky. Tyto vysokotlaké hadice totiž lépe izolují protékající plyn od okolních zdrojů tepla a kladou též menší odpor protékající kapalině. Jsou dostatečně pevné, aby vydržely tlak do 3 MPa. Mezi nádrží a vstříky je rozvodný blok, který obsahuje regulátor tlaku, snímač tlaku a uzavírací ventil. Udržuje tlak ve vstřikovačích a v případě potřeby uzavírá LPG vedení. Odtud je LPG vedeno ke vstříkům LPG a nespotřebovaná část se přes rozvodný blok zpětným vedením vrací do nádrže.“ [10]

4. Popis palivové soustavy

Zde bych chtěl popsat palivovou soustavu LPG namontovanou na vozidle Volkswagen Golf. Vozidlo bylo vyrobeno v roce 2005 a do provozu bylo uvedeno o rok později. Bylo zakoupeno hlavně pro potřeby cestování mimo město, ale občas je provozováno i v městském provozu.

Několik týdnů po zakoupení bylo u vozu namontováno sekvenční 4válcové vstřikování plynné fáze od firmy STAG. Montáž prováděla firma Autogascoubal, která byla založena již roku 1990 a postupně se rozvíjela v oblasti montáží LPG. Jedná se o firmu rodinného typu a pouze jako poznámku bych rád uvedl, že v této firmě pracuje i můj otec Vladimír Zahradník jako technik a mechanik.

4.1 Seznam komponentů pro sekvenční vstřikování LPG – sériové zapojení

Popis nejdůležitějších součástí celé sady namontované na uvedeném vozidle:

4.1.1 Plynová řídicí jednotka STAG-4

Na vozidle je použita tato PŘJ vzhledem k velmi příznivé ceně, spolehlivosti a velké stabilitě na motorech tohoto typu.

Zastává mnoho funkcí včetně dávkování plynu do vstřikovačů podle jízdního režimu. Řídí dobu vstřiku plynu na každém válci zvlášť podle signálu z benzinových vstřikovačů. Upravuje potřebný tlak plynné fáze LPG pro vstřikovače na základě zatížení motoru, neboli z údajů o podtlaku. Zachovává plně funkční BŘJ, jelikož po odpojení benzinových vstřikovačů (při jízdě na LPG) simuluje jejich bezchybný chod. Palubní diagnostika čili OBD stále pracuje s BŘJ a celý systém se chová stabilně, jako by pracoval s benzinem.

4.1.2 Snímač tlaku plynné fáze

Pro přesné řízení směsi plynné fáze je snímač tlaku napojen na sání motoru a pomocí reduktoru reguluje potřebný tlak pro vstřikovače.

4.1.3 LPG vstřikovače

Umožňují dávkovat přesné množství plynné fáze LPG do sacího potrubí k jednotlivým válcům. Dobu otevření určuje PŘJ a díky jednoduché konstrukci a vysoké rychlosti dokážou vstřikovače reagovat na všechny druhy jízdních režimů. Jsou umístěny co nejbliže k válcům v uchycení zvaném „common rail“.

4.1.4 Reduktor

Reduktor nebo někdy též nazývaný regulátor tlaku upravuje tlak přivedený z nádrže na požadovanou hodnotu (přibližně od 0,8 do 2,5 baru). Je napojen na chladicí okruh motoru a po dosažení určité teploty funguje jako tzv. „zplynovač“, který odpařuje tekuté palivo. Obsahuje také elektromagnetický ventil pro sepnutí celého plynového systému a filtr zabraňující vniku nečistot z paliva. Teplota celého reduktoru je monitorována pro PŘJ pomocí čidla umístěného uvnitř, viz „Temperature senzor“ z přílohy číslo 12.

4.1.5 Filtr plynné fáze LPG

Zabraňuje vzniku nečistot do vstřikovačů. Zde je použit jednorázový typ.

4.1.6 Přepínací modul

Je umístěn v kabině vozidla, aby byl k dispozici řidiči. Pomocí jediného tlačítka lze přepnout mezi LPG a benzinem. Zelená dioda vedle tlačítka signalizuje několik stavů:

- krátké přerušované blikání znamená jízdu na benzin po startu, po ohřátí motoru následně dojde automaticky k přepnutí na LPG;
- rychlé přerušované blikání signalizuje provoz na benzin z důvodu chyby na plynovém zařízení (jako chyba může být i nedostatek paliva v nádrži, což se projeví nedostatečným tlakem na reduktoru);

- svítí-li, vozidlo je poháněno pouze plynem;
- nesvítí-li, vozidlo je poháněno pouze benzinem;

Dalších 5 diod umístěných vedle sebe signalizuje aktuální hladinu paliva v nádrži, přičemž poslední z nich bývá červená jako signalizace rezervy.

Společně s přepínacím modulem je do jednoho svazku kabelů připojena i akustická signalizace, která varovným tónem signalizuje poruchu a jiné události.

4.1.7 Plnicí přípojka

Umožňuje načerpání paliva do nádrže. Je umístěna ve spodní části zadního nárazníku nebo také bývá umístována v prostoru pod krytkou pro tankování benzínu. Plnicí přípojka je vybavena zpětným ventilem, který zabraňuje úniku LPG z plnicího potrubí a nádrže po odpojení. Do závitu uprostřed přípojky je zašroubována plastová zátka zabraňující vniknutí nečistot.

4.1.8 Tlaková toroidní nádrž

Slouží k uskladnění LPG ve vozidle a její životnost je 10 let. Je umístěna v zavazadlovém prostoru místo rezervy. Ta je pak přimontována pomocí držáku k pevné desce také v místech pro zavazadla.

4.1.9 Měděné potrubí

Měděné potrubí o průměru 8 mm spojuje plnicí přípojku s toroidní nádrží. Trubka s průměrem 6 mm spojuje nádrž s reduktorem. Podle předpisu musí být veškeré potrubí opatřeno ochrannou plastovou vrstvou a mělo by být v maximální míře vedeno mimo vnitřní část karoserie.

4.1.10 Multiventil

Je umístěn v jediném otvoru nádrže jako víceúčelový ventil, který v sobě sdružuje několik funkcí týkajících se plnění, vyprazdňování a ochrany nádrže. Tento otvor s multiventilem bývá na nádrži umístěn ve vnitřním prostoru toroidu, jak je vidět na obrázku číslo 5.

Obrázek č. 5 Multiventil v plynotěsné skříni toroidní nádrže



4.1.11 Plynotěsná skříň

Na vozidle je umístěna ve vnitřním prostoru, který tvoří toroidní nádrž.

Odtud vedou veškeré kabely a potrubí pod vůz. Na obrázku číslo 5 je skříň zobrazena bez horního těsnícího víka.

4.2 Program pro diagnostiku Ac Gas Synchron

Existuje několik diagnostických programů k různým sadám pro montáž. Například pro japonské značky vozidel se montují sady od firmy Elpigaz, jelikož zařízení dokáže částečně směs plynu proložit vstřikem benzínu, čímž jsou lépe mazána sedla ventilů. Tyto motory bývají více náročné a touto funkcí se dá zabránit klepání ventilů. Nevýhodou bývá vyšší pořizovací cena řádově o 2 000 Kč. Pro sekvenční vstřikování kapalné fáze LPG se používá program od firmy Vialle.

Podrobněji zde bude popsán systém od firmy STAG, který používá pro diagnostiku program Ac Gas Synchron a je namontován na uvedeném vozidle.

Diagnostický program slouží k základnímu nastavení parametrů pro PŘJ, prvotní autokalibraci a především pro úpravy doby vstřiku plynových vstřikovačů podle benzinových.

4.2.1 Připojení

Z plynové řídicí jednotky STAG-4 je vyveden konektor, do kterého lze zapojit pouze převodník se zakoupenou licencí. Ten umožňuje propojení s PC přes port USB nebo RS232. Na PC (nejlépe přenosném notebooku, vzhledem k možnosti diagnostiky i za jízdy) musí být nainstalována nejnovější verze programu Ac Gas Synchron dostupná zdarma ze stránek výrobce (www.ac.com.pl). V tomto případě byla použita v současné době nejnovější verze 6.0.0.37.

4.2.2 Parametry

Z výroby má každá PŘJ přednastavené hodnoty, které se musí upravit pro příslušný motor a namontovaný systém. Všechny hodnoty se dají uložit do souboru a zpětně zapsat do PŘJ. Aktuální nastavené hodnoty na popisovaném vozidle jsou zobrazeny v příloze 11.

První část se týká parametrů motoru, kde je nastaven počet válců, počet cívek, napěťový signál otáček, zdali má motor filtr otáček a jestli jde o přeplňovaný typ motoru či standardní. Dále volíme typy lambda sondy, vstřikování LPG a vstřikování benzínu (sekvenční, polosekvenční nebo fullgroup).

Druhá část se týká nastavení řídicí jednotky plynu. Dá se zde nastavit požadovaná teplota chladicí kapaliny a otáčky motoru pro přepnutí do plynu (po startu na benzin). Čas pro přepnutí udává minimální počet sekund od nastartování v benzinovém režimu a přepnutí válců udává čas přepnutí mezi jednotlivými válci v milisekundách. Dalšími parametry, jako jsou minimální teplota plynu, minimální a maximální otáčky na plyn, můžeme nastavit podmínky pro přepnutí zpět do benzínu.

Tlakový senzor (viz „pressure senzor“ v příloze číslo 12) snímá tlak plynné fáze LPG proudící z reduktoru. V parametrech se dá upravit minimální a pracovní tlak, aby PŘJ v případě neodpovídajících hodnot zjistila poruchu.

Program umožňuje vybrat druh paliva, a to buď LPG, nebo CNG. Nutné je i nastavení typu vstřikovače pro příslušné palivo. Výběr je z patnácti typů, které se liší značkou a především odporem. Nastavení korekce plynových vstřikovačů se používá jen v krajním případě a udává procentuální rozdíl oproti běžnému nastavení pro každý válec zvlášť.

Může to být použito například u motorů s umístěním válců do „V“. Pod tlačítkem „Ukazatel hladiny plynu“ lze nastavit počet rozsvícených diod na přepínacím modulu při určitém napětí (viz příloha číslo 10), odečteného z odporového čidla umístěného pod multiventilem podle momentální polohy plováku v nádrži.

Poslední možností na této záložce jsou informace o řídicí jednotce. Udává sériové číslo PŘJ, datumy a časy připojení k PC, počet hodin provozu na benzin a plyn. Je zde možnost nastavit signalizaci nutné kontroly po určité době provozu.

4.2.3 Autokalibrace

Po namontování celé sady do vozidla je nutné ohřát motor nejméně na 50 °C a spustit autokalibraci na další záložce. Po načtení pracovních hodnot, se program zastaví a vyzve technika k načtení hodnot při zatížení na záložce Mapa.

4.2.4 Mapa

Tato záložka zobrazuje na horním grafu v reálném čase benzinové a plynové doby vstřiku v závislosti na podtlaku. Pro lepší představu zobrazených grafů v programu jsou snímky obrazovky uloženy do příloh.

V první fázi zatěžujeme motor ve všech jízdních režimech na benzin, čímž se do grafu načte benzinová mapa. V druhé fázi provedeme stejné zátěže na LPG, aby se zde zobrazila i plynová mapa. Výsledek udává dobu vstřiku plynu (zelená) a benzinu (modrá) při určitém zatížení neboli podtlaku v sání. Graf zároveň zobrazuje oranžovou křivkou mapu množníku (multiplikátoru), jehož hodnoty jsou vyznačeny na levé ose. Hodnota uvedená množníkem uvádí konstantu, kterou se násobí čas vstřiku benzinu. Po přepnutí horního grafu na záložku Odchylka můžeme vidět rozdíl mezi benzinem a plynem (zobrazeno červenou křivkou, viz příloha číslo 5). Ručním nastavením pak lze měnit množník pro jednotlivé doby vstřiku. Provádí se posunem žlutých bodů na grafu (viz přílohy číslo 1–5). Zkušený technik pozná, zda lze přidat či ubrat, podle aktuálních údajů zobrazených v pravém panelu. Sledované hodnoty jsou především podtlak (MAP), napětí na lambda sondě a doba vstřiku. Všechny hodnoty lze zaznamenat v reálném čase na dolním grafu této záložky po zaškrtnutí jednotlivých údajů zobrazených na pravém panelu včetně možnosti plynulého nahrávání průběhu.

4.2.5 Chyby

Při diagnostice nebo i běžném provozu může PŘJ zjistit různé závady. Ty jsou uloženy do paměti a je možné si je prohlédnout na záložce Chyby. Jsou zde evidovány na základě neočekávaných hodnot čidel celého systému. Pro názornou ukázkou jsme simulovali vadný první plynový vstřikovač odpojením přívodního elektrického kabelu při zapnutém zapalování. Zobrazenou chybu lze vidět v příloze číslo 6.

4.2.6 Nastavení a Data recorder

Na záložce Nastavení jsou předvolené typy teplotních čidel na reduktoru a plynu. Většinou jsou nastaveny od výroby podle instalované sady, ale je možné je změnit. Záložka Data recorder slouží k záznamu a přehrávání celého procesu nastavení včetně zátěžových křivek.

5. Ekonomické zhodnocení provozu na LPG

Při rozhodování o přestavbě vozidla na LPG má velký význam především dostupnost paliva a cena.

5.1 Dostupnost

Od doby začátku devadesátých let minulého století, kdy počet čerpacích stanic u nás by se dal spočítat na prstech jedné ruky, se mnohé změnilo. Dostupnost paliva se s přibývajícím počtem čerpacích stanic zvyšovala a v současné době je nejrozšířenějším alternativním palivem. Ve světě je více jak 13 milionů přestavěných vozů a Evropa z toho tvoří téměř třetinu. V České republice (dále jen ČR) jezdí na LPG v současnosti celkem 130 000 osobních vozidel a 6 000 nákladních. Za celý rok 2010 bylo podle odhadů LPG klubu realizováno téměř 10 000 přestaveb. Čerpacích stanic v Evropě je dohromady 17 500, z toho 870 se nachází na území ČR. Jelikož objem LPG v kapalném stavu je 274krát menší než v plynném, jsou jeho skladovací možnosti bohaté (od klasických PB lahví až po podzemní tanky) a jeho transport je značně jednoduchý. Z mého pohledu je tedy dostupnost LPG více než dobrá. [11]

5.2 Cena

Litr LPG je většinou možné pořídit za polovinu ceny litru benzínu. Dá se říci, že cena LPG kopíruje růst a pokles cen benzínu s poloviční hodnotou. Důvodem nižší ceny je nižší prodejní cena rafinerií a zároveň nízká sazba spotřební daně, která tvoří přibližně jednu pětinu. U benzínu a nafty je spotřební daň z celkové ceny třetinová. Aktuální cena LPG se pohybuje kolem 17 Kč za litr (únor 2011).

5.3 Ekonomické srovnání provozu mezi LPG a benzinem

Ekonomické srovnání pohonu mezi oběma palivy provedu na již popisovaném vozidle Volkswagen Golf. Pro přesnější orientaci uvádím základní údaje z technického popisu vozidla v tabulce 1.

5.3.1 Spotřeba LPG

Tabulka č. 1 Základní hodnoty z velkého technického průkazu vozidla VW Golf

Tovární značka	Volkswagen		
Obchodní označení	Golf		
Druh vozidla	Osobní		
Provozní hmotnost [kg]	1333		
Zdvihový objem [cm ³]	1595		
Palivo	BA 95B+LPG		
Max. výkon [kW] / Otáčky [min. ⁻¹]	75 / 5600		
Spotřeba ve městě [l×100 km ⁻¹]	10,0	240	CO ₂ [g.km ⁻¹]
Spotřeba mimo město [l×100 km ⁻¹]	5,8	139	
Spotřeba kombinovaná [l×100 km ⁻¹]	7,4	178	
Typ plynového zařízení	AGC 01-11		
Celkový objem plynové nádrže [l]	46,0		

Vozidlo bylo několik týdnů provozováno na benzin jak ve městě, tak mimo město. Spotřeba se po delší době ustálila na hodnotě 7,3 litrů na 100 kilometrů (dále jen $l \times 100 \text{ km}^{-1}$), což téměř odpovídá hodnotě kombinované spotřeby z technického průkazu.

Po přestavbě se údaje o spotřebě při jízdě na plyn zvedly na dlouhodobý průměr $7,81 \times 100 \text{ km}^{-1}$. Tento údaj rozhodně neodpovídal skutečnosti, jelikož při propočtu z ujetých kilometrů a natankovaných litrů u čerpacích stanic, které jsem zaznamenával, vycházela dlouhodobá hodnota $8,81 \times 100 \text{ km}^{-1}$. Skutečná průměrná kombinovaná spotřeba se tedy oproti benzínu zvýšila o 20,5 %.

„Objemová výhřevnost směsi plynu je nižší než objemová výhřevnost benzinové směsi. Kromě toho benzinová směs určitým způsobem chladí motor zevnitř (využití výparného tepla) a tím zlepšuje plnicí účinnost motoru, zatímco u plynu tuto vlastnost využít nemůžeme.“ [9]

V případě vstříkovaní kapalného LPG bychom však možnost chlazení mohli vzít v úvahu. V tabulce jsou uvedeny fyzikální vlastnosti paliv, ze které jsem uvedl pouze nejdůležitější dvě.

Tabulka č. 2 Základní vlastnosti LPG a BA

Palivo	LPG	BA
$T_{\text{varu}} [^{\circ}\text{C}]$	≈ -30	30-190
Výparné teplo [kJ/kg]	≈ 353	420
Hustota [kg/dm ³]	$\frac{0,538}{2,060^*)}$	0,748
Směšovací poměr	15,5	14,7
Výhřevnost paliva [MJ/kg]	$\approx 45,8$	43,9
Výhřevnost paliva [MJ/dm ³]	$\approx 24,8$	32
Výhřevnost směsi [MJ/m ³]**	$\approx 3,72$	3,75
Oktanové číslo (VM)	≈ 100	97

*) v plynném stavu, kg/m³

***) v plynném stavu

Zdroj: [9]

„Hodnoty udávané pro LPG nejsou zcela přesné, neboť závisí na míšicím poměru jednotlivých plynů v propan-butanové směsi. Povšimněme si však jedné zajímavé skutečnosti: objemová výhřevnost směsi paliva se vzduchem je pro všechna nejčastěji užívaná paliva za srovnatelných podmínek téměř stejná (rozdíly řádově jednotky %), z čehož vyplývá, že rozdíly ve výkonových parametrech motorů by měly být téměř zanedbatelné. Praxe je ovšem trochu odlišná, protože do hry vstupuje řada dalších faktorů, ať již fakt, že benzinová směs je směsí kapaliny se vzduchem, zatímco plynová směs je čistý plyn, nebo např. odlišný průběh hoření plynových a benzinových směsí.“ [9]

Spotřeba se tedy zvýšila nepatrně kvůli malému rozdílu ve výkonu motoru (u sekvenčních systému nižší řádově o 2–3 %), ale především kvůli nižší výhřevnosti paliva (o 22,5 %) přepočítané na litry. V tabulce číslo 2 se jedná o hodnotu uvedenou megajoulech na decimetr krychlový.

5.3.2 Výpočet návratnosti investice přestavby

V následující tabulce uvádím zjištěné průměrné spotřeby benzínu a LPG, náklady na počáteční montáž a další nezbytné položky související s nutnými náklady pro provoz vozidla s LPG pohonem. Cenu LPG budu zpětně i do budoucna uvažovat konstantní, i když ve skutečnosti se obě hodnoty budou v průběhu času lišit.

Tabulka č. 3 Průměrné spotřeby benzínu a LPG včetně nákladů ovlivňujících investici

Průměrná spotřeba plynu	8,8	litrů na 100 km
Průměrná spotřeba benzínu	7,3	litrů na 100 km
Průměrná cena plynu	17,1	Kč za litr
Průměrná cena benzínu	34,2	Kč za litr
Montáž včetně DPH	27 360	Kč
Revize po ujetí 10 000 km	330	Kč
Filtr kapalně fáze LPG po ujetí 15 000 km	280	Kč
Filtr plynné fáze LPG po ujetí 30 000 km	350	Kč
Servis 4 vstřikovačů po ujetí 30 000 km	1 520	Kč
Výměna svíček po ujetí 15 000 km	920	Kč

Dále uvádím spočítané náklady na provoz popisovaného vozidla při ujeté vzdálenosti na plynový provoz a při provozu na benzin bez investice do přestavby. Celková úspora je označena v pravém sloupci.

Tabulka č. 4 Celkové náklady při určitých najetých vzdálenostech včetně rozdílu v Kč

Ujeté km	Náklady při provozu na benzin	Náklady při provozu na LPG	Úspora oproti benzínu
5 000	12 483	34 884	-22 401
10 000	24 966	42 738	-17 772
15 000	37 449	51 462	-14 013
20 000	49 932	59 316	-9 384
25 000	62 415	66 840	-4 425
30 000	75 818	77 764	-1 946
32 000	80 811	80 774	38

5.4 Zhodnocení investice do přestavby

Mnoho zdrojů uvádí, že se řidiči investice do přestavby vyplatí, najede-li s vozidlem nejméně 15 000 km za rok. Některé firmy na svých internetových stránkách dokonce provozují jakýsi kalkulátor, který dokáže podle zadaných hodnot spočítat ušetřené náklady na 1 ujetý kilometr. Ovšem výpočet je vždy hodně orientační. Skutečná hodnota však může být jiná, vzhledem těmto okolnostem:

- ceny obou paliv se mohou lišit a jejich vzájemný poměr též;
- ceny ostatních nákladů spojených se servisem se také v průběhu času mění;
- rozdíl mezi spotřebami obou paliv se může snižovat nebo zvyšovat v závislosti na druhu jízdy, kvalitě paliva, jízdních podmínkách;
- při provozu na LPG je třeba započítat i mírnou spotřebu benzínu vzhledem ke startům motoru (v zimě je spotřeba vyšší a v létě nižší), což závisí na okolní teplotě a počtu startování k ujeté vzdálenosti.

Závěr

V této bakalářské práci jsem nastínil problematiku LPG jako alternativního paliva a podrobněji popsal nejrozšířenější systémy určené pro přestavbu osobních vozidel na tento pohon. Chtěl jsem objasnit výhody a nevýhody těchto technických řešení. Zároveň jsem podrobněji rozvedl program pro diagnostiku přestavěných vozidel zvaný Ac Gas Synchro, protože umožňuje pochopit základní princip fungování celého systému sekvenčního vstřikování plynné fáze LPG.

Vycházel jsem z odborných znalostí a zkušeností servisních techniků z firmy, která provedla montáž na popisovaném vozidle Volkswagen Golf. Měl jsem možnost podrobně prozkoumat, jak se diagnostikují nově přestavěné automobily. Sledoval jsem proto stěžejní hodnoty motoru, jako je podtlak v sání, doba vstřiku a násobitel, a zároveň se seznámil s úpravou nastavení v zátěži u různých jízdních režimů. Tato praktická zkušenost byla pro mne velkým přínosem k pochopení mnoha funkcí, což by mi do budoucna mohlo umožnit spolupráci s některou firmou v oblasti vývoje nebo přestaveb LPG.

U zmíněného automobilu jsem sledoval dlouhodobou spotřebu benzínu a následně LPG, náklady spojené se zabudovaným systémem a náklady nutné pro provoz tohoto zařízení. Výsledné hodnoty jsem v poslední kapitole porovnal. Podařilo se mi objasnit, že návratnost investice do přestavby se ve výše uvedeném konkrétním případě vyplatí až po ujetí přibližně 32 000 km od montáže. Jednoduchým výpočtem jsem zjistil, že po překonání této hranice se náklady na ujetý kilometr sníží o 0,85 Kč.

Celé zařízení určené pro provoz na LPG podléhá ze zákona záruční lhůtě 24 měsíců, což je doba, za kterou by se v ideálním případě měla celá investice vrátit. Při zachování současného životního stylu ujede majitel popisovaného vozidla vzdálenost 32 000 km za 19 měsíců. Z tohoto pohledu mohu říci, že se investice vyplatí ještě v záruční době namontovaného alternativního pohonu.

Rozhodně bych tento systém sekvenčního vstřikování plynné fáze LPG od firmy STAG doporučil jako alternativu pro ty, kteří smýšlejí ekonomicky, a může být vhodná i pro ty, kteří myslí ekologicky. Přestavbu bych nedoporučoval majitelům vozů, kteří za rok ujedou

méně než 15 000 km. V případě, že jejich automobil má průměrnou spotřebu benzinu mezi 7 a 8 litry na 100 kilometrů by se jim investice nemusela vrátit, avšak u motorů s vyšší spotřebou se může návratnost investice do přestavby vyplatit už při kratší ujeté vzdálenosti. Relativně vyšší pořizovací cena zařízení může některé motoristy odradit, ale kompenzací jim budou téměř poloviční náklady na ujetou vzdálenost oproti benzinu.

Seznam použité literatury

1. BOUČEK, Jan. *Alternativní palivo LPG* [online]. Publikováno 3.12.2003 [cit. 2011-03-06]. Dostupné z: <<http://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/alternativni-palivo-lpg>>.
2. *Funkce systému vstřikování LPG pro motory FSI a TFSI* [online]. Publikováno 2009 [cit. 2011-02-19]. Dostupné z: <<http://www.gera.cz/lpg/prestavba-fsi-na-lpg.php>>.
3. HERODES, Jiří. *Technicko – ekonomické a ekologické zhodnocení pohonu na LPG u vozidla Škoda 105 L*. Pardubice, 2010. 56 s. Bakalářská práce na Dopravní fakultě Jana Pernera na katedře dopravních prostředků a diagnostiky. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaromír Folvarčný.
4. KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohon automobilů*. 1. vydání. Praha: BEN, 2004. s. 232. ISBN 80-7300-127-6.
5. LASÍK, J. Nové systémy vstřikování plynu. *Autohit*, 2001, ročník 2, číslo 5, 34 s.
6. *LPG systémy* [online]. Publikováno 2007 [cit. 2011-02-15]. Dostupné z: <<http://www.lpg.cz/lpgsystemy/lpgsystemy.php>>.
7. MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. 1.vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2005. 224 s. ISBN 80-247-0350-5
8. *STAG-200, STAG-4, STAG-300 plus, STAG-300 premium manual.pdf* [online]. Publikováno 2010 [cit. 2011-02-23]. Dostupné z: <<http://www.ac.com.pl/public/pubonline/download/ver.2.4%20ENG-STAG-200,STAG-4,STAG-300%20PLUS,STAG-300%20PREMIUM%20manual.pdf>>.
9. ŠTERBA, Pavel – KRYŽICKÝ, Ondřej. *Jak na LPG*. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2002. 104 s. ISBN 80-7226-734-5.
10. *Vialle popis funkce* [online]. Publikováno 2009 [cit. 2011-02-20]. Dostupné z: <<http://www.autogascoubal.cz/cz.php?txt=vialle&det=vialle-popis>>.
11. *Výhody LPG* [online]. Publikováno 2010 [cit. 2011-02-23]. Dostupné z: <<http://www.lpg.cz/vyhodylpg/index.php>>.

Seznam zkratek

Zkratka	Plný název	Český překlad
BA	Benzin	
BŘJ	Benzinová řídicí jednotka	
CNG	Compressed natural gas	Stlačený zemní plyn
dB	Decibel	
DPH	Daň z přidané hodnoty	
EOBD	European On-Board Diagnostics	Evropská palubní diagnostika
FSI	Fuel Stratified Injection	Vrstvené vstřikování paliva
kW	Kilowatt	
LNG	Liquefied Natural Gas	Zkapalněný zemní plyn
LPG	Liquefied Petroleum Gas	Zkapalněný ropný plyn
MAP	Manifold Absolute Pressure	Senzor absolutního tlaku
MPa	Megapascal	
MPI	Multi Point Injection	Vícebodové vstřikování paliva
MTBE	Metylterciální butyléter	
OBD II	On-Board Diagnostics	Palubní diagnostika
OČMM	Oktanové číslo motorovou metodou	
Ppm	Parts per million	Jedna miliontina celku
PŘJ	Plynová řídicí jednotka	
ROZ	Research Oktanzahl	Výzkumné oktanové číslo
RPM	Revolutions Per Minute	Otáčky za minutu
TFSI	Turbo Fuel Stratified Injection	Vrstvené vstřikování paliva s turbodmychadlem
TPS	Throttle Position Sensor	Snímač polohy škrtící klapky

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 Schéma podtlakového systému LPG

Obrázek č. 2 Schéma podtlakového systému s krokovým motorkem

Obrázek č. 3 Schéma paralelního zapojení se vstřikováním plynného paliva

Obrázek č. 4 Schéma sériového zapojení se vstřikováním plynného paliva

Obrázek č. 5 Multiventil v plynotěsné skříni toroidní nádrže

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Základní hodnoty z velkého technického průkazu vozidla VW Golf

Tabulka č. 2 Základní vlastnosti LPG a BA

Tabulka č. 3 Průměrné spotřeby benzínu a LPG včetně nákladů ovlivňujících investici

Tabulka č. 4 Celkové náklady při určitých najetých vzdálenostech včetně rozdílu v Kč

Seznam příloh

Příloha č. 1 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchron na volnoběh

Příloha č. 2 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchron při střední zátěži

Příloha č. 3 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchron při maximální zátěži

Příloha č. 4 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchron při brzdění motorem

Příloha č. 5 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchron – odchylka

Příloha č. 6 Záložka Chyby v programu Ac Gas Synchron při simulované chybě

Příloha č. 7 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchron při nízké zátěži a zvýšených otáčkách

Příloha č. 8 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchron – zobrazení 3D mapy (při provozu dostupné pouze u řídicích jednotek STAG-300 Plus a STAG-300 Premium)

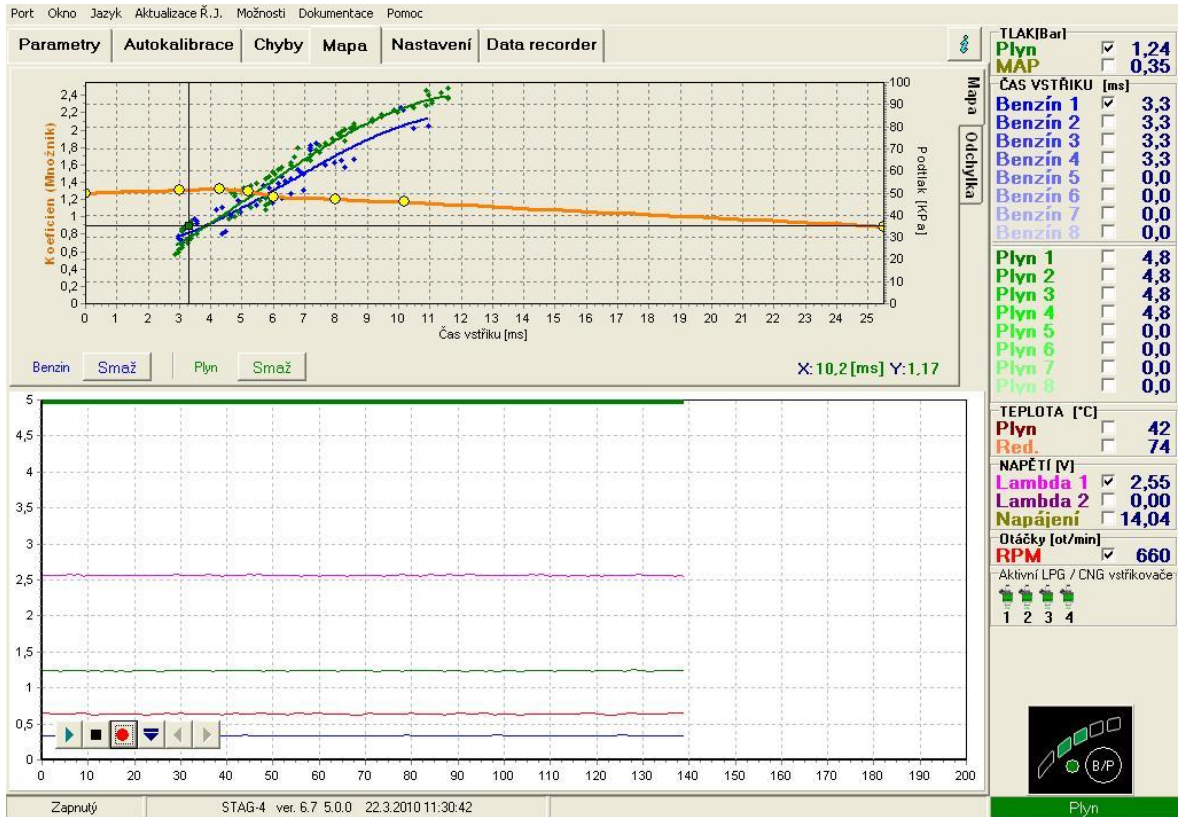
Příloha č. 9 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchron při maximální zátěži na benzin

Příloha č. 10 Nastavení zobrazení LED diod na přepínacím modulu podle napětí na čidle

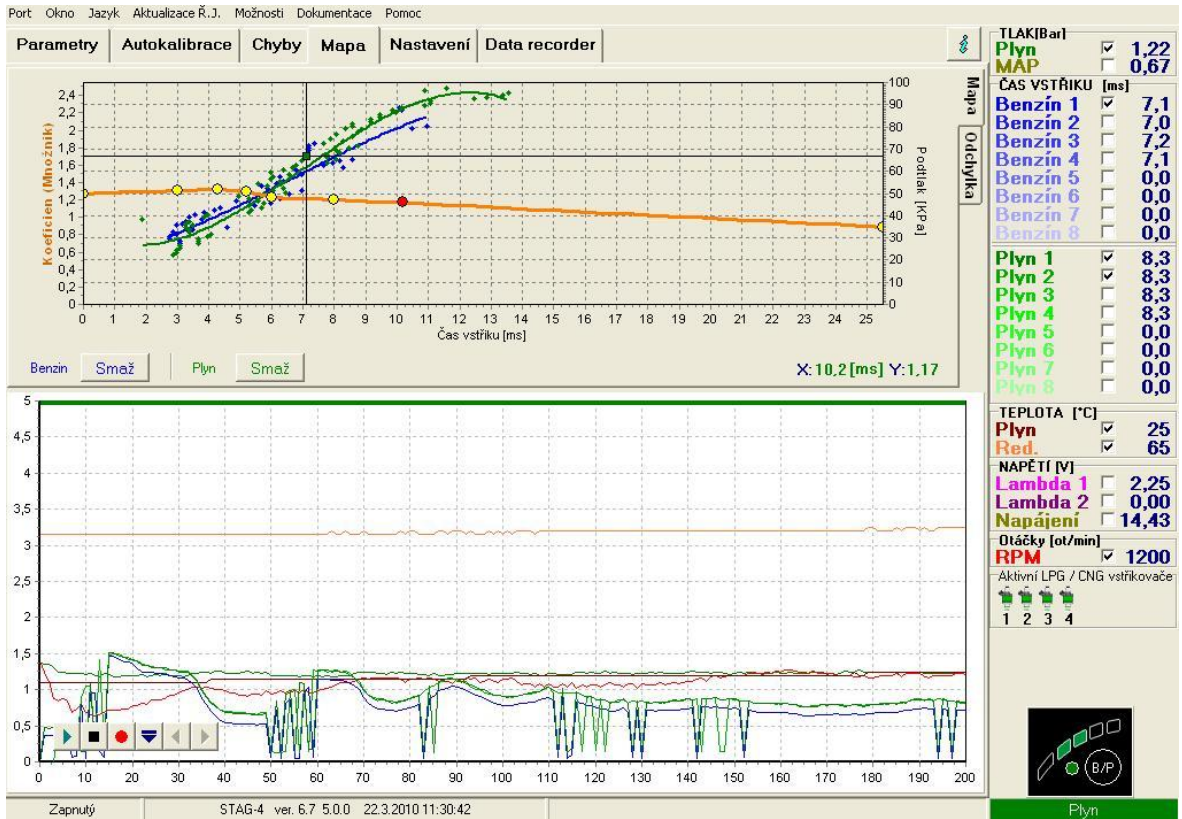
Příloha č. 11 Záložka Parametry v programu Ac Gas Synchron

Příloha č. 12 Schéma zapojení s řídicí jednotkou STAG-4 pro instalaci do vozidla

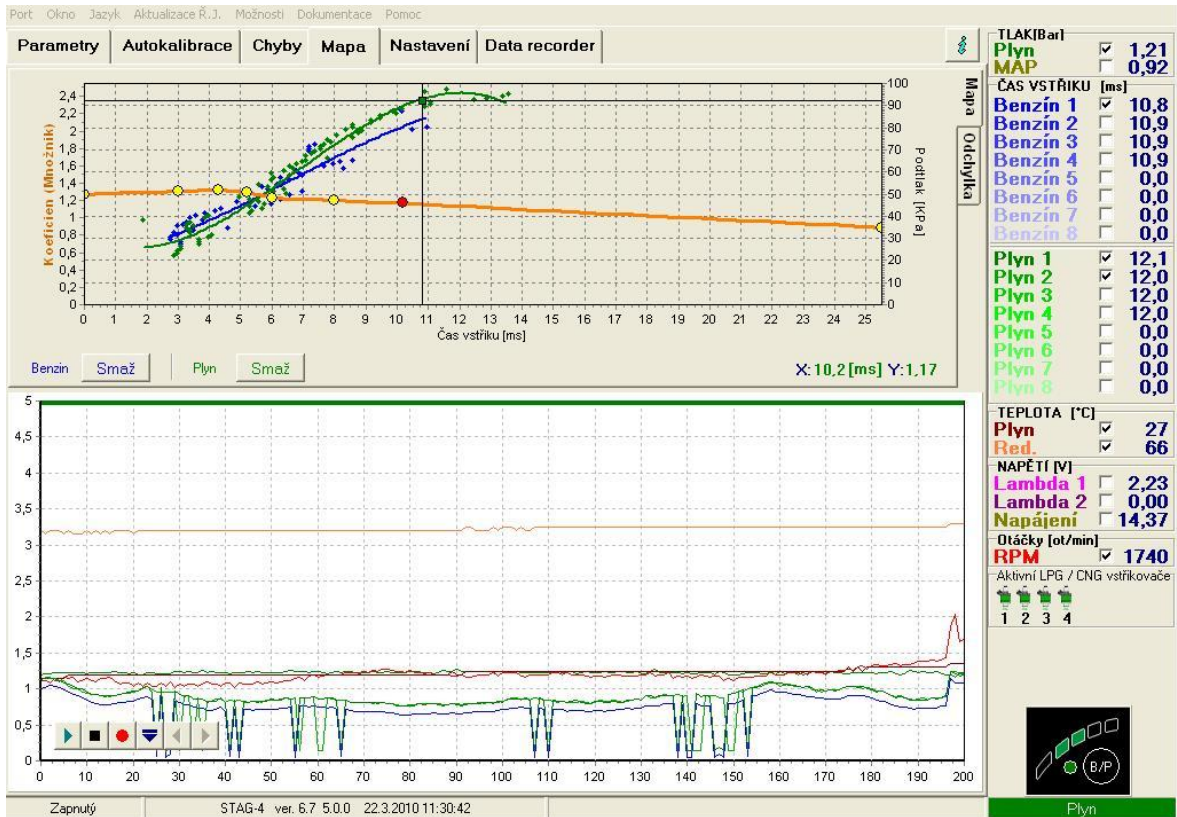
Příloha č. 1 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchro na volnoběh



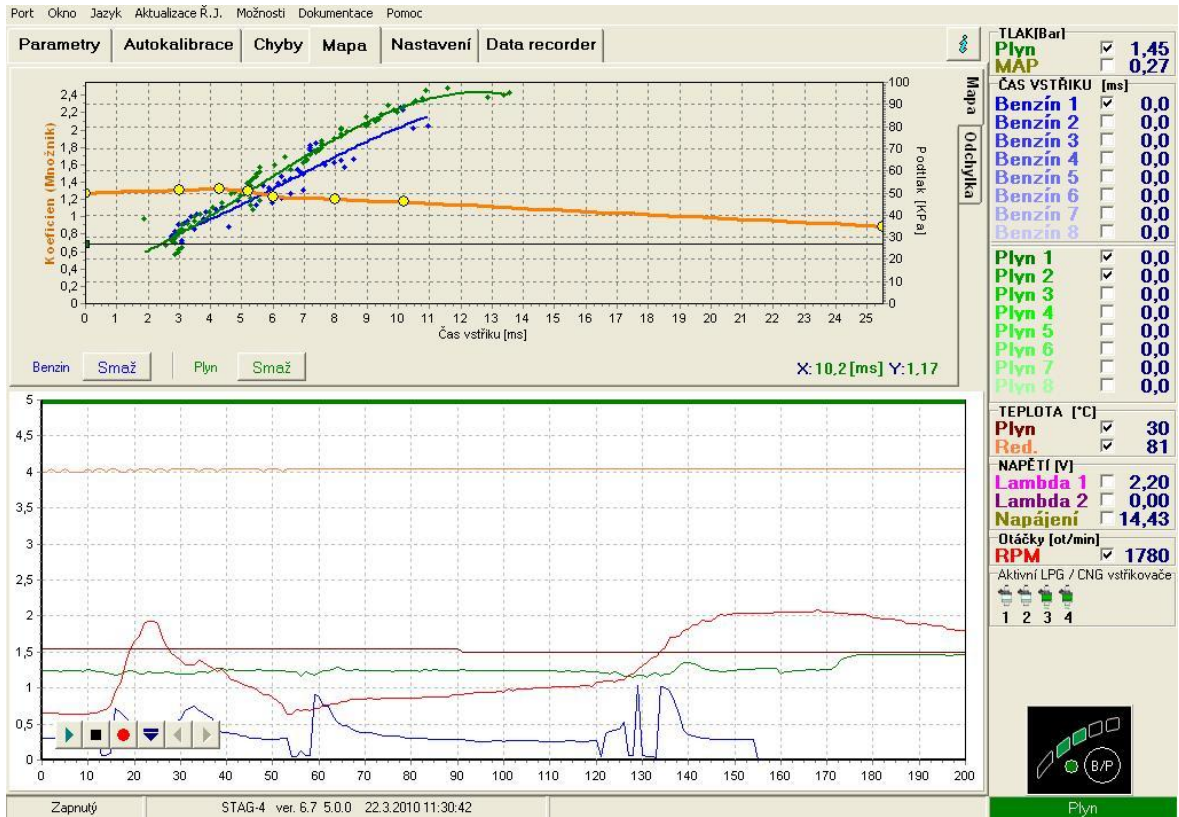
Příloha č. 2 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchro při střední zátěži



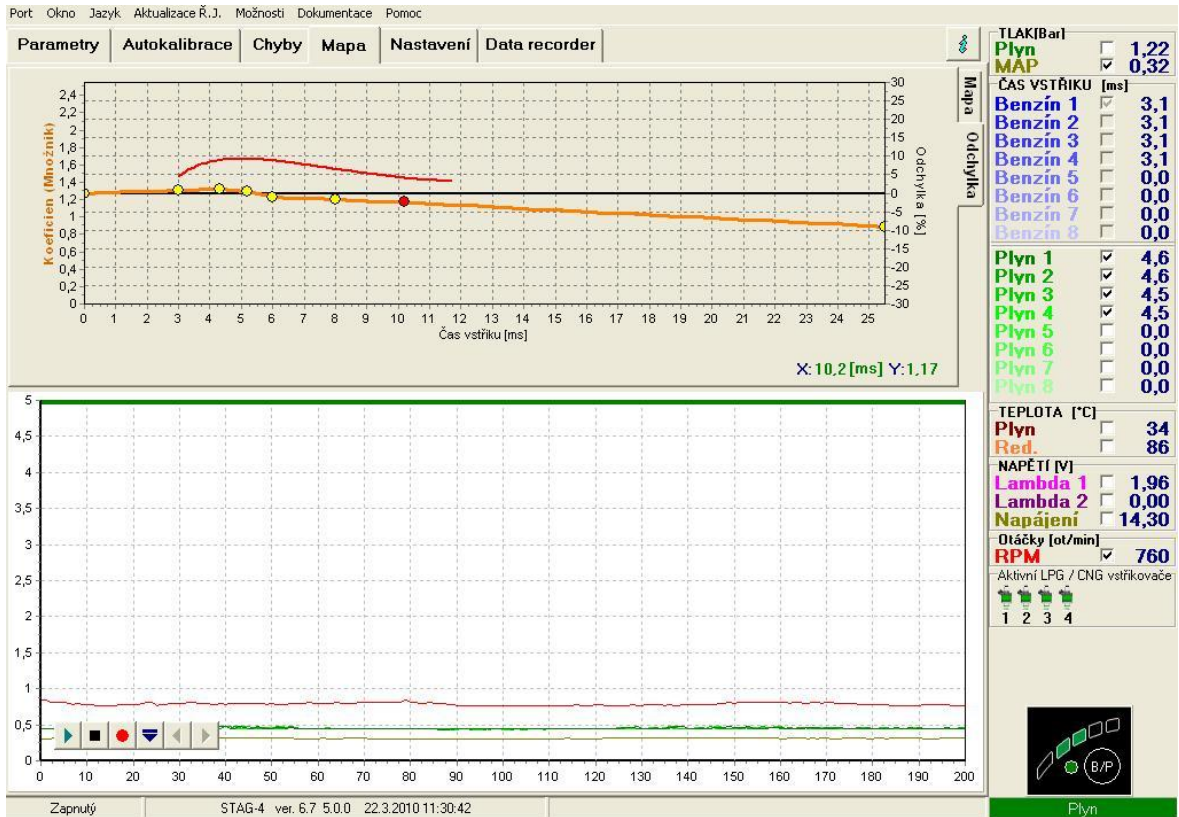
Příloha č. 3 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchro při maximální zátěži



Příloha č. 4 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchro při brzdění motorem



Příloha č. 5 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchro – odchylka



Příloha č. 6 Záložka Chyby v programu Ac Gas Synchron při simulované chybě

Port Okno Jazyk Aktualizace Ř.Č. Možnosti Dokumentace Pomoc

Parametry Autokalibrace **Chyby** Mapa Nastavení Data recorder

Nastavení chyb
 Stálý signál chyb

Aktuální chyby	Komunikace
1. Vadný plynový vstřikovač 1	

Zaregistrované chyby

Smaž chyby

Zapnutý STAG-4 ver. 6.7 5.0.0 22.3.2010 11:30:42

TLAK[Bar]

Plyn 1,24

MAP 0,35

ČAS VSTŘIKU [ms]

Benzín 1 3,1

Benzín 2 3,1

Benzín 3 3,1

Benzín 4 3,2

Benzín 5 0,0

Benzín 6 0,0

Benzín 7 0,0

Benzín 8 0,0

Plyn 1 0,0

Plyn 2 0,0

Plyn 3 0,0

Plyn 4 0,0

Plyn 5 0,0

Plyn 6 0,0

Plyn 7 0,0

Plyn 8 0,0

TEPLOTA [°C]

Plyn 48

Red. 91

NAPĚTÍ [V]

Lambda 1 2,57

Lambda 2 0,00


Napájení 14,17

Otáčky [ot/min]

RPM 640

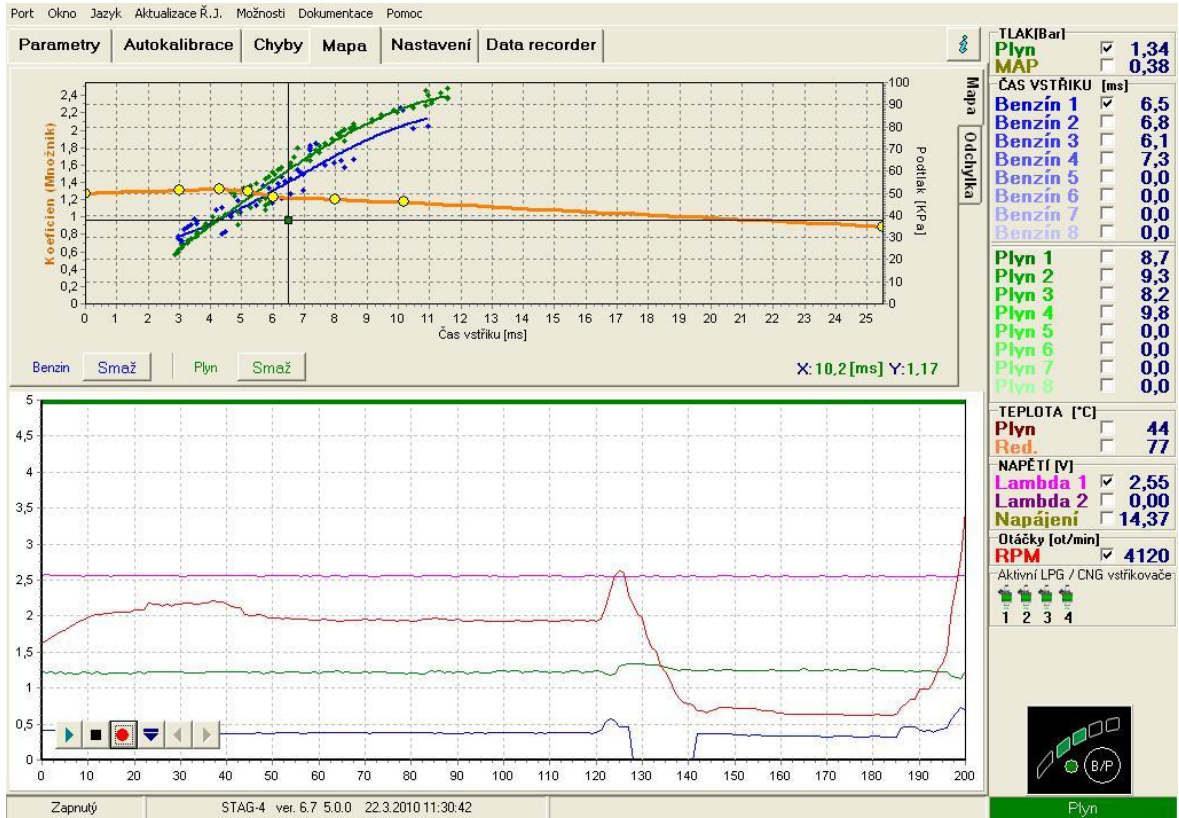
Aktivní LPG / CNG vstřikovače

1 2 3 4

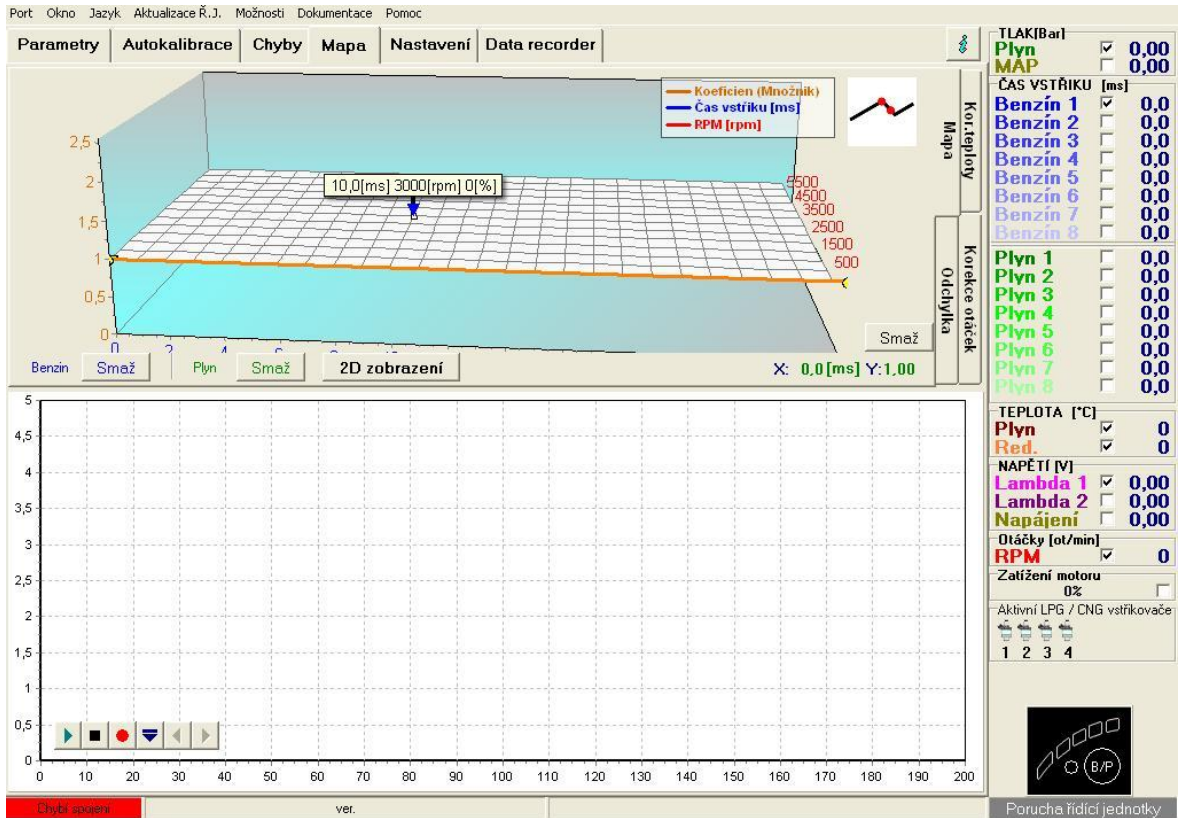


Benzin

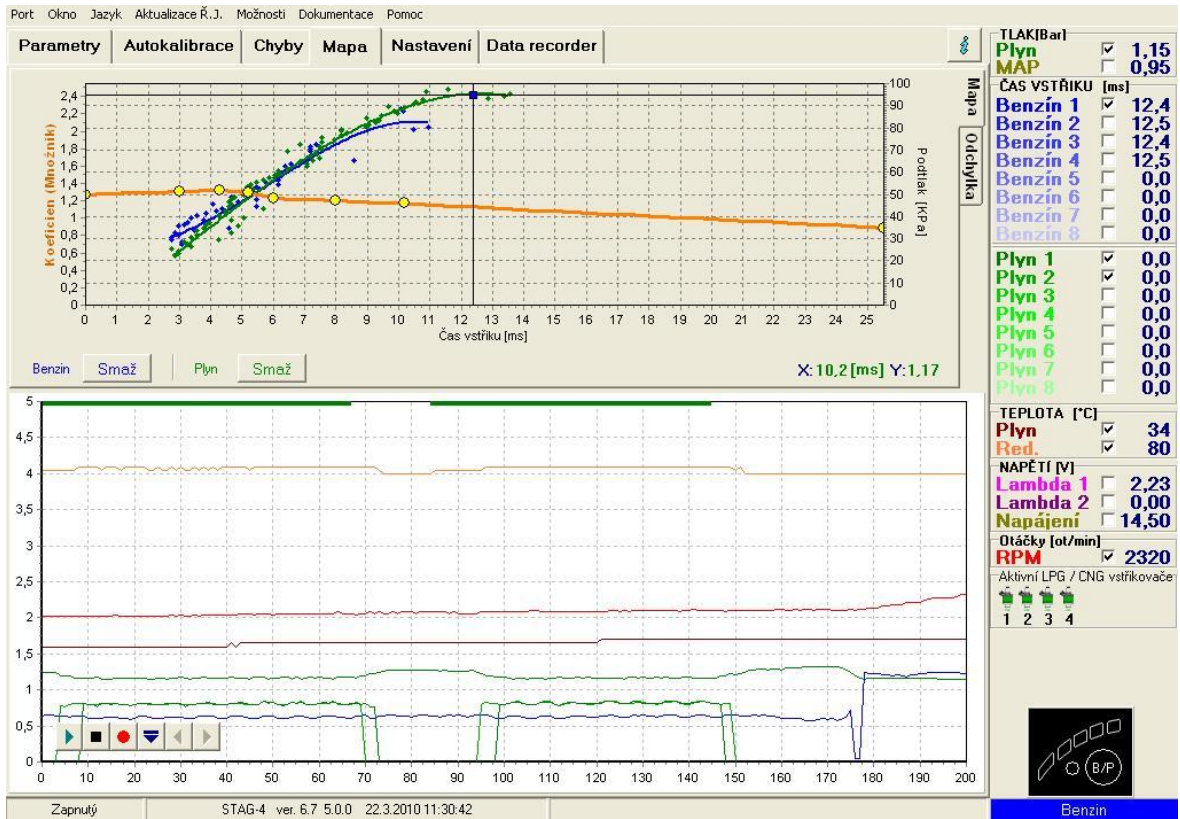
Príloha č. 7 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchro při nízké zátěži a zvýšených otáčkách



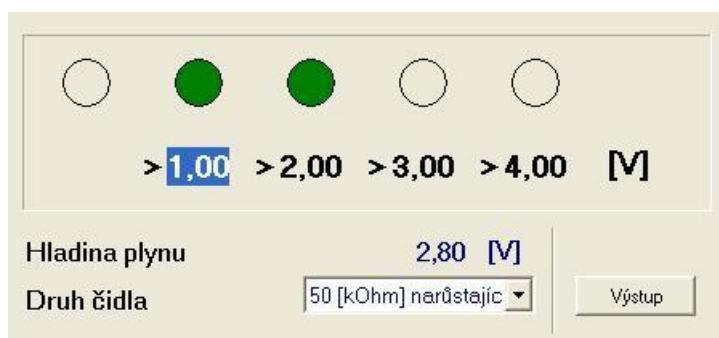
Příloha č. 8 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchro – zobrazení 3D mapy (při provozu dostupné pouze u řídicích jednotek STAG-300 Plus a STAG-300 Premium)



Příloha č. 9 Záložka Mapa v programu Ac Gas Synchro při maximální zátěži na benzin



Příloha č. 10 Nastavení zobrazení LED diod na přepínacím modulu podle napětí na čidle



The image shows a control interface for LED diodes. At the top, there are five circular indicators. The first is white, the second and third are green, and the fourth and fifth are white. Below these indicators are five labels: **> 1,00**, **> 2,00**, **> 3,00**, **> 4,00**, and **[M]**. The label **> 1,00** is highlighted in blue. Below this row, there are two labels: **Hladina plynu** and **Druh čidla**. To the right of **Hladina plynu** is a value **2,80 [V]**. To the right of **Druh čidla** is a dropdown menu showing **50 [kOhm] narůstající**. To the right of the dropdown menu is a button labeled **Výstup**.

Příloha č. 11 Záložka Parametry v programu Ac Gas Synchro

Port Okno Jazyk Aktualizace Ř.J. Možnosti Dokumentace Pomoc

Parametry Autokalibrace Chyby Mapa Nastavení Data recorder

Parametry motoru

Počet válců 4 válce

Počet cívek dvě cívky

Signál otáček 2,5 [V]

Filtr signálu otáček Ne

Typ motoru Standard

Benz.vstřikovače řízeny + Ne

Typ lambda sondy UEGO -> Napěťová

Typ vstřikování Standard

Typ benz. vstřikování Sekvenční

Nastavení Ř.J. plynu

Přepnutí na plyn

Tepl. pro přepnutí 30 [°C]

Hodnota pro přepnutí 1400 [rpm]

Čas pro přepnutí (spozždění) 3.0 [s]

Přepnutí válců 200 [ms]

Přepnutí na benzín

Min. tepl. plynu 0 [°C]

Min. otáčky motoru na plyn 0 [rpm]

Max. otáčky motoru na plyn 6000 [rpm]

Čas nízkého tlaku 510 [ms]

Vypni při prvním Ano

Parametry kalibrace

Kalibrace teploty plynu 35

Tlak [bar]

Pracovní 1,13

Minimální 0,45

Druh paliva

Plyn CNG

Ukazatel hladiny plynu

Čidla

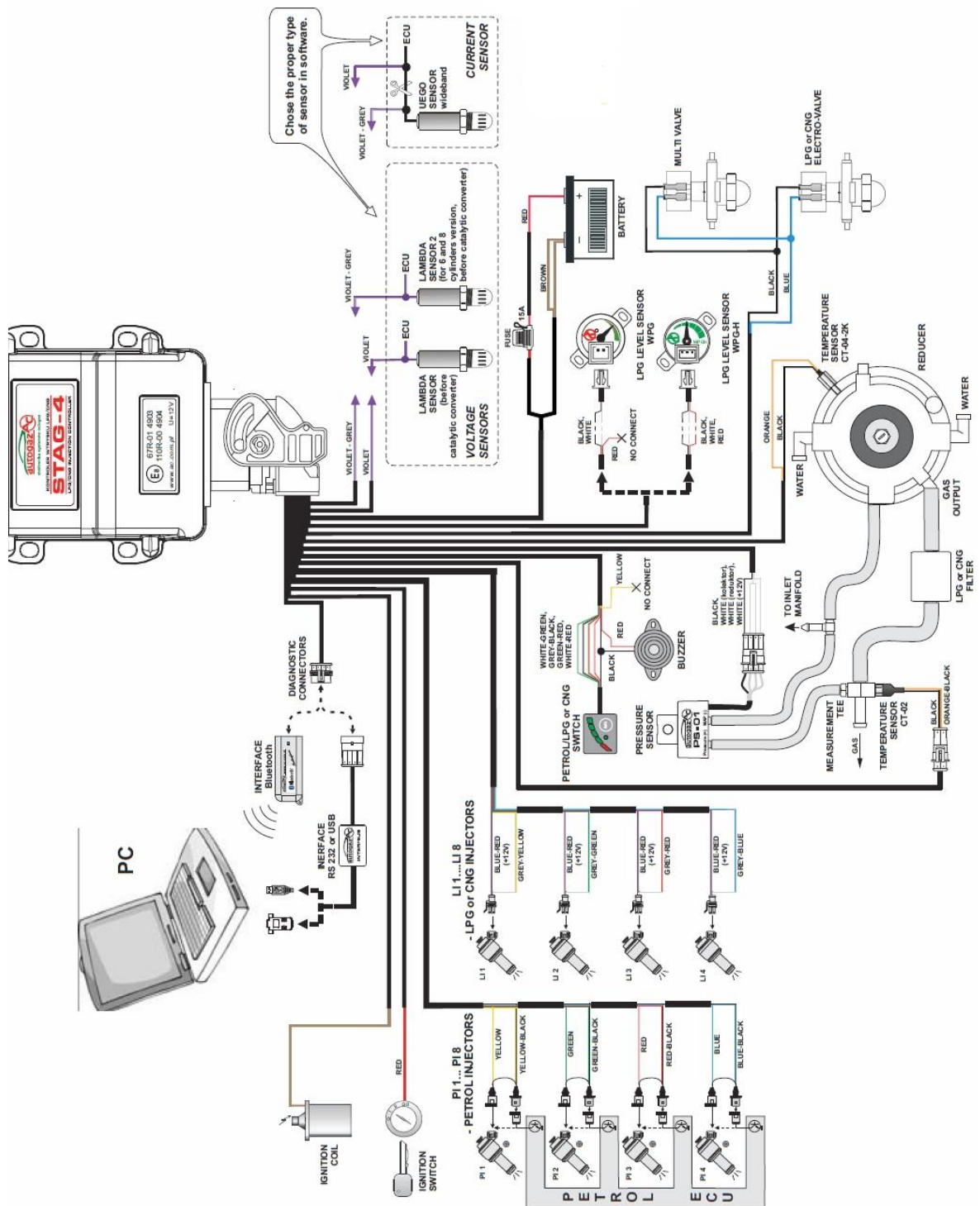
Typ vstřikovače VALTEK TYPE30/ RAIL IG 1/ AC

Předehev vstřikovačů Ne

Nastavení plynových vstřikovačů

Odečet Zápis **Tovární**

Příloha č. 12 Schéma zapojení s řídicí jednotkou STAG-4 pro instalaci do vozidla



Zdroj:[8]