



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## VOZIDLA NA ALTERNATIVNÍ POHON LPG

*LPG ALTERNATIVE FUEL CARS*

*BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*  
*BACHELOR'S THESIS*

*AUTOR PRÁCE*  
AUTHOR

*MICHAL MAGDOLEN*

*VEDOUCÍ PRÁCE*  
SUPERVISOR

*ING. PAVEL RAMÍK*

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/13

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Magdolen

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Mechatronika (3906R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Vozidla na alternativní pohon LPG**

v anglickém jazyce:

#### **LPG Alternative Fuel Cars**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracujte přehled současného stavu vozidel na alternativní paliva LPG se zaměřením na provedení palivových systémů a systémy řízení tvorby paliva.

Cíle bakalářské práce:

1. Proved'te rešerši současného stavu konstrukčního provedení automobilů na alternativní paliva LPG se zaměřením na palivové systémy (nádrže, ventily, reduktory, směšovače atd.) a řízení tvorby paliva s ohledem na motory různých typů, zejména
  - motory s jednobodovým vstřikováním paliva
  - motory s vícebodovým vstřikováním paliva
  - motory s přímým vstřikem paliva
2. Vyjádřete se k ekologickým aspektům alternativního pohonu vozidel pomocí LPG.
3. Proved'te ekonomické zhodnocení použití LPG jako alternativního paliva.
4. Proved'te dostupné zhodnocení používaných systémů a výhled použití LPG jako alternativního paliva v budoucnosti.



Seznam odborné literatury:

- [1] MACEK, J., SUK, B., Spalovací motory I., ČVUT Praha 2000
- [2] HROMÁDKO, J., Speciální spalovací motory a alternativní pohony, Grada Publishing a.s. 2012
- [3] FIŠER, L., HANZL, T., Automobily na alternativní pohon, Klub motoristů LPG, 1997
- [4] LPG systémy, 2012, poslední revize 15. 10. 2012. Dostupné z: <[http:// http://www.lpg.cz](http://www.lpg.cz)>

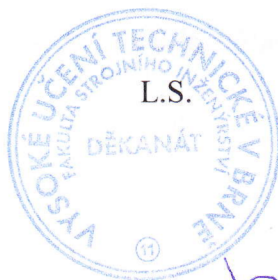
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Ramík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 21.11.2012



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan



## ABSTRAKT

Obsahom bakalárskej práce je prehľad posledného vývoja v oblasti alternatívnych pohonov na LPG. Práca sa zaoberá zložením a charakteristickými vlastnosťami LPG, prehľadom a popisom funkcií komponentov LPG, prestavbami automobilu na pohon LPG, použitím LPG systémov podľa úrovne vyspelosti motora, ekologickými aspektmi a vplyvmi LPG na opotrebenie motorových komponentov. Záver zhrňuje dôležité poznatky a vlastné zkušenosti o pohone LPG a zachytáva ekonomickú stránku prevádzky vozidiel na LPG.

## KLÚČOVÉ SLOVÁ

Alternatívny pohon, LPG, reduktor, zmešovač, multiventil, riadiaca elektronika, ekológia

## ABSTRACT

This Bachelor's thesis contents the very last development in field of LPG alternative fuel cars. The thesis deals with constitution and characteristic properties of LPG, survey and description of various LPG components, LPG conversion, the use of a specific LPG system, according to engine technological level, ecologic aspects and LPG influence on engine components wear. The conclusion contain important knowledge and very own experience in matter of LPG conversion and its economic features.

## KEYWORDS

Alternative fuel, LPG, reducer, mixer, multiventil, controlling electronics, ecology



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

MAGDOLEN, M. *Vozidla na alternativní pohon LPG*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. XY s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Ramík.



## ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Týmto prehlasujem, že predkladanú bakalársku prácu som vypracoval samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácii a pod vedením vedúceho bakalárskej práce.

V Brne dňa 10. 5. 2013

.....

Michal Magdolen



## **POĎAKOVANIE**

Týmto ďakujem Ing. Pavlovi Ramikovi za cenné propomienky a rady týkajúce sa spracovania bakalárskej práce.



## OBSAH

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY .....	1
Úvod .....	9
1 Čo je LPG .....	11
1.1 Prečo práve LPG .....	11
2 Komponenty pre pohon LPG .....	13
2.1 Reduktor .....	13
2.1.1 Podtlakový reduktor .....	13
2.1.2 Reduktor pre sekvenčné vstrekovanie .....	14
2.2 Zmiešavač .....	15
2.3 Multiventil .....	15
2.4 LPG nádrže .....	16
2.4.1 Valcové nádrže .....	17
2.4.2 Vnútorne toroidné nádrže .....	17
2.4.3 Vonkajšie diskové nádrže .....	18
2.5 LPG filter .....	19
2.6 Riadiaca elektronika .....	19
2.7 Vstrekovacie ventily .....	20
2.8 Ventil pre tankovanie LPG .....	21
2.9 LPG potrubie .....	21
3 Zástavba LPG do automobilu .....	22
3.1 LPG systém pre motory s karburátorom .....	24
3.2 LPG systém pre vozidlá s jednobodovým a viacbodovým vstrekaním paliva vybavené OBD .....	25
3.3 Sekvenčné vstrekovanie LPG pre motory s viacbodovým vstrekaním paliva .....	27
3.3.1 Paralelné sekvenčné systémy .....	28
3.3.2 Sériové sekvenčné systémy .....	29
3.4 Vstrekovanie LPG v kvapalnej fázi .....	29
3.5 LPG pre naftové motory .....	30
4 Vplyv LPG na životnosť motorových komponentov .....	32
4.1 Nitrácia .....	32
4.2 Oxidácia .....	33
4.3 Prídavné mazanie ventilových sediel .....	34
Záver .....	35
Zoznam použitých skratiek a symbolov .....	38





## ÚVOD

Začiatok pokusov o použitie alternatívnych palív pre spaľovacie motory so sebou priniesol už vynález samotného spaľovacieho motora, ktorým bol Ottov motor. Hoci bol pôvodne navrhnutý na petrolej, v r. 1872 motor úspešne poháňal zemný plyn (metán). Či už ide o úsporu prevádzkových nákladov, ekologickú stránku alebo len povestnú ľudskú zvedavosť, postupom času ľudia skúšali motory poháňať kadečím. LPG bolo napríklad získavané pri ťažbe hnedého a čierneho uhlia, kedy sa ako odpadový produkt skvapalňovalo, hydrogenovalo alebo karbonizovalo pri nízkych teplotách. Plynné alebo neskôr stlačené LPG slúžilo hlavne pre pohon nákladnej dopravy v dobe vojny, v dôsledku nedostatku tekutých palív, teda benzínu a nafty. Pohon na stlačený plyn si našiel cestičky aj medzi užívateľov osobných áut, a historiek o horiacich a vybuchujúcich "plyňákoch", používajúcich ako palivo propán-butánovú zmes sa mi dostalo do uší niekoľko. Práve tak sa "plyn", ako sa pohon na LPG obecné medzi populáciou nazýva, stal fenoménom. Výrazný rozmach prestavieb na LPG a vnesenie do povedomia vodičov k nám prichádza až v polovici 80-tych rokov minulého storočia. Spočiatku sa kedy dochádza k prvej homologizácii a LPG. Počiatky legalizácie pohonu na LPG sa stretali s problémami s technickou spôsobilosťou, keďže mnohé vozidlá boli prestavané v domácich podmienkach tzv. "načierno" bez doklade o prestavbe. Každé vozidlo muselo podliehať individuálnej prestavbe, ktorej legalizácia bola finančne náročná. Postupom času však dochádzalo k hromadnému schvaľovaniu, tzv. homologácii, pričom u nás boli v r. 1999 ako prvé pre pohon na LPG homologizované vozidlá značky Škoda a VAZ. V súčasnej dobe je už drvivá väčšina vozidiel pre LPG pohon homologovaná. Postupom času karburátory nahrádzali elektronické karburátory s katalyzátorom, tie následne vstrekovania paliva, či už jednobodové alebo viacbodové.

Širokú škálu výrobcov systémov pre prestavbu vozidel na LPG najdeme hlavne v Taliansku. Medzi používané systémy talianskych výrobcov patria hlavne LOVATO, B.R.C., Landi Renzo a Tartarini. Vzhľadom na nízku čistotu LPG v 90tych rokoch sa najlepšie osvedčili reduktory LOVATO, hoci principiálne fungujú všetky reduktory rovnako. Skúsení mechanici servisujúci vozidlá prestavané na pohon LPG, opisujú podtlakový reduktor LOVATO výrazom: "vedia sa najlepšie vysporiadať s nečistotami". Dnes však už tankujeme čistejšie palivá a nie je dôvod kvôli tomu uprednostňovať konkrétneho výrobcu. Vysoká čistota LPG samozrejme zabezpečí dlhšie bezporuchové fungovanie systému, no taktiež použitie modernejších systémov citlivých na čistotu paliva. Ruku v ruke s v oblasti benzínových motorov ide aj vývoj pre použitie alternatívnych palív. Veľkým pokrokom v oblasti pohonu na LPG je sekvenčné vstrekovanie, kedy nie je palivo primiešavané do vzduchu v saní motora, ale vstrekované čo najbližšie k sacím ventilom a postupne až priamo do valca.

Primárne je zástavba LPG pohonu výhodná investícia hlavne z ekonimického hľadiska. Sekundárne sa však jedná o palivo s vyšším oktánovým číslom, s nižším obsahom uhlíka a bez obsahu síry, z ekologického hľadiska je teda možné dosiahnuť lepšie emisné výsledky ako pri benzíne alebo nafte. LPG systém je možné dnes aplikovať na všetky typy spaľovacích motorov, použitie konkrétneho systému odpovedá úrovni technickej vyspelosti motora. Prestavba na LPG je však zásah do vozidla, ktorého dôsledky môžu poškodiť motorové komponenty, a preto zvyčajne po prestavbe vozidla na LPG majiteľ stráca záruku od výrobcu na motorové diely. Podľa smerníc EÚ podlieha takáto prestavba 2ročnej záruke, čo však eliminuje záruku výrobcu automobilu, ktorá môže byť až 7 rokov. Pohon na LPG sa v súčasnej dobe stáva stále obľúbenejším, čo viedlo niektorých výrobcov automobilov k sériovému montovaniu LPG pohonu do nových automobilov priamo vo výrobní fabrike. Takto prestavané vozidlá sú síce drahšie, ale majú plnú záruku na motorové komponenty. V roku 2003 francúzska automobilka Renault zaviedla do výroby prvé sériovo vyrábané vozidlo



s pohonom na LPG, Renault Kangoo 1.2 RN LPG. Hustá sieť čerpacích staníc na našom území výrazne prispela k rozšíreniu vozového parku s pohonom na LPG. Pri pohone na LPG ostáva pôvodný palivový systém bez zmeny, takže je kedykoľvek možné pohodlne prepnúť naspäť na benzínový pohon. LPG je tiež tankovaný do samostatnej nádrže, takže reálny dojazd na jedno natankovanie sa predlžuje o dojazd na LPG. Bežné auto má dojazd na jednu benzínovú nádrž (pri spotrebe benzínu cca 6,5l/100 km) povedzme 800km. Pri spotrebe LPG 7l/100km a 40litrovej nádrži je dojazd predĺžený o ďalších cca 550km. [5]



*Obr. 1 Tankovanie LPG [5]*



# 1 ČO JE LPG

LPG je skvapalnený ropný plyn, ktorý sa skladá z dvoch zložiek - propanu a butánu, percentuálne zastúpenie oboch zložiek závisí na účele jeho použitia. LPG je za normálnych podmienok je bezfarebný, rýchlo sa odparuje a má charakteristický zápach, ktorý je možné zistiť čuchom už pri koncentrácii nad obj.2% vzduchu. LPG nie je jedovatý, neobsahuje žiaden kyslík a je nedýchatelný, no po vdýchnutí má slabé narkotizačné účinky. V plynnom skupenstve je pri normálnom tlaku ťažší ako vzduch, v kvapalnom skupenstve je ľahší ako voda. Propán a bután oba majú iba jednoduché väzby, takže patria medzi nasýtené uhľovodíky. V zmesi so vzduchom je výbušný a preto veľmi nebezpečný. K skvapalneniu LPG pri normálnej teplote dochádza pri tlaku 1,5MPa, pričom takto skvapalnené LPG musí byť skladované v špeciálnych tlakových nádobách, určených na prepravu a skladovanie plynov do 2,5MPa. LPG sa získava pri ťažbe ropy a zemného plynu, pričom zhruba 50% je odpadová zložka získaná pri spracovaní ropy. Frakčnou destiláciou sa spolu s ďalšími frakciami získava aj nemalé množstvo propánu a butánu, zhruba 2%. Spracovanie ropy krakovaním pri vysokom tlaku umožňuje štiepiť veľké molekuly v prítomnosti katalyzátora, bez prítomnosti vodíku na kratšie reťazce, pričom propán a bután sú najjednoduchšími spoločne s metánom a etánom. Jedná sa o odpadový produkt. Hydrogenáciou - teda zušľachtovaním ťažko vrúcich ropných frakcií pri vysokej teplote a tlaku za prítomnosti vodíka, sa ako vedľajší produkt taktiež získava LPG. [10]

Dôležitým faktom je, že LPG je ťažší ako vzduch. Vozidlá poháňané LPG preto nesmú vchádzať do podzemných garáží, a tak isto nesmú byť odparkované v podzemných garážach. [10]

Pri normálnych podmienkach sa používa LPG s koncentraciou propánu okolo 30-40obj%. Bután, ktorý obsahuje viac atómov vodíka je výhodnejší z ekologického hľadiska, je taktiež je energeticky bohatší ako propán. Bután je však ťažšie odpariteľný. a preto je potreba ho ohrievať. Akýmsi kompromisom pre každé ročné obdobie, z hľadiska teploty, je rozdelenie LPG určeného na zimnú a letu prevádzku. [10]

Vzhľadom na to, že propán je dobre odpariteľný už pri nízkych teplotách (hlboko pod bodom mrazu), sa počas zimnej prevádzky používa LPG s vyššou koncentraciou propánu, tj asi 60obj%. Jedná sa o tzv "zimný plyn" a ten oproti "letnej zmesi" vykazuje lepšie vlastnosti z hľadiska odpariteľnosti aj tlaku pár. Takáto zmes vykazuje nižšie emisné hodnoty CO, je však energeticky chudobnejšia a vedie k vzniku chudobnej zmesi a citelnému pokesu výkonu. Podľa ročného obdobia je teda potreba počítať s úpravou bohatosti zmesi pred spaľovaním. [10]

## 1.1 PREČO PRÁVE LPG

Z ekologického hľadiska tlačí Európska Únia a svetové mocnosti na výrobcov vozidiel, aby dodržiavali emisné limity, ku ktorým ich zaväzujú normy EURO. Každé 4 roky vychádza nová, prísnejšia smernica a pre výrobcov je čoraz väčší problém tieto hodnoty plniť. Treba brať do úvahy, že všetky normy sú stanovené pre motory konštruované na bežne použité palivo, ktorým je u nás stále benzín Natural. V porovnaní s benzínom má LPG nižší hmotnostný pomer uhlíka, 1 kg LPG (obsah propánu 40%) obsahuje len 0,825 kg uhlíka, kdežto 1 kg benzínu natural 95 obsahuje priemerne 0,86-0,87 kg uhlíka. Princípiálne to vedie k možnosti dosiahnuť lepšie emisné hodnoty CO a väčšiu rezervu pri plnení noriem EURO. Obzvlášť priaznivé sú výsledky emisií NOx, odpadajú emisie SOx. Taktiež pri spaľovaní LPG nevznikajú pevné častice - sadze.





Pri prestavbe na pohon CNG je možné dosiahnuť ešte lepšie výsledky emisií CO ako pri LPG, no výsledky HC a NO<sub>x</sub> sú horšie ako pri pohone na benzín. Nespornou výhodou je, že LPG vykazuje vyššiu odolnosť proti detonačnému spaľovaniu ako benzín natural 95. Pohybuje sa na úrovni 110-oktánového paliva, čo je síce pre bežné motory navrhnuté na 95-oktánový benzín nevyužiteľné, no principiálne je možné použiť ho do všetkých vyrábaných benzínových motorov bez úprav. [10]

LPG je možné skvapalniť pri normálnej teplote pomerne malým tlakom, a z 250 litrov plynného propán-butánu vznikne cca 1 liter kvapaliny. Takto je možné skladovať veľké množstvo paliva v relatívne malých tlakových zásobníkoch. [10]

CNG (stlačený zemný plyn) má síce oproti LPG vyššiu energetickú hodnotu, ale vyžaduje montáž vysokotlakého systému pre prevádzku tlak na výstupe reduktora 10 bar, zatiaľ čo LPG pracuje s tlakom max. 0,5-0,8 bar. Nádrž na CNG je pri rovnakom objeme výrazne ťažšia ako nádrž na LPG, rádovo asi 10x, pretože sa jedná o vysokotlakú nádobu s plniacim tlakom až 250 bar. Dosiadnutie takto vysokého tlaku komplikuje kondenzácia vodných pár, preto je nutné palivo vysušovať, čo pri výrobe LPG odpadá. Fenomén poklesu výkonu motora, ktorý sa vyskytuje u starších systémov pre pohon LPG výrazne závisí od vyspelosti testovaného agregátu aj použitého LPG systému. Staršie motory s karburátorom alebo jednobodovým vstrekaním nemôžu byť vybavené vyspelým systémom, pre ktorý nemajú predispozície, a preto ani pri dobrom nastavení nedokážeme úplne eliminovať pokles výkonu. Ten činí zhruba 10-15%. Pri moderných motoroch a vyspelých systémoch LPG (sekvenčné vstrekovanie LPG) k zníženiu výkonu síce dochádza, ale pokles nie je badateľný. V nižších otáčkach sa motor pri pohone na LPG javí subjektívne pružnejší. CNG vykazuje pri použití vždy výraznejší pokles výkonu motora. [10]



Obr. 2 Cisterna na prepravu LPG [2]



## 2 KOMPONENTY PRE POHON LPG

### 2.1 REDUKTOR

Redukcia vysokého tlaku kvapalnej fázy LPG je podmienená jeho ohriatím a následným odparením. V reduktore dochádza k zníženiu tlaku kvapalného LPG expanziou a následne k zmene skupenstva z kvapaliny na plyn. Reduktor je vyhrievaný chladiacou kvapalinou motora. Predpoklad správneho fungovania reduktora je podmienený používaním správnej zmesi chladiacej kvapaliny, ohriatej na prevádzkovú teplotu motora. Chladiaca kvapalina ohriata v bloku motora pokračuje ďalej do tzv. "malého chladiaceho okruhu", skladajúceho sa zo systému hadíc a chladiča kúrenia, kde sa ochladzuje a vracia sa späť do bloku motora. Hadice privádzajúce horúcu vodu sa vo vhodných miestach prerušia a do obehu je zapojený ďalší okruh, prostredníctvom ktorého je reduktor vyhrievaný. Tepelné straty vyvolané týmto zásahom do okruhu chladenia motora sú z hľadiska tepelnej bilancie odpadového tepla zanedbateľné. Samotný malý chladiaci okruh a schopnosti kúrenia ostávajú plne funkčné. Reduktor ako zariadenie nie je spotrebný materiál, no jeho životnosť výrazne závisí na kvalite tankovaného LPG a jeho filtrácii. V prípade, že dochádza k jeho pravidelnému servisu a revízii, je výrobcom udávaná životnosť membrán 10 tisíc km. V praxi sa tento interval predlžuje podľa individuálneho stavu membrán. [6]

#### 2.1.1 PODTLAKOVÝ REDUKTOR

Podtlakový reduktor je väčšinou celohliníkové zariadenie skladajúce sa z niekoľkých častí: základné teleso zahrňujúce malú expanznú komoru, veľkú expanznú komoru s hlavnou membránou, vodný okruh slúžiaci na prenos tepla z chladiacej kvapaliny, prívod LPG vysokotlakým vedením, vývod plynného LPG, elektromagnetického ventilu, teplotného čidla, skrutky slúžiacej pre základné nastavenie membrány a výpustný otvor so skrutkou. [6]

LPG je privádzané do reduktora prostredníctvom vysokotlakého vedenia (medenej trubky) do miesta prívodu LPG. V prvej fáze kvapalné LPG ohriate na prevádzkovú teplotu motora v tzv. "malej expanznej komore", teda teplotu cca 90°C. Malá komora je vybavená pryžovou membránou, ktorá umožňuje expanziu kvapalného LPG počas jeho ohrevu. Takto ohriate LPG následne ešte stále pod tlakom putuje do "veľkej expanznej komory", kde dochádza k ďalšej expanzii a kvapalné palivo sa odparuje. [6]

Ovládanie množstva paliva na výstupe reduktora funguje na princípe mechanického napínania primárnej - hlavnej membrány. Táto membrána je napínaná podtlakom vyvynutým počas chodu motora, a prebieha prostredníctvom hadice určenej na prívod LPG z reduktora do zmiešavača, ktorý je umiestnený v sacom potrubí motora. Hlavná membrána je priamo spojená s mechanizmom ovládania množstva aktuálne odparovaného LPG vo veľkej komore. Tam dochádza k odpareniu LPG, ktoré ďalej prúdi prostredníctvom hadice do zmiešavača. Samotné množstvo paliva prúdiaceho do sania motora je teda priamo závislé od aktuálneho tlaku v saní motora. 100%-ná funkčnosť celého systému je podmienená dokonalým utesnením všetkých častí sania prichádzajúcich do styku s LPG. Prípadné nasávanie tzv. "falošného vzduchu" znemožňuje správnu funkciu napínacieho mechanizmu hlavnej membrány. [6]

Staršie typy reduktorov sú ešte vybavené sekundárnou membránou, ktorá po úplnej strate podtlaku v saní motora, spôsobenej zastavením motora, uzavrie prívod LPG do priestoru hlavnej membrány. Sekundárna membrána je ovládaná prostredníctvom samostatnej hadičky pripojenej do sania v priestore medzi hlavou valcov a škrtiacou klapkou. Spravidla je nutné vyvrtáť do vhodného miesta v saní otvor s výstupom na hadičku. [6]



Elektromagnetický ventil na reduktore je prepúšťací ventil, zabezpečujúci prívod paliva z malej expanznej komory do veľkej expanznej komory reduktora. Je ovládaný jednoduchým solenoidom pracujúcim s napätím sústavy  $U=12V$ . Funguje v dvoch režimoch: úplne otvorený a úplne uzavretý. Ventil prepúšťa LPG len pokiaľ je úplne otvorený, tj. pokiaľ je na solenoid pripojené napätie 12V. Pri poklese napätia alebo poškodení vinutia solenoidu sa ventil sám pomocou pružiny pôsobiacej na pohyblivý piest úplne uzavrie, takže systém medzi komorami reduktora nie je priechodzí. [6]



Obr. 3 Podtlakový reduktor LOVATO a) malá komora, b) veľká komora, c) sada membrán [2]

Nastavenie voľnobežných otáčok motora pri použití podtlakového reduktora súvisí so základným nastavením polohy hlavnej membrány, ktorá v tomto stave prepúšťa minimálne množstva paliva prúdiaceho z reduktora. V istom bode je na ramienku ovládania prepúšťacieho mechanizmu hlavnej membrány opretý "doraz", teda skrutka slúžiaca práve na nastavenie minimálneho množstva paliva pre voľnobeh. Väčšinou platí, že pri pravotočivom závite sa úplným zašróbovaním skrutky mechanizmus veľkej komory prívodu LPG uzavrie. V spodnej časti reduktora sa nachádza otvor s vypúšťacím šróbom. Ide o otvor, pomocou ktorého sa v intervaloch po ubehnutí istého počtu motohodín reduktor zbavuje prebytočného kalu. Tento kal prichádza spolu s LPG do reduktora aj napriek tomu, že palivo prešlo cez palivový filter. Po odparení paliva ostáva tento kal na povrchu reduktora ktoré prichádzajú priamo do styku s LPG vo forme oleja a pevných častíc. Zmes oleja a týchto častíc napohľad pripomínajú blato, ktoré postupom času vážne narušujú správnu funkciu hlavnej membrány ako aj ostatných častí reduktora. Staršie typy podtlakových reduktorov boli vybavené zbernou nádržkou v spodnej časti reduktora, ktorá slúžila právne na zber stečeného kalu z priestoru hlavnej membrány. Po viditeľnom naplnení sklenej nádržky bolo nutné ju vyčistiť. V súčasnosti tankujeme kvalitnejšie LPG a množstvo kalu je výrazne nižšie ako v minulosti, no zanedbanie pravidelnej kontroly sa nesmie zanedbať. Nedodržanie servisného intervalu vedie k zaneseniu pohyblivých častí, konkrétne k mechanizmu napínania membrány a prepúšťacím komorám, k ztvrdnutiu membrán a následnému znefunkčneniu reduktora. [6]

### 2.1.2 REDUKTOR PRE SEKVENČNÉ VSTREKOVANIE

Reduktor určený pre systémy so sekvenčným vstrekovaním funguje principiálne rovnako ako podtlakový reduktor. Ohriate kvapalné LPG je odparované v komore s mechanickou membránou, ktorá však nie je závislá na tlaku v saní motora. Mechanizmus zabezpečuje stálu hodnotu tlaku odpareného LPG cca 0,5-1 bar. Vo vnútri teplovodného okruhu je umiestnené teplotné čidlo dávajúce nezávislý signál o teplote chladiacej kvapaliny. Vo vnútri expanznej komory je umiestnený snímač tlaku odpareného LPG, ktorý po dosiahnutí požadovaného tlaku dáva signál riadiacej jednotke sekvenčného vstrekovania. Množstvo mechanických





pohyblivých častí je nižšie ako u podtlakového reduktora, no jedná sa stále o zariadenie dochádzajúceho do priameho styku s LPG. Správna funkcia reduktora je podmienená dodržaním pravidelného servisného intervalu a revízie. [6]

## 2.2 ZMIEŠAVAČ

Zmiešavač je jednoduché celokovové zariadenie slúžiace na vytvorenie homogénnej zmesi vzduchu a LPG nasávaného motorom. Do zmiešavača je privádzané palivo z reduktora pomocou prívodnej hadice, kde sa mieša so vzduchom v sacom potrubí. Celý proces funguje na princípe difúzora. Zmiešavač je umiestnený v saní vždy ešte pred škrtiacou klapkou. Ako materiál na jeho výrobu býva použitá zinková zliatina a hliníkové komponenty. Základné teleso je navrhnuté tak, aby odpovedalo tvaru príruby sania na karburátore alebo telesa so škrtiacou klapkou, a pri jeho montáži je nutné dbať na dokonalé utesnenie sacieho potrubia. Hadica je nasunutá na prívode do zmiešavača a zaistená stiahnutím pomocou plechovej pásky. Toto zariadenie je počas celej doby prevádzky bezúdržbové, no prichádza do priameho styku s LPG a preto podlieha pravidelnej revízii. Miesta spojov prívodnej hadice, ako aj celá hadica pôsobením LPG stvrdnú a dochádza k ich narušeniu. Výsledný stav sú viditeľné praskliny a únik LPG, prípadne nasávanie falošného vzduchu. Dochádza k nemu hlavne v ohybom a vibráciami namáhaných miestach, a dochádza tiež k opotrebeniu tesnení medzi jednotlivými časťami sacieho potrubia. [14]



Obr. 4 Zmiešavač [6]

## 2.3 MULTIVENTIL

Multiventil je zariadenie umiestnené vo vnútri palivovej nádrže na LPG. Ide o komplex plniaceho ventilu a výpustných ventilov, vybaveného tepelnou a tlakovou poistkou a plavákom. Slúži ako bezpečnostný prvok LPG nádrže, umožňuje jej plnenie len do 80% objemu. [15]

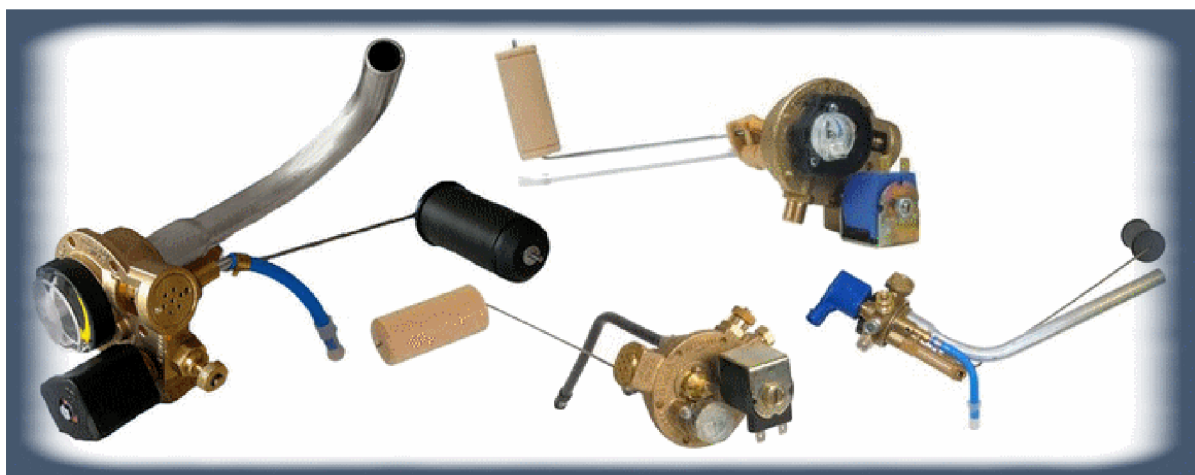
Výpustný ventil slúži pre núdzové vypustenie obsahu nádrže. Je vybavený skturkou pre jeho manuálne otvorenie. V prípade zvýšení tlaku LPG v nádrži nad 27 bar alebo pri teplote vyššej ako 110°C, čo môže nastať v prípade havárie, je núdzovo otvorený bezpečnostným systémom. Druhá časť slúži na odber LPG z nádrže. Odber je ovládaný elektromagneticky jednoduchým solenoidom pracujúcim s napätím sústavy  $U=12V$ . Funguje v dvoch režimoch: úplne otvorený a úplne uzavretý. Ventil prepúšťa LPG len pokiaľ je úplne otvorený, tj. pokiaľ je na solenoid pripojené napätie 12V. Pri poklese napätia alebo poškodení vinutia solenoidu sa ventil sám pomocou pružiny pôsobiacej na pohyblivý piest úplne uzavrie. Týmto ventilom sú povinne vybavené všetky multiventily podľa zákona z r. 2001. Ventil prepúšťa LPG len pokiaľ je úplne



otvorený, tj. pokiaľ je na solenoid pripojené napätie 12V. Ventil sa pri prietoku väčšom ako 6 l/min, čo je hodnota stanovená ako havarijné poškodenie potrubia, sám uzavrie. [15]

Vstupný ventil prepúšťa LPG len do nádrže. Na rozdiel od výpustného ventilu sa nedá priamo regulovať. Ide v podstate o spätný ventil, ktorého mechanizmus sa skladá z uzatváracieho telesa v tvare guľičky, na ktorú stále pôsobí sila prítlačnej pružiny. Tento jednoduchý mechanizmus umožňuje prúdenie LPG len v jednom smere. [15]

Väčšina multiventilov je vybavená mechanickým snímačom hladiny, tj. plavákom. Pomocou plaváku je možné na ukazateli sledovať stav nádrže, no ide o nepraktické riešenie, ktoré navyše pri umiestnení nádrže v mieste rezervného kolesa úplne znemožňuje sledovanie množstva paliva v nádrži. Vyspelejší mechanizmus navyše ovláda magnetický člen je možné na neho pripojiť ukazateľ alebo snímač s potenciometrom. Takto vybavený multiventil potom umožňuje pripojiť signál z potenciometra ako vstup do riadiacej elektroniky a sledovať tak stále hladinu v nádrži. Z vlastnej skúsenosti musím podotknúť, že zariadenie funguje veľmi nepresne, a slúži skor na zistenie stavu paliva v nádrži "prázdna-plná" ako na určenie presného množstva LPG v nádrži. Niektoré multiventily pre diskové nádrže plavákom vôbec nie sú vybavené, multiventily pre valcové nádrže sú však štandardne vybavené mechanickým ručičkovým ukazateľom stavu paliva v nádrži. Multiventil je zariadenie, ktoré je počas celej životnosti bezúdržbové, jeho stav však podlieha revízií. [15]



Obr. 5 Multiventil [15]

## 2.4 LPG NÁDRŽE

Nádrž na LPG slúži ako vysokotlaký zásobník LPG podľa ČSN EN 12493, EHK 67R01. Vyrába sa v troch prevedeniach: valcová, vonkajšia disková a vnútorná toroidná nádrž. Nádrž je označená výrobným štítkom, ktorý obsahuje schválenie o tlakovej skúške, výrobcu, rok výroby, výrobné číslo, homologizačné číslo a využiteľný objem. Je počas celej doby životnosti bezúdržbová, podlieha revízií a po uplynutí životnosti, tj. podľa vyhlášky č. 341/2002 zberky zákonov 10 rokov, je nutné ju vymeniť za novú. LPG nádrže sú konštruované tak, aby sa v prípade havárie celý objem nádrže vypustil do ovzdušia pomocou multiventilu, dôjde teda k vypusteniu nádrže, nie k jej roztrhnutiu a následnému výbuchu. [14]



Obr. 6 a) I. toroidná nádrž, b) valcová nádrž, c) disková nádrž [15]

#### 2.4.1 VALCOVÉ NÁDRŽE

Výhody valcovej nádrže sú relatívne veľký objem oproti diskovým nádržiam, svoje opodstatnenie nachádzajú vo veľkých batožinových priestoroch, prípadne na korbách nákladných vozov alebo prázdnych miestach rámov, karosérií a v miestach pod podvozkom. Ich cena je taktiež nižšia ako u diskových nádrži (zhruba o 1500 Kč), a taktiež majú lepší pomer cena/objem. [15]



Obr. 7 Typické umiestnenie valcovej nádrže, škoda Favorit [14]

#### 2.4.2 VNÚTORNÉ TOROIDNÉ NÁDRŽE

Vnútorne toroidné nádrže sa používajú hlavne pre osobné automobily, sú umiestnené v mieste prelisu karosérie určeného pre rezervné koleso vozidla. Rozmery a objem nádrže odpovedajú rozmerom štandardne používaných kolies. Multiventil sa nachádza vo vnútornej časti v strede nádrže, čo vedie k zníženiu objemu nádrže. Tvar samotnej nádrže pripomína toroid, preto sa tieto nádrže označujú ako "toroidné". [15]





Obr. 8 Umiestnenie toroidnej nádrže [15]

### 2.4.3 VONKAJŠIE DISKOVÉ NÁDRŽE

Vonkajšie diskové nádrže sa používajú pre vozidlá, ktoré majú rezervné koleso umiestnené vo vonkajšej časti pod podlahou batožinového kufru, prípadne iných vhodných miestach pod podlahou. Používajú sa tam, kde nie je dostatok miesta pre použitie valcovej nádrže. Limitujúcim faktorom je však stále výška nádrže, ktorej spodná hrana nesmie byť najnižším miestom vozidla. Multiventil je umiestnený v bočnej stene nádrže, takže rozmery a objem nádrže sú oproti vnútorným nádržiam väčšie. Multiventil je vybavený navyše krytom, ktorý zamedzuje zanášaniam vonkajších mechanických častí, ich korózii a následnému znefunkčneniu. [15]



Obr. 9 Umiestnenie diskovej nádrže [15]



## 2.5 LPG FILTER

Filter LPG je multifunkčné zaradenie, ktoré pozostáva z bronzového základného telesa, elektromagneticky ovládaného ventilu a filtračnej vložky. [15]

Filtračná vložka je umiestnená v samostatnej komore, na dne ktorej je magnetické teleso. Tento je umiestnený v spodnej časti filtra a priťahuje na seba magnetický odpad v palive, jedná sa hlavne o prach a železné špony. [15]

Elektromagnetický ventil je ovládaný jednoduchým solenoidom pracujúcim s napätím sústavy  $U=12V$ . Funguje v dvoch režimoch: úplne otvorený a úplne uzavretý. Ventil prepúšťa LPG len pokiaľ je úplne otvorený, tj. pokiaľ je na solenoid pripojené napätie 12V. Pri poklese napätia alebo poškodení vinutia solenoidu sa ventil sám pomocou pružiny pôsobiacej na pohyblivý piest úplne uzavrie. [15]

Základné teleso má miesto pre vstup vysokotlakého vedenia a ďalej miesto pre jeho výstup. Vstup a výstup sa principiálne nesmú zameniť kvoli toku LPG a smere filtrácie, hoci ventil funguje obojstranne. [15]

## 2.6 RIADIACA ELEKTRONIKA

Riadiacu elektroniku tvorí LPG riadiaca jednotka, prípadne emulátor lambda sondy, pokiaľ ním riadiaca jednotka nie je vybavená, prepínač pohonu benzín/ LPG a aktuátor. [14]

Typ riadiacej jednotky pre pohon na LPG závisí od vyspelosti systému použitého pre pohon konkrétneho motora. Moderné riadiace jednotky pre pohon na LPG pracujú so signálmi získanými priamo z motorovej riadiacej jednotky. [14]



Obr. 20 Elektronika sekvenčného vstrekovania LPG [15]



Emulátor lambda sondy (pokiaľ nie je súčasťou riadiacej jednotky) slúži na spracovanie signálu z lambda sondy a nastavenie správnej polohy aktuátora. [14]

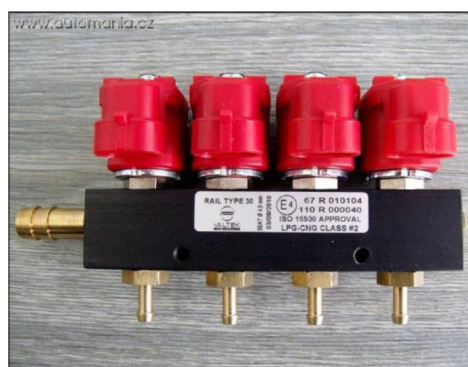
Prepínač pohonu je umiestnený na viditeľnom mieste v dosahu vodiča, zabezpečuje pohodlné prepínanie pohonu podľa voľby vodiča. Býva vybavený diódovým signalizátorom aktuálneho stavu LPG v nádrži a signalizátorom aktivovaného pohonu. Pri prepnutí pohonu dochádza k zmene farby LED signalizátora a tiež k akusickému signálu, prejaví sa tzv. "pípnutím". Aktuátor funguje na princípe posuvu piest vo telese tvaru trubky. Je ovládaný pomocou servomotora, ktorý sa riadi signálmi z riadiacej jednotky LPG, prípadne emulátora signálu lambda sondy. Správna funkcia aktuátora je podmienená správnu funkciou lambda sondy. Posúvajúc sa piest v jednom bode reguluje plochu prierezu na prívodnej hadici, a tým priamo ovplyvňuje množstvo odpareného paliva v regulátore. Na aktuátore sa nachádza nastaviteľný doraz, ktorým je možné regulovať maximálnu plochu prierezu vo ventile, a tým aj maximálne množstvo nasávaného paliva. Predpoklad správnej funkcie aktuátora je plne funkčná lambda sonda. Hoci lambda sonda nemá pevne stanovený výmenný interval, všeobecne platí, že jej životnosť závisí od celkového stavu motora a pohybuje sa medzi 100 až 160 tisíc km. [14]



Obr. 31 Prepínač pohonu [15]

## 2.7 VSTREKOVACIE VENTILY

Vstrekovacie ventily LPG slúžia na presné dávkovanie plynného paliva s možnosťou nastavenia zdvihu a prietoku. Z konštrukčného hľadiska sa jedná o elektromagneticky ovládaný ventil, ktorý po priložení napätia na solenoid vytvorí magnetické pole a pomocou neho stlačí pohyblivú časť (piest pod stálym tlakom pružiny). Takto otvorený ventil prepúšťa palivo cez koncovú trysku, ktorá ho rozptýli. Ventily sú riadené signálmi z riadiacej jednotky v intervaľoch cca 2-20 ms. [14]



Obr. 42 Vstrekovacie ventily LPG [15]





## 2.8 VENTIL PRE TANKOVANIE LPG

Ide o jednoduchý spätný ventil, ktorý je vždy umiestnený na vonkajšej strane vozidla. Pre montáž je nutný nevratný zásah do vozidla, keďže sa musí vyrobiť otvor pre jeho umiestnenie. Väčšinou sa montuje na mieste ľahko dostupnom pri tankovaní paliva, a to z pravej strany vozidla. Jeho umiestnenie odpovedá umiestneniu LPG nádrže, vhodné miesta sú napríklad zadný nárazník alebo zadné čelo. Je možné umiestniť ho pri hrdle benzínovej nádrže, pokiaľ je pre neho dostatok miesta. Takýto ventil je vybavený medzikusom s hrdlom pre tankovaciu pištoľ, ktorý je nutné pri tankovaní nasadiť do ventilu a po natankovaní ho následne demontovať. Miesto pre tankovanie LPG je označené žltou nálepkou LPG. [15]

## 2.9 LPG POTRUBIE

Pre vysokotlaké vedenie z nádrže do reduktora je použitá trubka Cu8x1 podľa ČSN 42 87 10, pre vedenie plynného LPG z reduktora do zmiešavača je použitá hadica priemeru 20 mm podľa ČSN EN 1762. [15]

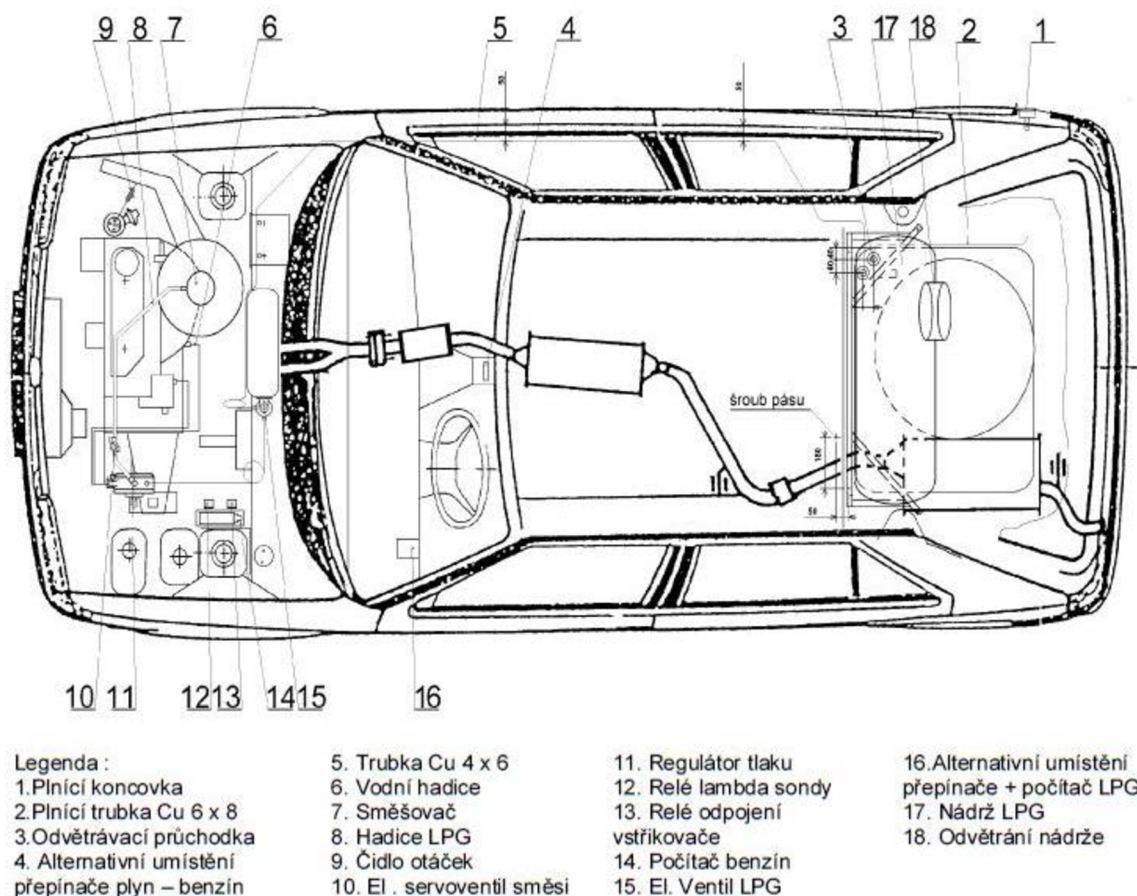


Obr. 53 Komponenty LPG a) Plynotesná schránka, b) Plniaca prípojka, c) plniaca redukcia, d) vysokotlaké potrubie [15]



### 3 ZÁSTAVBA LPG DO AUTOMOBILU

Osobné automobily poháňané benzínovým agregátom schválené homologizáciou je možné nechať vybaviť systémom pre pohon na LPG. Voľba konkrétneho systému závisí od technickej vyspelosti agregátu, ale aj od požiadavky prevádzkovateľa. [14]



Obr. 64 Schéma prezástavbu LPG škoda Felicia [14]

Voľba palivovej nádrže závisí od možností jej umiestnenia, a od požadovaného objemu nádrže. Väčšinou je LPG nádrž umiestnená v batožinovom alebo nákladovom priestore, priestore na rezervné koleso vozidla alebo zo spodnej časti podlahy vozidla. LPG palivová nádrž musí byť pevne uchytená držiakmi ku karosérii vozidla a nesmie sa za žiadnych okolností voľne pohybovať. Miesto pre umiestnenie sa volí mimo deformačnej zóny, u osobných áut spravidla býva umiestnená v blízkosti zadnej nápravy. Nádrž nesmie byť umiestnená v motorovom priestore vozidla. V prípade, že je použitá disková nádrž, je potreba zväžiť umiestnenie dojazdového kolesa (rezervy). Rezervné koleso musí byť pevne uchytené ku karosérii alebo rámu vozidla, alebo musí byť automobil dodatočne vybavený opravnou sadou pre bezdušové pneumatiky. [14]

Medená palivová trubka je vedená od LPG nádrže pod podlahou vozidla, a je potiahnutá polymérovou ochrannou vrstvou zabraňujúcou korózii a jej odieraniu. Je nutné ju viesť tak, aby bola pevne prychytená ku karosérii a nedošlo k jej namáhaniu na ohyb počas prevádzky. Treba taktiež dbať na to, aby a nedochádzalo k jej styku s pohyblivými časťami náprav a minimalizovať



prenos vibrácií z vozidla. Je potreba ju vytvarovať tak, aby kopírovala tvar podlahy a bola v dostatočnej vzdialenosti od výfukového potrubia, najmenej 10 cm. Pokiaľ je to možné, trubka je vedená po podlahe tak, aby sa nenachádzala v najnižšom bode karosérie a nemohlo dôjsť k jej poškodeniu pri prevádzke vozidla. Hoci trasa trubky nie je pevne určená, volí sa s ohľadom na úsporu materiálu čo najkratšou trasou. Trubku je možné ohýbať, treba však voliť dostatočne veľký rádius, aby sa predišlo jej zlomeniu. Celá armatúra je zakončená súdkami a spojovacím prvkom. Tieto musia byť vždy dotiahnuté požadovaným momentom. [14]

LPG filter je umiestnený na prístupnom mieste v motorovom priestore tak, aby bolo možné vykonávať jeho údržbu, čím sa myslí výmena filtračnej vložky, vykonávať revíziu a kedykoľvek bolo možné ho demontovať. [14]

Reduktor LPG je umiestnený v motorovom priestore v blízkosti malého chladiaceho okruhu motora, aby ho bolo možné k tomuto kruhu pripojiť a jeho vzdialenosť bola čo najbližšie k sanii motora. Hadice privádzajúce chladiacu kvapalinu musia byť voľne položené, bez pnutia alebo namáhania na ohyb, nesmie dôjsť k ich zlomeniu, čo by spôsobilo ich nepriechodnosť. Reduktor je uchytený vždy k pevnej časti karosérie pomocou držiaka. Je potreba dbať na fakt, že reduktor je vyhrievaný chladiacou kvapalinou a nesmie prísť do kontaktu s plastovými predmetmi ani káblovým zväzkom. Umiestnenie reduktora závisí od konkrétneho typu motora a miesta v motorovom priestore, keďže ide o relatívne veľké zariadenie. Reduktor musí byť natočený tak, aby prírodná hadica LPG smerovala k miestu do sania motora, kde je umiestnený zmiešavač, a aby bola dobre prístupná skrutka slúžiaca k nastaveniu základnej polohy hlavnej membrány. Prírodná palivová trubka nesmie byť v mieste vstupu do reduktora zlomená ani namáhaná na ohyb alebo ťah, a musí byť možné ju kedykoľvek demontovať. [14]

Reduktor aj palivový filter sú s palivovou nádržou LPG prepojené medenou trubkou, a preto musia byť montované vždy k pevnej časti rámu alebo karosérie, aby sa minimalizoval vplyv vibrácií spôsobených motorom a prevodovkou. [14]

Káblový zväzok elektroniky LPG systému musí byť umiestnený v dostatočnej vzdialenosti od zdrojov tepla, hlavne výfukových zvodov. Taktiež treba dbať nato, aby nebol v žiadnom mieste namáhaný ohybom alebo krutom a nemohlo dôjsť k jeho zlomeniu, prerušeniu alebo poškodeniu elektrickej izolácie. Kabeláž obsahuje napájací vodič, ktorý je vybavený tavnou poistkou 7,5-10 A v závislosti na použítom systéme. Napájací kábel je pripojený k svorke zapalovania, ktorá zároveň napája aj motorovú riadiacu jednotku. Systémy vybavené vlastnou programovateľnou pamäťou sú navyše vybavené ďalším vodičom, ktorý udržiava stále napájanie pre pamäťový modul v LPG riadiacej jednotke. [14]

Miesto ukostrenia treba tak, aby podľa možnosti nebol nutný zásah do karosérie. Každý vodič káblového zväzku musí byť farebne odlišný, aby sa zamedzilo prípadnej zámene medzi vodičmi. Ak je LPG palivová nádrž vybavená elektromagnetickým ventilom a snímačom hladiny v nádrži, pripájacie vodiče k nej sú vedené v ochrannej plastovej trubke vnútrou alebo vokajšou časťou po podlahe vozidla tak, aby bolo možné ju vo vhodných miestach uchytiť k podlahe sponami od seba vzdialenými 30 cm. V prípade, že je tento zväzok vedený vonkajšou časťou podvozku, je v ochrannej plastovej trubke vedený spoločne s medenou trubkou privádzajúcou kvapalnú LPG do filtra LPG. [14]

LPG filter, elektromagnetický ventil na reduktore a ventil na LPG nádrži tvorí jeden paralelný elektrický obvod, pričom záporný pól je vždy v blízkosti cievky na vhodnom mieste ukostrený. [14]



Riadiaca jednotka LPG je umiestnená vždy na dostupnom mieste, aby bolo možné pripojiť ju pomocou dátového kábla k počítaču. Teleso riadiacej jednotky je izolované pred vplyvmi vlhkosti, no riadiacu jednotku je vhodné umiestniť mimo nádob a zásobníkov s vodou, chladiacou kvapalinou a olejmi. Keďže ide o elektronickú súčasť, treba dbať nato, aby bola v dostatočnej vzdialenosti od výfukového potrubia. [14]

Káblový zväzok riadiacej jednotky LPG s vodičmi pre snímanie signálov z motorovej riadiacej jednotky je napojený v mieste svorky na motorovej riadiacej jednotke, pričom sa musí dbať, aby nedošlo k poškodeniu motorovej kabeláže alebo jej prerušeniu, pokiaľ to systém nevyžaduje. Vodiče musia byť vždy letované a následne opäť zaizolované. [14]

Kabeláž k prepínaču pohonu, ktorý je umiestnený v interiéri vozidla je treba viesť tak, aby sa zamedzilo poškodeniu hydroizolácie v miestach otvorov karosérie, a v prípade, že nie je možné viesť ju týmto miestom, vyrobí sa otvor odpovedajúcej veľkosti. Kábel je vedený gumovou vodotesnou izoláciou tak, aby kabeláž nemohla prísť do styku s ostrou hranou, a nedošlo k jej poškodeniu. Pri voľbe umiestnenia prepínača LPG treba dbať na to, aby bol umiestnený na viditeľnom mieste v dosahu zo sedadla vodiča tak, aby bol otočený signálnymi diódami a prepínačom viditeľným smerom z pohľadu vodiča a bolo možné ho kedykoľvek pohodlne ovládať. Prepínač LPG nesmie obmedzovať prístup k žiadnemu funkčnému prvku alebo inému ovládacímu prvku v interiéri. Treba taktiež zohľadniť aj estetickú stránku, a podľa možnosti prepínač umiestniť tak, aby nebolo nutné robiť nevratný zásah do palubnej dosky. Väčšinou je vhodné zvoliť miesto nevyužitých ("mŕtvych") tlačidiel alebo prázdne miesta medzi prepínačmi na palubnej doske. [14]

Každé vozidlo prestavané pre pohon na LPG musí byť viditeľne označené žltou nálepkou podľa smernice EU. [14]

### 3.1 LPG SYSTÉM PRE MOTORY S KARBURÁTOROM

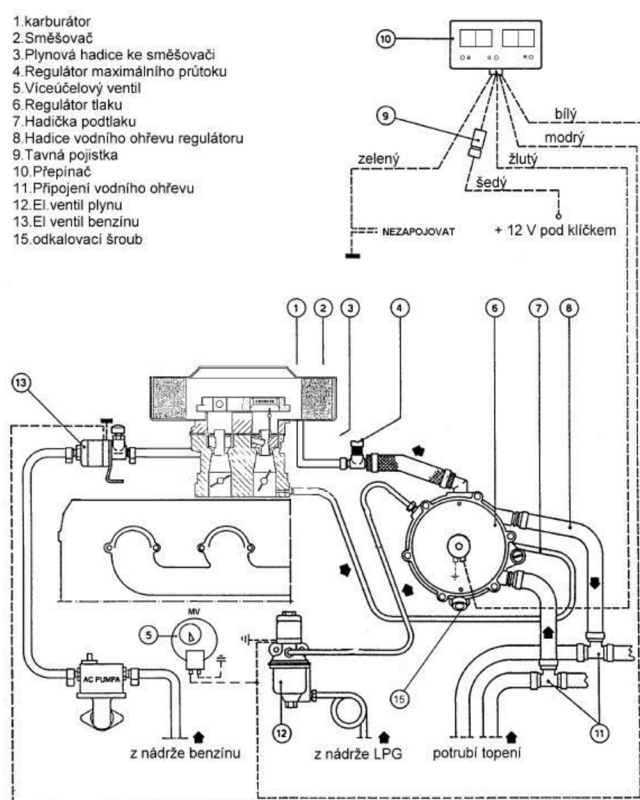
Motory s karburátorom väčšinou nie sú vybavené riadiacou jednotkou, lambda sondou ani katalyzátorom. Pre pohon na LPG je použitý jednoduchá prepínač pohonu, podtkalový regulátor, zmiešavač, elektromagneticky ovládaný palivový ventil a filter s elektromagnetickým ventilom. [8]

Prepínač funguje v režime "jazda na benzín", "prechodový režim" a "jazda na LPG". Jednotky výrobcu B.R.C. sú vybavené ešte manuálne ovládaným spínačom, tzv. "sýtič". Pri jazde na benzín riadiaca jednotka privádza napätie 12V na elektromagnetický palivový ventil umiestený v mieste prívodu benzínu do karburátora a tým umožňuje pohon na benzín. Prepínač ostáva v polohe "jazda na benzín", pokiaľ sa motor nezohreje aspon na 60 °C, kvôli vyhrievaniu podtlakového reduktora. Následne vodič prepne prepínač do polohy "prechodový režim" a jednotka odpojí elektromagnetický palivový ventil umiestený v mieste prívodu benzínu do karburátora, ktorý sa stáva nepriechodzí. Do karburátora sa tak nedostáva ďalšie palivo, ale prúdi prepádovým potrubím naspäť do nádrže. Táto poloha slúži na "vyjazdenie" zvyšku benzínu v plavákovvej komore karburátora. Po krátkom čase počas jazdy môže vodič prepnúť do polohy "jazda na LPG". V tomto režime riadiaca jednotka privádza napätie na všetky elektromagnetické ventily v systéme a spúšťa tak pohon na LPG. Spínač "sýtič" slúži privedenie napätia na elektromagnetické ventily v systéme pre pohonu na LPG. V prípade, že sa auto pohybuje so zaradeným rýchlostným stupňom je možné prepnúť priamo na LPG, avšak pri vyradenom rýchlostnom stupni môže dôjsť k zahlteniu motora palivom a nemožnosti jeho opätovného spustenia. Pred ukončením jazdy s pohonom na LPG je odporúčané nechať





motor chvíľku bežať na benzín, aby sa znovu zaplavila plaváková komora karburátora. Pri dlhšom vypnutí motora a jeho vychladnutí sa pri opätovnom štarte nemusí pri zapnutom pohone na LPG podariť motor na LPG naštartovať. Výhodou tohto systému je nízka počítateľná investícia a jednoduchá elektronika. Nevýhodou je nutnosť kontroly nastavenia bohatosti zmesi, ktorá závisí od teploty nasávaného vzduchu. Regulačná skrutka na nastavenie bohatosti zmesi je umiestnená na privodnej hadici LPG do zmiešavača, a systém sa nastavuje vždy pri motore zohriatom na prevádzkovú teplotu. Základné nastavenie systému prebieha pri zapnutom pohone na LPG, kedy sa otáčky motora udržuujú na cca 3000 ot/min, a skrutkou na privodnej hadici k zmiešavaču sa otáča pokiaľ nezačnú otáčky klesať, potom následne sa skrutkou pootočí o štvrt' otáčky späť a motor sa nechá bežať vo voľnobežných otáčkach. Následne sa skrutkou na reduktore nastaví základná poloha hlavnej membrány, aby voľnobežné otáčky odpovedali predpísanej hodnote. Celý proces sa opakuje niekoľko krát. Súčasne sa kontrolujú hodnoty emisií zariadením na to určeným a v prípade zvýšených emisií sa bohatosť zmesi upraví. Pri pohone LPG je vďaka vlastnostiam LPG možné dosiahnuť lepšie emisné výsledky ako pri pohone na benzín, čo však môže viesť k príliš chudobnej zmesi. Hoci motor na voľnobeh a vo zvýšených otáčkach reaguje zdanlivo dobre, v praxi môže nastať problém pri prevádzke, keď je potreba výkonu motora. Prejaví sa neochotou brať sa do vyšších otáčok pri akcelerácii a nutnosťou podraďovať do nižších prevodových stupňov pri zvýšenej záťaži alebo tiahlych stúpaniach. Podmienkou pre správne nastavenie tohto systému je dokonale utesnené výfukové potrubie, keďže jediným riadiacim údajom pre nastavenie bohatosti zmesi sú údaje z merania emisií. [8]



Obr. 75 Schéma zapojenia LPG pre motory s karburátorom [14]

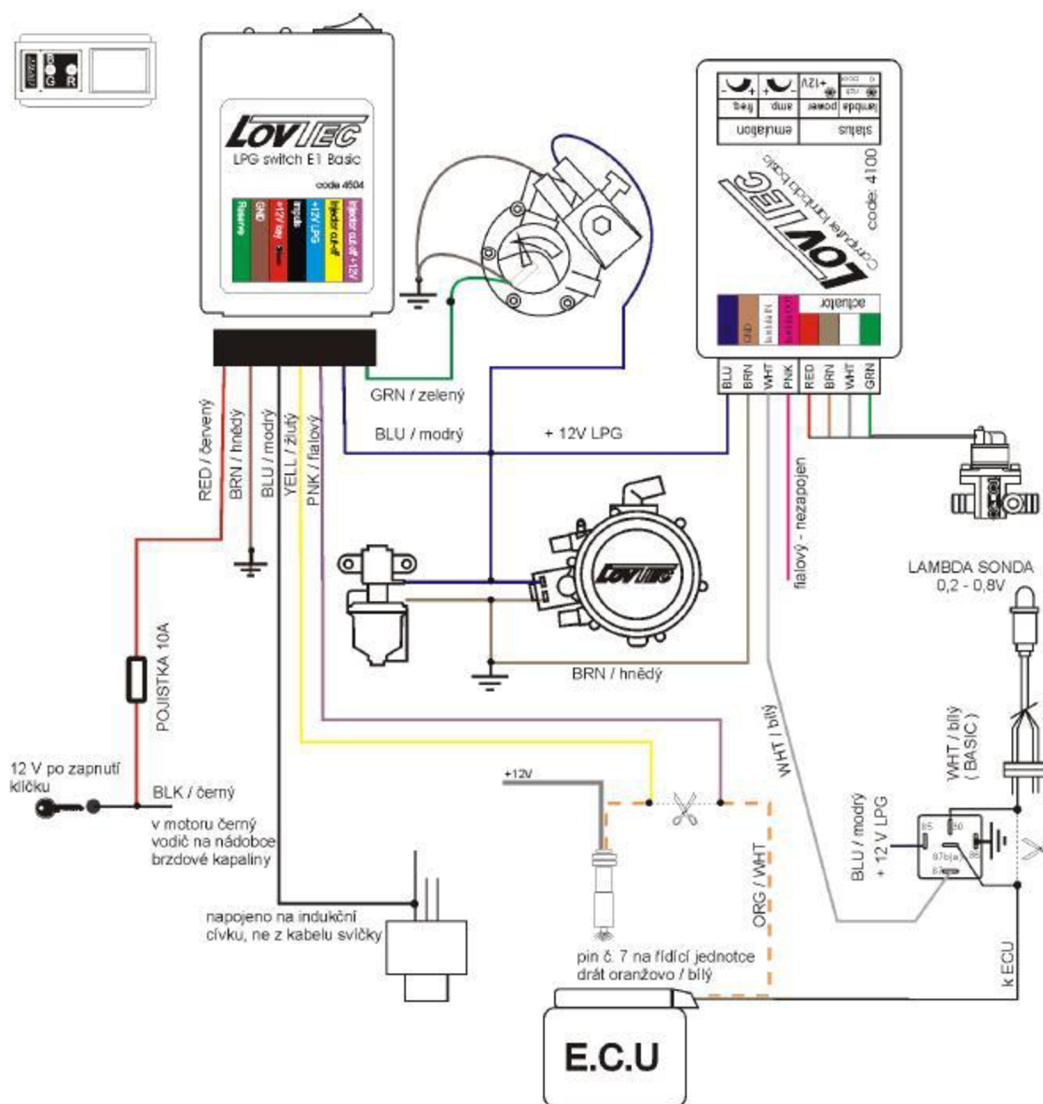
### 3.2 LPG SYSTÉM PRE VOZIDLÁ S JEDNOBODOVÝM A VIACBODOVÝM VSTREKOVANÍM PALIVA VYBAVENÉ OBD



Snímanie otáčok motora, polohy škrtiacej klapky a signálu z lambda sondy (sonda detekujúca zbytkový kyslík vo výfukových plynoch) umožňuje prestavbu na vyspelejší systém. Jedná sa o motory s jednobodovým alebo viacbodovým vstrekom, ktoré sú vybavené vyhrievanou lambda sondou a riadeným katalyzátorom. Tieto systémy dokážu spracovať signály o množstve paliva. Pre tento systém je použitá riadiaca elektronika s emulátorom signálu z lambda sondy, podtlakový reduktor, zmiešavač, filter s elektromagnetickým ventilom a aktuátor. [9]

Riadiaca elektronika pre pohon na LPG je prepojená s motorovou riadiacou jednotkou, z ktorej získava údaje o otáčkach motora, konkrétne sa jedná o signál impulzov zapalovacej cievky a prerušuje elektrický obvod vstrekovania paliva. Signálové vodiče lambda sondy sú prerušené a pomocou elektromagnetického relé pripojené do riadiacej jednotky LPG alebo emulátora signálu lambda sondy. Tento systém funguje v režimoch jazdy na benzín a jazdy na LPG so štartom na benzín. Pri funkcii jazda na benzín LPG systém do chodu motora nijak nezasahuje. Pri zapnutom pohone LPG motor štartuje na benzín a ostáva v pohotovostnom režime, pri dosiahnutí preddefinovaných otáčok motora (cca 1600 ot/min) LPG jednotka odpojí vstrekovanie, a aktivuje pohon na LPG privedením napätia 12V na všetky elektromagnetické ventily v LPG systéme. Riadiaca elektronika LPG vyhodnocuje signál lambda sondy, a priamo riadi polohu akčného člena- aktuátora a tým bohatosť zmesi. Pri pohonoch so vstrekom môže motorová riadiaca jednotka vykazovať chybu motora, ktorá je spôsobená prerušením obvodu vstrekovania. Pri opätovnom pohone na benzín je väčšinou táto porucha eliminovaná. Výhodou podtlakového systému s aktuátorom je presnejšie nastavenie bohatosti zmesi pomocou akčného člena. Tento systém je možné aplikovať aj pre motory, ktoré sú vybavené OBD a spĺňajú normu EURO 2. Pri pohone na benzín akčný člen uzavrie prírodnú hadicu LPG do sania, a tým znemožní zbytočné napínanie hlavnej membrány. Dôležitým faktorom pre správne fungovanie aktuátora je dobrý stav lambda sondy, keďže sa jedná o hlavný riadiaci signál. Pri nesprávnej funkcii lambda sondy môže dôjsť k nastaveniu príliš chudobnej zmesi alebo naopak príliš bohatej zmesi. Príliš bohatá zmes vedie k zvýšenej spotrebe paliva a má negatívny vplyv na katalyzátor. Pracovná teplota katalyzátora je cca 600°C, pri bohatej zmesi spaľovanie zvyškov LPG v katalyzátore vedie k zvýšeniu teploty. Po dosiahnutí teploty 800°C sa katalytické články začínajú poškodzovať a časom rozpadajú. Parametre pre nastavenie LPG systému sú signál potenciometra škrtiacej klapky a otáčky pre aktiváciu pohonu LPG. Nevýhoda systému spočíva v dlhom vedení odpareného LPG do spaľovacej komory. Tento systém síce dokáže reagovať na zmenu polohy škrtiacej klapky, nedokáže však v dostatočnom časovom predstihu a v dostatočnej miere regulovať množstvo LPG, ktoré hlavná membrána prepúšťa. Pri vstupe do sacieho potrubia má LPG teplotu o niečo nižšiu, ako teplota chladiacej kvapaliny, no pred vstupom do valca sa ohrieva v sacom potrubí. Dlhé vedenie plynu v horúcom sacom potrubí spôsobí okrem ďalšej expanzie aj nahromadenie LPG, kvôli jeho nižšej rýchlosti prudenia v saní. Pri dlhšej jazde môže vplyvom rozdielnych teplôt na vstupe do sacieho potrubia a vstupe do valca dôjsť ku kondenzácii LPG, ktoré potom výrazne sťažuje opätovné spustenie motora. V krajnom prípade môže nastať, že dôjde k jeho zapláneniu od ventilu a výbuchu. Tento jav sa označuje ako "backfire", kedy sa vznieti zmes v sacom potrubí, sprevádzaná navyše akustickým prejavom, tzv. "strielaním do sania". Jedná sa o nežiadúci jav, pričom môže dôjsť k vážnemu poškodeniu plastových častí sacieho potrubia, snímačov prietoku vzduchu alebo mechanizmu škrtiacej klapky. Taktiež dochádza k úplnému zničeniu vzduchového filtra a airboxu. Akýmsi riešením tohto problému je použitie systému, ktorého akčný člen je prepúšťací ventil, ktorý nahradí aktuátor na prírodnej hadici LPG. Tento prepúšťa palivo v závislosti na potrebe motora, stále však môže dôjsť k jeho hromadeniu v sacom potrubí. [8]





Obr. 86 Schéma zapojenia LPG pre motory so vstrekaním [14]

Výhodou tohto systému je nízka cena prestavby v porovnaní s modernejšími systémami so sekvenčným vstrekaním paliva, no prináša so sebou isté riziko poškodenia motorových komponentov. Motory s jednobodovým vstrekaním väčšinou ešte neboli vybavené čidlom klepania a zapalovacím modulom, ktorý by vedel prispôsobiť predstih zapalovania. Hodnota predstihu je nemenná alebo sa mení spolu s podtlakom v sacom potrubí. Vzhľadom k tomu, že pri pohone na LPG prehára zmes dlhšie ako zmes benzínová, malý predstih vedie k strate výkonu motora. Je vhodné preto zvážiť trvalo zmeniť predstih zapalovania. [8]

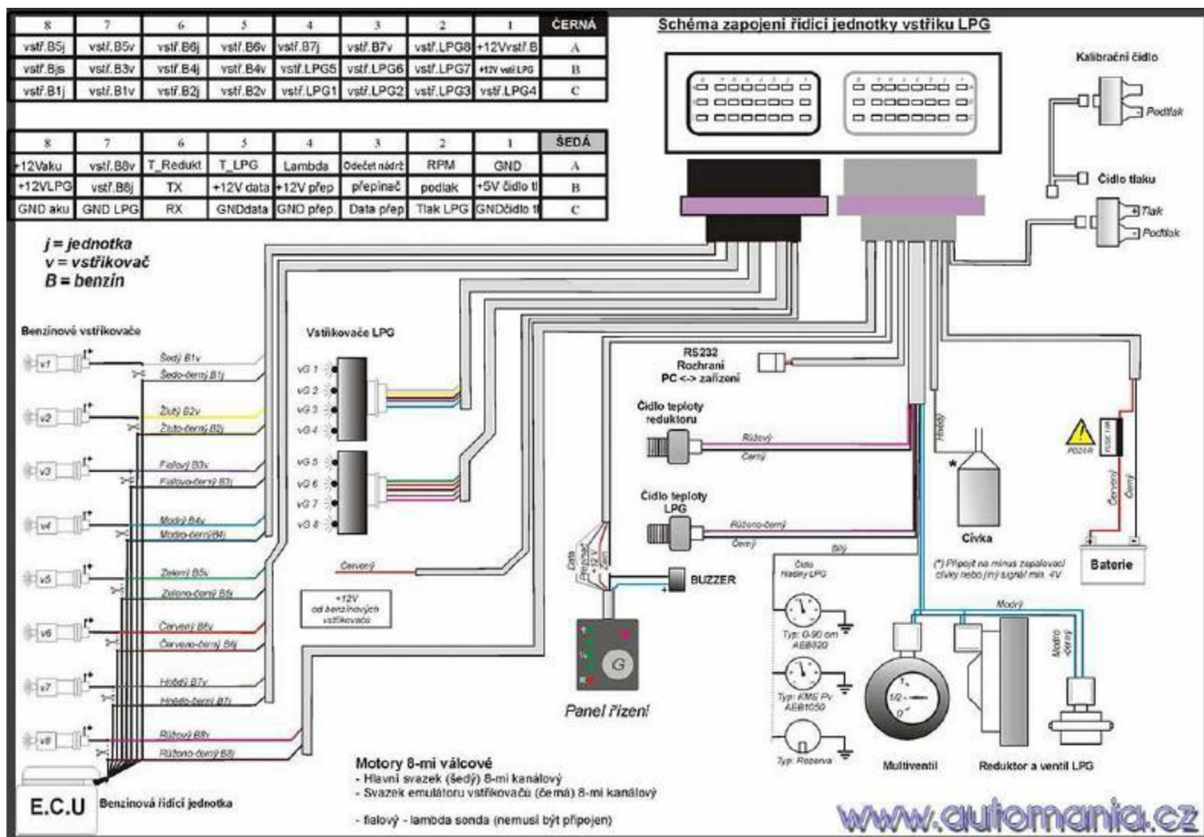
### 3.3 SEKVENČNÉ VSTREKOVANIE LPG PRE MOTORY S VIACBODOVÝM VSTREKOVANÍM PALIVA

Viacbodové vstrekovanie paliva vyžaduje snímanie hornej úvtare prvého valca, a tento signál principiálne umožňuje použitie sekvenčného vstrekovania LPG. Modernejšie motory s viacbodovým vstrekaním vyrábané po roku 2001 sú vybavené systémom palubnej diaagnostiky OBD II, a nie je možné ich vybaviť systémom s podtlakovým reduktorom, ktorý nedokáže plniť normu EURO4. Natívna riadiaca jednotka sníma okrem hodnôt kyslíkovej lambda sondy ešte



hodnoty za katalyzátorom, kde je umiestnená druhá sonda, ktorá vyhodnocuje celý proces spaľovania. [8]

Sekvenčné vstrekovanie LPG pracuje s LPG v plynnom stave, pričom je použitý samostatný vstrekovací ventil pre každý valec. Výhodou elektromagnetických vstrekovacích ventilov je vysoká presnosť dávkovania paliva a rýchla odozva, cca 2 ms. Systém pre sekvenčné vstrekovanie zahŕňa riadiacu jednotku pre pohon na LPG, prepínač pohonu, vyhrievaný reduktor, LPG filter a vstrekovacie pre LPG. Môžeme hovoriť o dvoch typoch systémov, paralelnom a sériovom systéme. [8]



Obr. 97 Schéma zapojenia LPG pre motory s OBD II [15]

### 3.3.1 PARALELNÉ SEKVENČNÉ SYSTÉMY

Paralelné systémy disponujú vlastnou riadiacou jednotkou pre pohon na LPG s vlastnou pamäťou a vlastným komunikačným rozhraním. Táto jednotka je zapojená paralelne s natívnou motorovou riadiacou jednotkou, odtiaľ pochádza názov paralelný systém. LPG riadiaca jednotka pracuje so všetkými signálmi motorových senzorov, tj.: poloha škrtiacej klapky, prietok vzduchu, snímanie hornej úvrate prvého valca, teplota chladiacej kvapaliny, signál lambda sondy a čidlo klepania. Kopíruje tzv. "benzinovú mapu" z natívnej motorovej riadiacej jednotky, pomocou ktorej prispôbujú množstvo vstrekovanej LPG podľa konkrétnej charakteristiky motora. U mnohých automobilov dochádza po čase k rozsvieteniu kontrolky motora, čo vyvoláva všeobecne obavy. Benzinová riadiaca jednotka je síce aktivovaná, ale pri zapnutom pohone na LPG nemá na chod motora vplyv. Môže teda nastať situácia, kedy sa snaží riadiť vstrekovacie, ku ktorým však kvôli LPG riadiacej jednotke nemá prístup, resp. sú odpojené. Vzká teda porucha, ktorú si táto jednotka zapíše a benzinový systém začne vykazovať chybu. Riadiaca jednotka sa



dostáva do núdzového režimu, a môže nastať problém pri opätovnom pohone na benzín, keďže chyba ostala uložená v pamäti riadiacej jednotky. Výrobcovia prišli k zapojeniu tzv. emulátora poruchy, ktorý vymaže chybu zapísanú v pamäti benzínovej riadiacej jednotky. Tento spôsob je síce účinný, nerieši však príčinu vzniku chybových signálov. [8]

### 3.3.2 SÉRIOVÉ SEKVENČNÉ SYSTÉMY

Ďalší problém ale nastáva v prípade, že je motor vybavený systémom OBD II. Tento systém je oproti klasickému viacbodovému vstrekovaniu vybavený druhou sondou za katalyzátorom, pomocou ktorej riadiaca jednotka vyhodnocuje celkové údaje o spaľovaní. Paralelná LPG riadiaca jednotka je navrhnutá tak, aby pracovala so signálom z lambda sondy, nie však so signálom zo sondy za katalyzátorom. Tento problém rieši sériové zapojenie riadiacej jednotky LPG a benzínovej riadiacej jednotky. Celý chod motora riadi benzínová riadiaca jednotka, a výstupný signál pre vstrekovače je zapojený ako vstup do LPG riadiacej jednotky. Pri pohone na LPG dochádza k prerušeniu vstrekovania benzínu a k emulácii signálov vstrekovačov prostredníctvom riadiacej jednotky LPG, ktoré sú privedené na vstrekovače LPG. Sériový systém zabezpečuje promptne korekcie vstrekovania a nedochádza viac k vytváraniu chybových signálov a následnému prepnutiu do núdzového režimu. [8]

Výhodou sekvenčného vstrekovania LPG je fakt, že riadiaca jednotka dávkuje palivo podľa aktuálnej potreby motora, prípadne žiadne palivo nevstrekuje, napríklad pri brzdení motorom. Je to jednak ekonomicky výhodné, no vstrekovače sú hlavne umiestnené čo najbližšie k sacím ventilom, čo principiálne zamedzuje vzniku hromadenia LPG v sacom potrubí a vzniku spätných zápalov. Motor sa spustí vždy najskor na benzín, pričom systém sekvenčného vstrekovania je v pohotovostnom režime a aktivuje sa po dosiahnutí teploty chladiacej kvapaliny minimálne 35°C a zvýšení otáčok motora na 1600 ot/min. Hoci k aktivácii pohonu LPG dochádza automaticky, je vhodné ho aktivovať manuálne pri jazde so zaradením rýchlostným stupňom. Z vlastnej skúsenosti viem, že pri súčasnom rozbehu pomocou spojky na prvom prevodovom stupni a pridaní plynu, sa po dosiahnutí otáčok 1600 systém prepne na pohon LPG, ale motor, navyiac v zábere spojky pri rozbehu, si neudrží otáčky a zhasne. [8]

Principiálne je tento systém možné použiť aj v motore s priamym vstrekaním paliva. Benzínové vstrekovače vstrekujú palivo priamo do spaľovacieho priestoru valcov, čo vedie k ich veľkému tepelnému namáhaniu. Za normálnych okolností sú vstrekovače chladené benzínom, ktorý sa vracia prepádovým systémom späť do nádrže. Pri sekvenčnom vstrekaní LPG sa však vyskytuje problém, kedy pri vyššom zaťažení motora dochádza k prehrievaniu neaktívnych benzínových vstrekovačov. Aby sa predišlo ich poškodeniu, dochádza automaticky k prerušeniu pohonu na LPG a opätovnému spusteniu benzínových vstrekovačov a pohonu na benzín. Voľba pohonu síce priamo závisí od vôle užívateľa, no samotná voľba paliva a tým pomer spotreby LPG a benzínu závisí od prevádzkových otáčok motora. Nielen výsledná spotreba paliva, ale výsledný pomer spotrebovaného paliva teda závisí hlavne na spôsobe jazdy. [8]

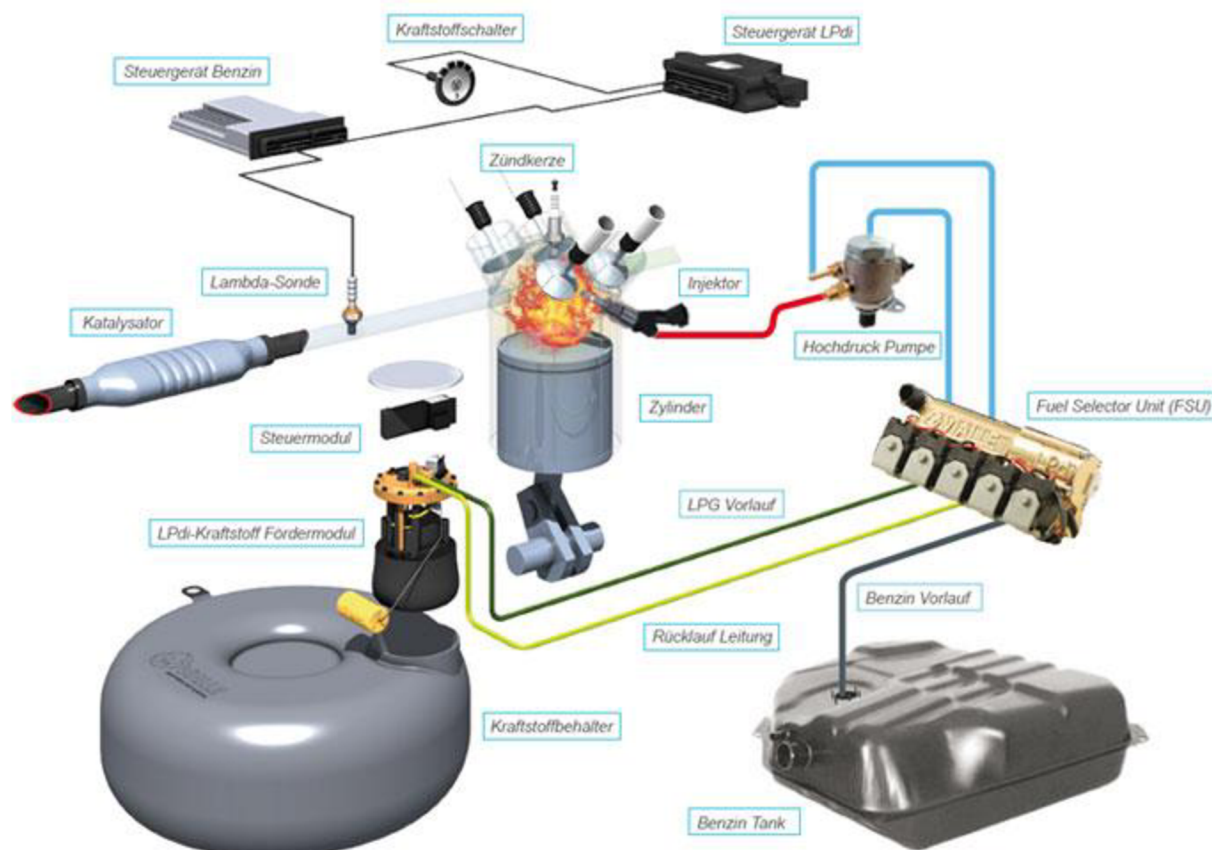
## 3.4 VSTREKOVANIE LPG V KVAPALNEJ FÁZI

Pokrok v oblasti priameho vstrekovania paliva viedol k vývoju modernejšieho systému, ktorý dokáže pracovať priamo s natívnymi benzínovými vstrekovačmi a vstrekať LPG v kvapalnej fázi. Ako zástupcu som zvolil holandský systém Vialle LPdi, ktorý je v súčasnej dobe jedným z najvyspelejších dostupných systémov. Výhodou tohto systému je fakt, že nie je potrebný mechanický zásah do sania motora, ani montáž samostatných vstrekovačov pre LPG. V systéme nedochádza k odparovaniu tekutého LPG, takže nie je použitý klasický





vyhrievaný reduktor. LPG nádrž je navyše vybavená čerpadlom paliva, ktoré dopravuje tekuté LPG pri tlaku 3-5 bar prostredníctvom vysokotlakého vedenia. Ako potrubie už nie je použitá medená trubka, ale tlaková hadica, ktorá tekuté LPG privádza do modulu FSU (jednotka pre riadenie paliva). V module FSU ústia nezávisle vysokotlaké príruby LPG aj benzínu. Modul FSU je riadený elektronicky samostatnou sériovou riadiacou jednotkou, ktorá prepína typ paliva v module. Odtiaľ je palivo ďalej privádzané do vysokotlakého čerpadla, kde sa tlak paliva zvyšuje v závislosti na režime motora od 30 až na cca 100 bar. Vysoko stlačené palivo je takto vstrekané priamo do spaľovacej komory prostredníctvom vstrekačov. [12], [1]



Obr. 108 Schéma zapojenia LPG pre motory s Priamym vstrekaním paliva [1]

Benzínová motorová riadiaca jednotka stále plnohodnotne riadi chod motora. Ďalšou výhodou je možnosť spúšťania motora priamo na LPG, keďže nie je potrebný ohrev reduktora. Vzhľadom na to, že LPG je vstrekané natívnymi benzínovými vstrekačmi, nedochádza k ich prehrievaniu ani pri vyšších otáčkach motora. Systém je vybavený spätným odvodom tzv. "prepadom", takže nevyužitú LPG zo vstrekačov odchádza naspäť do LPG nádrže. [12] [1]

### 3.5 LPG PRE NAFTOVÉ MOTORY

Mnohí z nás sa už viedli autobusmi MHD Solaris, no málokto vie, že jazdia na plyn. Taktiež nákladné automobily na naftový pohon je možné prestavať na LPG alebo CNG. Ako zástupcu pre pohon naftových agregátov na LPG uvádzam systémy výrobcu Solaris Diesel. Každý systém využíva teplovodný vyhrievaný reduktor a dva vlastné vstrekače LPG. Narozdiel od benzínových spaľovacích motorov, nedochádza k prerušeniu vstrekovania





natívneho paliva- nafty, ale jedná sa o duálny pohon, kedy vozidlo jazdí súčasne na naftu a LPG. Systém funguje na princípe vstrekovaniu plynného LPG do sania motora, a pokiaľ je motor vybavený turbodúchadlom, potom je vstrekoč LPG umiestnený vždy na sacej strane turbodúchadla. Po zmiešaní LPG so vzduchom je do spaľovacej komory vstrekována nafta a motor spaľuje zmes vzduchu, LPG a nafty. LPG slúži nielen ako palivo, ale aj ako katalyzátor. Dochádza k rýchlejšiemu zapáleniu zmesi a lepšiemu prehoreniu, teda lepšiemu využitiu energie palív. Účinnosť prehorenia nafty je až 98%, pre porovnanie moderné motory s Common-Rail systémom dosahujú účinnosť spálenia zmesi maximálne 85%. Množstvo vstrekovanej LPG je riadené samostatnou riadiacou jednotkou pre LPG, v závislosti na pracovnom režime motora. Obsah HC vo výfukových plynoch klesá o 50% oproti pohonu na samotnú naftu. [3]

Prestavbu LPG je možné uskutočniť na všetkých typoch dieselových motorov, použitie konkrétneho typu však závisí od vyspelosti naftového vstrekovacieho systému. Staršie motory s mechanickým čerpadlom nebývajú vybavené žiadnou elektronikou, ani snímačom otáčok motora, ktorý väčšinou sníma otáčky kľukového hriadeľa alebo vačkového hriadeľa. Riadiaca jednotka Solaris Basic LPG však dokáže snímať zvlnenie napätia na alternátore, z ktorého vie určiť otáčky motora. [11]

Podľa hmotnosti vozidla sa všeobecne rozdeľuje na <3,5t pre systém TIT a >3,5t pre systém DNA. Pre vozidlá s elektronickým snímačom polohy plynového pedálu je vhodná práve jednotka DNA, ktorá dokáže emulovať tento signál, ďalej tiež signál MAP a tlak v palivovej sustave. Moderné motory však pracujú výhradne s digitálnymi signálmi, ktoré by bolo nutné zbytočne prevádzať na analógové. Na to slúži jednotka DGT, ktorá sníma a spracováva všetky signály z motorovej riadiacej jednotky výhradne v digitálnej forme. Hlavné signály pre vstup do DGT sú otáčky motora, tlak v sacom potrubí (MAP), množstvo nasávaného vzduchu (MAF), polohu plynového pedálu (TPS), teploty výfukových plynov (EGT), teplota a tlak vstrekovanej LPG. Riadiaca jednotka pre LPG je vybavená 3-rozmernou predprogramovanou mapou, podľa ktorej určí presné množstvo vstrekovanej LPG. Dávkovanie LPG je veľmi dynamické v závislosti od snímaných hodnôt z motorovej riadiacej jednotky. Motor je dodatočne vybavený ďalším senzorom- čidlom EGT. Systém využíva hodnoty z tohto snímača zabudovaným tesne za výstupom spalín z turbodúchadla, ktorý sníma teplotu výfukových plynov. Pri zvýšení teploty výfukových plynov riadiaca jednotka obmedzuje dávku LPG tak, aby nedošlo k detonačnému spaľovaniu. [11]

Použitie systému Dieselgas používa vlastný MAP senzor, ktorý sa montuje sériovo so špeciálnym vzduchovým filtrom, životnosť takéhoto filtra je 50 000 km. Riadiaca jednotka pracuje s napätím 12V, pokiaľ je vo vozidle elektroinštalácia pod napätím 24V, sústava je vybavená elektronickým meničom napätia 24V/12V. [3]

Pre nákladné automobily prevážajúce nebezpečný náklad platí sada zvláštnych pravidiel týkajúcich sa pohonu na LPG. Všetky elektrické spotrebiče a ventily musia byť umiestnené mimo motorový priestor. Riadiaca jednotka musí byť umiestnená priamo v kabíne vodiča spolu s 10A poistkou a meničom napätia, ktorý musí byť po vypnutí motora odpojený pomocou elektromagnetického relé. [11]



## 4 VPLYV LPG NA ŽIVOTNOSŤ MOTOROVÝCH KOMPONENTOV

Pri spálení benzínu s malým množstvom motorového oleja sa na sedlách ventilov vytvára karbónový povlak, ktorý prirodzene maže ventilové sedlá. Olej určený pre benzínový motor obsahujú nízke až stredné množstvo uhlíka, obsahujú zhruba 0,2-1,2% uhlíka. Dôsledkom iného molekulárneho zloženia LPG v porovnaní s benzínom, je odlišný priebeh prehorenia zmesi a iné zloženie výfukových plynov. LPG horí suchšie ako benzín, dosahuje vyššie teploty pri spaľovaní a spôsobuje tým výraznejšie opotrebenie ventilových sediel. LPG však obsahuje podstatne menej uhlíka ako benzín, čo vedie k zníženej karbonizácii motorového oleja. To na jednej strane umožňuje použiť olej s meneším množstvom dekarbonizačných aditív, na druhej strane však treba brať do úvahy, že sa tým zhorší už aj tak slabšie mazanie ventilových sediel. Aby sa zabránilo ich poškodeniu sediel ventilov, prestavba motora na LPG si vyžaduje dodatočné primazávanie ventilov. [10]



Obr. 119 Ventil hlavy valcov [10]

### 4.1 NITRÁCIA

Vplyv nitrácie na mazacie vlastnosti oleja je jednou z hlavných príčin jeho rýchlej degradácie. Nitráciou znehodnotený olej má vyššiu viskozitu, čo má za následok slabé mazanie klzných plôch hlavných kľukových a ojnicových ložísk, ktoré vedie k ich predčasnemu opotrebeniu. Nitrácia je neželaný proces, ktorý vzniká reakciou motorového oleja s oxidmi dusíka, ktoré vznikajú ako produkt po spálení zmesi vo valci. Jedná sa konkrétne o skupinu organických zlúčenín- dusičnanov a zlúčeniny obsahujúce NO<sub>x</sub> skupinu. Vznik nitrácie závisí na prevádzkových podmienkach motora, jeho záťaži, teplote motorového oleja a taktiež bohatosti zmesi. Vznikajú nezávisle na oxidácii, ktorá je ďalším faktorom, ktorý degraduje mazacie vlastnosti motorového oleja. [10]

Z hľadiska obsahu dusíka tvoria najväčšiu skupinu látok práve dusičnany. Do motorového oleja prenikajú potom ako prichádza do styku so spalínami. Problematický je hlavne EGR ventil, ktorý prepustí časť spalín do sacieho potrubia, odkiaľ je zmes spolu s oxidmi dusíka následne nasaná do valca. Dusík za normálnych podmienok existuje ako plyn N<sub>2</sub>. Počas procesu spaľovania, obzvlášť pri vysokom tlaku a teplote, dochádza k rozbitiu väzby a reakcii s kyslíkom v spalínach. Tu sa oxidy dusíka naviažu na motorový olej, ktorý sa nachádza na trecích plochách valca, ktorý prechádza stieraný piestnymi krúžkami do kľukovej skrine. Dusičnany výraznou mierou pispievajú ku vzniku kalov, obzvlášť potom ako sa do motorového oleja dostane ich väčšie množstvo. Pri istej koncentrácii už tieto látky nie sú schopné sa ďalej v oleji rozpúšťať. Proces tvorby kalu začína najskôr jemnými povlakmi a úsadami, ktoré postupne vytvoria prílnavú živcovú hmotu v podobe tmavého kalu. K tepelnému rozkladu dusičnanov dochádza pri teplote nad 150°C. Pri studenom režime behu motora, kedy teplota stien valcov nedosahuje aspoň



160°C, ale tiež pri voľnobežných a nízkych otáčkach sa dusičnany výrazne sa podieľajú na degradácii motorového oleja. Opticky je možné zistiť prítomnosť dusičnanov napríklad na váhadlách ventilov, zdvihátkach ventilov a na piestoch, kde ich zlúčeniny vytvárajú gaštanovo-hnedý povlak, ktorý spôsobuje zalepenie a následné zapečenie piestnych krúžkov. Tiež sa výraznou mierou podieľajú na upchávaní pórov olejového filtra, čím znižujú jeho filtračnú schopnosť a tým jeho životnosť. [10]

Množstvo oxidov dusíka vznikajúcich pri spaľovaní závisí od dobrého stavu zapaľovacích sviečok, správnom čase zapaľovania zmesi a dobrom spaľovaní zmesi. Zloženie nasávaného vzduchu, správny pomer a rozprášenie paliva, predstih zapaľovania, výška tlaku pri spaľovaní, výsledná teplota spalín, preťažovanie motora, chladenie motora spojené so vznikom predzápalov a detonačným spaľovaním majú významný vplyv na tempo rastu nitrácie. So stúpajúcou teplotou nasávaného vzduchu a zvyšujúcou sa záťažou motora dochádza k nárastu nitrácie motorového oleja. Následné zhoršené mazacie vlastnosti oleja spôsobujú opotrebenie piestnych krúžkov, s ktorým prichádza pokles kompresného tlaku a prenikaniu spalín priamo do kľukovej skrine. Okrem piestnych krúžkov zohrávajú významnú roľu aj netesnosti hrdiel ventilov a hriadeľ turbocúchadla, kadiaľ sa tiež dostávajú oxidy dusíka do kontaktu s motorovým olejom. Tieto ďalej reagujú s motorovým olejom a dochádza k jeho degradácii a zníženiu vrstvy olejového filmu. Typickým príznakom prítomnosti oxidov dusíka v oleji je načervenalý povlak na pieste v drážkach spodného tesniaceho krúžka a stieracieho krúžka. [10]

Výrazný vplyv na tvorbu dusičnanov má teda hlavne tesnosť piestnych krúžkov, guferiek ventilov, odvetranie plynov z kľukovej skrine a interval výmeny motorového oleja. Dobré odvetranie kľukovej skrine hrá významnú úlohu, keďže reakcie plynov s motorovým olejom vznikajú práve tu. Hoci interval výmeny oleja nemá vplyv na vznik nitrácie, po výmene starého oleja dochádza k lepšiemu mazaniu a v prípade motorov s vyšším počtom najazdených kilometrov k citeľnému stíchnutiu. V miestach, kde starý motorový olej vytváral tenší olejový film, dochádza k lepšiemu utesneniu a tým aj k zníženému prieniku spalín do kľukovej skrine. Všeobecne platí, že skrátenie výmenného intervalu oleja prináša menšie opotrebenie a predlžuje životnosť motorových častí. [10]

Teplota motorového oleja hrá významnú úlohu pre schopnosť dusičnanov naviazať sa motorový olej. Pri relatívne studenom oleji dochádza k jeho zvýšenej nitrácii, teplota oleja by teda pre udržanie nitrácie v rozumných medziach mala byť aspoň 70°C, kedy je už tvorba dusičnanov podstatne nižšia ako pri studenom oleji. Bohatosť zmesi má taktiež nezanedbateľný vplyv, pri koncentrácii zbytkového kyslíka v v spalinách vrozmedzí 0,5-4,5%, najviac pri jeho koncentrácii 3,3%, dochádza v najvyššej miere k nitrácii oleja. Olej by sa mal vymeniť, pokiaľ sa množstvo dusičnanov v oleji priblíži k hodnote 5%. [10]

## 4.2 OXIDÁCIA

Druhým vážnym faktorom degradujúcim motorový olej je oxidácia. Oxidácia vzniká primárne ako reakcia zbytkového kyslíka s pestrou škálou produktov vzniknutých spálením zmesi. Tieto zlúčeniny ďalej prenikajú do motorového oleja, kde vytvárajú sekundárne zlúčeniny po reakcii s vlhkosťou a nečistotami v motorovom oleji. Olejový filter, ktorý musí spĺňať nároky na priepustnosť vylkeho množstva oleja, je schopný zachytiť častice >20um. Všetky pevné častice <20um ostávajú ďalej v oleji a mazacom okruhu, častokrát pôsobia ako katalyzátory alebo spúšťače reakcie, čím vytvárajú priestor pre vznik terciálnych produktov oxidácie. Pri teplote nad 80°C sa s každým ďalším nárastom teploty o 10°C miera oxidácie zvyšuje cca dvojnásobne. Vysoká teplota a tlak teda spôsobujú rapidný nárast oxidácie, ktorá olej znehodnocuje redukciami





minimálnej hrúbky olejového filmu a vytváraním agresívnych kyselín. Hoci motorový olej neprichádza do styku s vodou, prítomnosť vzdušnej vlhkosti a vodné pary vznikajúce ako produkt spaľovania vedú k tvorbe kyselín. Produkty oxidácie ďalej spôsobujú koróziu všetkých častí motora prichádzajúcich do styku s olejom. Okrem látok rozptýlených v oleji na molekulárnej úrovni dochádza tiež k tvorbe úsad a kalov, ktoré sú dôsledkom pôsobenia kyselín na povrchy rôznych materiálov jednotlivých častí motora. Hoci oxidácia vzniká nezávisle na nitrácii, so zvyšujúcou sa mierou nitrácie sa ruku v ruku zvyšuje aj tempo jeho oxidácie, keďže ducišňany za prítomnosti vlhkosti vytvárajú kyseliny obsahujúce kyslík. Oxidácia znižuje mazacie schopnosti oleja, a tým pádom zvyšuje opotrebenie piestnych krúžkov a znižuje ich tesnosť. Pri pri úniku kompresie a spalín cez krúžky zase dochádza k rýchlejšej nitrácii. [10]

### 4.3 PRÍDAVNÉ MAZANIE VENTILOVÝCH SEDIEL

Spomedzi širokej ponuky systémov na ochranu motora a motorových komponentov je podľa informácií z prieskumu veletrhu Gasshow 2012 vo Varšave najvýhodnejší systém Flashlube, konkrétne Flashlube Valve Saver Fluid. Jedná sa o motorové aditívum, používané pri pohone vozidiel na LPG, CNG, metán, biometán a benzín, ktoré nahrádza olovo. Svojimi mazacími účinkami minimalizuje opotrebenie ventilových sediel, udržuje vrchné časti valcov čisté a znižuje ich vysokú teplotu. Toto mazivo je vhodné pre všetky vozidlá vybavené lambda sondou a riadeným katalyzátorom. Pri pohone na LPG alebo CNG slúži na presné dávkovanie do paliva automatický dávkovač, jeho aplikácia je teda veľmi pohodlná. Výrobcom udávané množstvo aditíva je 50 ml na 50 l paliva. [5]



Obr. 20 Systém Flashlube Valve Saver Fluid [16]





## ZÁVER

Dnes už pomerne široká sieť čerpacích staníc LPG a množstvo špecializovaných servisov pre oblasť vozidiel s pohonom na LPG významne prispela k rozvoju a rozšíreniu vozového parku s pohonom na LPG. Z hľadiska použitia konkrétneho LPG systému na prestavbu LPG je možné deliť automobily podľa vyspelosti systému dodávania paliva. [7]

Najstarším typom sú motory s karburátormi a tieto môžu byť vybavené systémom s podtlakovým reduktorom. Pri dobre nastavenom systéme a tankovaní paliva vždy od rovnakého dodávateľa vykazuje motor spotrebu LPG porovnateľnú so spotrebou benzínu, všeobecne však možno stanoviť nárast spotreby o 10-15 %. Pokles výkonu je okolo 10-15 % oproti výkonu na benzíne. Cena prestavby na vozidlo s karburátorom sa pohybuje okolo 11000 Kč v závislosti od výkonu motora a výrobcu systému. Užívateľmi dosiahnutá spotreba u vozidla Škoda Forman 1.3 43 kW sa pohybuje na hranici 8,5 l/100km. Z vlastnej skúsenosti viem, že pri úspornej jazde po diaľnici rýchlosťou 100 km/h je možné dosiahnuť spotrebu LPG 7 l/100km, no v zimnom období spotreba LPG stúpa cca o 1-1,5 l/100km oproti letnému obdobiu.

LPG systém využívajúci podtlakový reduktor, riadený akčným členom prostredníctvom signálu z lambda sondy je možné použiť v automobiloch vybavených jednobodovým alebo viacbodovým vstrekaním paliva s OBD. Spotreba LPG v litroch je zhruba o 10-15% vyššia ako spotreba na benzín, hodnoty poklesu výkonu sú podobné ako pri systéme pre karburátorové motory. Cena týchto systémov je kvôli elektronike a riadiacemu členu o niečo vyššia, pohybuje sa zhruba na hranici 15000 Kč. Z dlhodobého merania spotreby paliva na vozidle Škoda Felicia 1.3 BMM Ing. P. Ramíkom sa spotreba LPG pri úspornej jazde pohybuje okolo 7,5-8 l/100km.

Vozidlá s viacbodovým vstrekaním paliva a motory s priamym vstrekaním paliva vybavené OBD2 je možné prestavať na pohon LPG pomocou sekvenčného vstrekovania. Cena sekvenčného vstrekovania je kvôli vyššiemu počtu elektronických komponentov oproti podtlakovému systému podstatne vyššia, jedná sa o cca dvojnásobok ceny podtlakového systému, no dosiahnutá spotreba LPG je oproti podtlakovému systému nižšia. Systém však dokáže plniť náročnú normu EURO3. Pokles výkonu motora výrobca uvádza max. 5% a spotreba paliva v litroch sa oproti spotrebe benzínu zvýši približne o 10%. Životnosť vstrekovacích ventilov výrobca uvádza 50 000 km, ale v praxi vydržia bez problému fungovať i 100 000 km. Užívateľské meranie spotreby na automobile Citroen C4 1.6 16V 80 kW r.v. 2007 po najjazdení 30 000 km, vykazuje priemernú kombinovanú spotrebu benzínu 6,5l/ 100 km. Po prestavbe na pohon LPG so sekvenčným vstrekaním sa mi podarilo dosiahnuť priemernú kombinovanú spotrebu 8 l/100km LPG.

Motory s priamym vstrekaním paliva s pohonom LPG vybavené sekvenčným vstrekaním trpia pri vyšších otáčkach vysokým tepelným namáhaním benzínových vstrekováčov. Voľba aktuálne vstrekaného paliva, a tým aj pomer spotreby benzín/ LPG tahého motora sa výrazne líši v závislosti na prevádzkových otáčkach a zaťažení motora. Pri úspornej jazde je možné dosiahnuť pomer spotrebovaného benzínu a LPG 1:7, avšak pri športovej jazde, kedy pracuje motor prevažne v stredných a vyšších otáčkach sa tento pomer výrazne líši. V extrémnom prípade teda môže pomer benzín/ LPG dosiahnuť pomer 57:1. [12]

Z rešerše plynie, že najlepším a najúčinnnejším spôsobom vstrekovania je priamy vstrek paliva v kombinácii so systémom LPdi, ktorý zatiaľ na našom trhu nie je moc rozšírený. Využíva



natívne motorové vstrekovače a vlastné čerpadlo v nádrži LPG. Pracuje s vysokým tlakom paliva, nedochádza k prehrievaniu a poškodeniu vstrekovačov. Jeho cena je podstatne vyššia ako cena klasického sekvenčného systému pohybuje sa na hranici 50 000 Kč. Spotreba benzínu je však úplne minimálna, keďže motor dokonca aj štartuje na LPG. [1]

Prestavba naftových motorov je podstatne finančne náročnejšia, cena systému začína na cca 50 000 Kč. Naftový motor s duálnym pohonom na LPG však vykazuje lepšiu účinnosť spálenia nafty, ktorá sa blíži až k hranici 98%. Veľkou výhodou je, že prestavba je možná u všetkých typov naftových motorov, dokonca aj motorov, ktoré nedisponujú žiadnou elektronikou. Pri prestavbe na duálny pohon spotreba nafty klesá o 10-25%, pričom nárast výkonu a krútiaceho momentu činí až 30%. Úspora je značná obzvlášť u vozidiel, ktoré absolujú dlhé trasy a ročne spravia väčšie množstvo kilometrov. U ťahača nákladnej automobilovej dopravy, jazdiaceho denne dlhé trasy je spotreba nafty okolo 25-30 l/100 km. Úspora pri duálnom pohone na LPG a naftu podľa zdroja [4] viac ako 170 000 Kč ročne. [3]

Vzhľadom na odlišné molekulárne zloženie a iný priebeh spaľovania LPG, dochádza k vyššiemu tepelnému namáhaniu ventilových sediel. Menší obsah uhlíka a iný typ uhľovodíkov nevedie ani po najjazdení vyššieho počtu kilometrov k výraznejšej karbonizácii motorového oleja. Napohľad sa javí ako čistý, čo môže viesť k mýlnej domnienke, že spaliny LPG sú k motorovému oleju šetrnejšie. Produkty vzniknuté spálením LPG majú v porovnaní s benzínom taktiež iný vplyv na degradáciu motorového oleja. Odolnosť motorového oleja voči nitrácii závisí sčasti od typu základového oleja a hlavne od jeho aditív. Oleje API Group I obsahujú 68-77% nasýtených uhľovodíkov, čo znamená, že najmenej 23% tvoria aromatické uhľovodíky. Tieto sú hlavným zdrojom potenciálnych reakcií, ktoré vedú k nitrácii, oxidácii a vzniku kyselín. Kvalitnejšie oleje môžu obsahovať až do 85% nasýtených uhľovodíkov, pričom sú používané rôzne aditíva pre zníženie náchylnosti k nitrácii a oxidácii. Základové oleje patriace do API Group II a III obsahujú najmenej 90% nasýtených uhľovodíkov a menej ako 0,03% síry. Ich odolnosť voči nitrácii a oxidácii je výrazne lepšia, z čoho vyplýva ich lepšia životnosť. Najlepšie sa osvedčili syntetické základové oleje patriace do API Group IV obsahujúce PAO, ktoré vykazujú podstatne lepšiu odolnosť voči nitrácii ako všetky ostatné skupiny olejov. [10] Pre ochranu ventilových sediel podľa výsledkov medzinárodného veľtrhu vo Varšave najlepšie uspел systém Flashlube Valve Saver Fluid. Tento systém poskytuje ochranu ventilových sediel a ich dodatočné primazávanie. [16]



## POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] Vialle. LPdi [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
<http://www.vialle.nl/producten/lpdi.html?L=1>
- [2] Nazeleno. Emise CO2 [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
<http://www.nazeleno.cz/nazelenoplus/emise-co2/euro-5-zdrazi-emisni-limity-automobily.aspx>
- [3] Diesel Gas. Přidávání LPG do nafty [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
<http://www.diesel-gas.cz/>
- [4] Fedorauto. Přestavba LPG [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
<http://www.fedorauto.cz/prestavby-lpg>
- [5] Ochrana motorů. Aditivum Valve Saver Fluid [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.ochranamotoru.cz/flashlube-ochrana-motoru-lpg-cng-valve-saver-fluid.php>
- [6] Elpege. Přestavby na LPG [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
<http://www.elpege.cz/lpg-prestavby/>
- [7] LPG Černošice. Statistika LPG [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
<http://lpg.cernosice.cz/index.php?page=stats.php&order=pocet>
- [8] LPG. LPG systémy [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
[http://www.lpg.cz/lpgsystemy/lpgsystemy\\_popis.php](http://www.lpg.cz/lpgsystemy/lpgsystemy_popis.php)
- [9] Tomegas. Co je propan butan [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
<http://www.tomegas.cz/co-je-propan-butan/>
- [10] Mobilindustrial. Nitration in natural gas engines [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-04-212-224.pdfw.mobilindustrial.com/IND/English/Files/tt-nitration-in-natural-gas-engines.pdf>
- [11] Solaris diesel. Alternative power disel LPG [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.solarisdiesel.eu/en/>
- [12] Vialle. Popis funkce Vialle [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
<http://www.vialle.cz/cz.php?txt=popis-funkce>
- [13] Europegas. Technology [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
<http://www.europegas.pl/en/Diesel/TECHNOLOGY.html>
- [14] H. L. Propan. Montážní instrukce k přestavbě pohonu na LPG [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.hlpropan.cz/>
- [15] Dataservis. LPG komponenty [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
[http://www.destaservis.cz/html/popis\\_komponentu.html](http://www.destaservis.cz/html/popis_komponentu.html)
- [16] Gasshow. Flashlube [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
[http://gasshow.pl/?page\\_id=680&lang=en](http://gasshow.pl/?page_id=680&lang=en)



## ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

API	[-]	American Petroleum Institute
BMM	[-]	Bosch Mono-Monotronic
cca	[-]	circa
CNG	[-]	Compressed Natural Gas - stlačený zemný plyn
CO	[-]	oxid uhoľnatý
č.	[-]	číslo
ČSN	[-]	česká technická norma
EGR	[-]	Exhaust Gas Recirculation
EGT	[-]	Temperature of the Exhaust Gas - teplota výfukových plynov
EHK	[-]	Európska hospodárska komisia
EÚ	[-]	Európska únia
FSU	[-]	Fuel Selection Unit - jednotka pre voľbu paliva
HC	[-]	pevné častice
Kč	[-]	koruna česká
LED	[-]	Light Emmitting Diode
LPdi	[-]	Liquid Propane direct-injection
LPG	[-]	Liquid Petroleum Gas - skvapalnený ropný plyn
MAF	[-]	množstvo nasávaného vzduchu
MAP	[-]	tlak v sacom potrubí
MHD	[-]	mestská hromadná doprava
NO <sub>x</sub>	[-]	oxidy dusíka
OBD	[-]	On Board Diagnostic - palubná diagnostika
obj%	[-]	objemové percento
PAO	[-]	polyalfaolefin
r.	[-]	rok
r.v.	[-]	rok výroby
SO <sub>x</sub>	[-]	oxidy síry
TPS	[-]	Throttle Position Sensor
U	V	elektrické napätie
VAZ	[-]	Volžský automobilový závod