

Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



LPG jako alternativní palivo

LPG as an alternative fuel

Vedoucí: Ing. Jan Hromádka, Ph.D.

Autor: Jiří Hemelík

Praha, 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Hromádka, Ph.D. a v seznamu literatury uvedl všechny použité odborné literární zdroje.

Poděkování

Tímto bych se chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce, Ing. Janu Hromádkovi, Ph.D., za pomoc a veškerý čas, který mi věnoval. Dále všem, kteří mě po celou dobu mé práce podporovali a inspirovali.

Abstrakt

Má bakalářská práce s názvem „LPG jako alternativní palivo“ je rozdělena do čtyř částí. První část seznamuje čtenáře s historickými palivy, především plynnými. V další části práce popisuje, kde a jak můžeme LPG získat, jakým způsobem ho můžeme přepravovat a tankovat do našich vozidel. Ve třetí části práce vysvětluje, jak vozidla přestavěná na LPG fungují, s jakými typy jednotlivých vozidel a soustav se můžeme v dnešní době setkat, včetně jejich výhod a nevýhod. V závěru práce naznačuje budoucí směr vývoje použití LPG.

Klíčová slova

Propan-butan, alternativní pohony, palivový systém, škodlivé emise

Abstract

My bachelor's thesis named „LPG as an alternative fuel“ is divided into four parts. The part acquaints readers with the historical fuels, primarily with gaseous one. The next section describes where and how we can get LPG, how can be carried and refueled in our vehicles. The third part explains how the LPG vehicles work, what type of individual vehicles and systems we encounter today, including their advantages and disadvantages. The conclusion determines the future trend of use the LPG.

Key words

Propane-butane, alternative fuels, fuel system, emissions

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Historie plyných paliv v dopravě	2
2.1 Svítiplyn:.....	3
2.1.1 Stlačený svítiplyn	3
2.1.2 Nestlačený svítiplyn	5
2.2 Dřevoplyn	7
2.3 Metan.....	9
3. Výroba, distribuce a tankování LPG	10
3.1 Charakteristika LPG	10
3.2 Výroba	10
3.3 Distribuce LPG	14
3.4 Tankování	14
4. Charakteristika vozidel na LPG	17
4.1 Výhody a nevýhody LPG	17
4.2 Koncepce vozidel s plynovými pohony	18
4.3 Jednotlivé komponenty palivové soustavy LPG	20
4.3.1 Nádrž.....	20
4.3.2 Víceúčelový ventil (multiventil)	21
4.3.3 Regulátor.....	21
4.3.4 Směšovač a vstřikovače.....	22
4.4 Druhy LPG systémů	23
4.5 Legislativa	26
5. Očekávaný vývoj v oblasti využívání LPG	27
6. Závěr	29
7. Použitá literatura	30
8. Seznam obrázků a tabulek	32

1. Úvod

Alternativní palivo, pojem, který většinu lidí odradí. Představujeme si pod tímto pojmem náhradu „čehosi“ co funguje a jsme na to zvyklí. Mezi rozšířenou lidskou vlastnost patří lenost, duchovní apatie či neochota plynoucí z nedostatečné motivace a stojíme před otázkou proč. Smyslem této práce je přiblížit lidem nejen výhody a nevýhody alternativních paliv, ale především jejich budoucnost.

Téma využití alternativních paliv v automobilovém průmyslu je diskutováno již mnoho let. Postupně docházelo v této oblasti k velkému technickému posunu vpřed. Od jednoduché náhrady ropných paliv (benzín, nafta), přes mnohem složitější strukturní úpravy (LPG, CNG), až po zcela revoluční řešení jako jsou systémy s palivovými články. Použití alternativních paliv často vede k určitému obnovení a modernizaci řešení, které se již v automobilové minulosti objevili (např. využití plynu).

Trh s pohonnými hmotami se zařazením alternativních paliv značně rozvětvil a otázkou využití alternativních paliv se proto zabývá stále víc organizací (např. organizace zabývající se ochranou životního prostředí a ekologií) i vědecká komunita. Důvodem jejich zvýšené pozornosti je hlavně fakt, že fosilní paliva budou lidstvem dříve nebo později zcela vyčerpána a výroba nafty a benzínu tak již nebude možná. Drtivá většina automobilů se bez nich v dnešní době neobejde. Dalším důvodem využití alternativních paliv je jejich negativní vliv na živé organizmy, životní prostředí a v neposlední řadě i na globální klimatické podmínky. Proto se klade mnohem větší důraz na kvalitu paliva, která ovlivňuje také snižování nebo naopak zvyšování emisí.

V mé bakalářské práci jsem se proto zaměřil na využití LPG jako alternativního paliva z důvodu rozšířenosti v České republice a také proto, že takový vůz vlastním. V průběhu práce se Vás pokusím seznámit s historií, principem a očekávaným vývojem LPG soustav.

2. Historie plyných paliv v dopravě

Historie plyných paliv sahá až k samému počátku kolových vozidel do roku 1807 k prvnímu kolovému vozidlu sestavenému francouzsko-švýcarským vynálezcem Issacem de Rivazem. Vozidlo bylo poháněno prvním spalovacím pístovým motorem, který jako palivo používal směs svítiplynu a vzduchu v kombinaci s jiskrovým zapalováním. Slovem úspěšný můžeme nazvat muže jménem Jean Joseph Etienne Lenoir, který roku 1859 získal patent na motor poháněný svítiplynem. O čtyři roky později zdolal s vozem opatřeným tímto motorem osmnácti kilometrovou jízdu v Paříži s průměrnou rychlostí 6km/h. V roce 1867 byl na Pařížské světové výstavě představen motor dvou vynálezců E. Lengena a N. A. Otta. Představili svůj jednoválcový motor s „velmi nízkou“ spotřebou ve srovnání s předchozími motory a to až o dvě třetiny. V roce 1872 se začal tento motor sériově vyrábět s výkony od 0,25 do 3 koňských sil při 60 otáčkách za minutu. Směs svítiplynu a vzduchu byla zapalována pomocí plamínku odkrývaného šoupátkem. Svítiplyn byl použit prakticky jako první palivo vůbec pro motory automobilů, autobusů, lodí i tramvají. V roce 1893 byla v Německu spuštěna první tramvaj poháněná svítiplynem z tlakových zásob. O zavedení plynové tramvaje se v roce 1897 uvažovalo i v Praze, ale nakonec neúspěšně. Na konci 19. století vzrostl zájem o vozidla na kapalná paliva, čímž se vývoj vozidel na plyná paliva poměrně zpomalil. Protože zásoby kapalných paliv států nebyly nijak veliké, již během 20. let se vraceli k plyným palivům a to nejen z důvodu nedostatku kapalných zásob, ale také z důvodu ekologičnosti, ekonomičnosti a startování v chladném počasí. Po druhé světové válce, při které se vozidla na plyná paliva velmi rozšířila, nastal útlum a opět nejčastěji používaná paliva byla kapalná.

Nyní se již dostaneme k mému tématu, LPG neboli zkapalněný propan – butan. Mezi nejvyspělejší země v této problematice byla Itálie a to můžeme teoreticky přisuzovat k ceně kapalných paliv. V ČR se zkapalněný propan – butan začal rozvíjet po roce 1989. V té době ho většina domácností používala na vaření, některé i k vytápění. Propan – butan byl ale bohužel dostupný pouze v plněných tlakových lahvích. Budování a rozšiřování čerpacích stanic na LPG v té době teprve začínalo. Dostáváme se až k dnešku, kdy LPG je nejvyužívanější alternativní palivo u nás. Důvodů je hned několik, samozřejmě mezi hlavní kritéria patří cena paliva, která je způsobena nízkou spotřební daní, ale nedílnou součástí jsou další výhody. Vozidla sloužící k podnikání jsou zproštěny povinnosti platit silniční daň, dnešní systémy vstřikování komunikují přímo s řídicí jednotkou motoru a motor má takřka srovnatelný výkon jako při

provozu na benzín, LPG je šetrnější k motorovému oleji co se týče životnosti náplně apod. V současné době v Čechách využívá LPG přes 200 000 vozidel. Veřejných čerpacích stanic nabízejících LPG je přes 800 registrovaných.

2.1 Svítiplyn:

Svítiplyn, někdy také přezdíváný městský plyn, se v přírodě prakticky nevyskytuje. Vzniká hlavně tlakovým zplyňováním hnědého uhlí s kyslíkem a vodní parou a je tvořen směsí vodíku, dusíku, metanu, oxidu uhelnatého a z nějaké části oxidu uhličitého.

Svítiplyn jako alternativní palivo byl využíván v první polovině 20. století, kdy již za první světové války státy začali pociťovat nedostatek benzínu. Svítiplyn se používal jako stlačený i nestlačený. Výkon motoru při jízdě na svítiplyn klesal oproti benzínu asi o desetinu. Spotřeba se při přepočtu na jeden litr benzínu, dle dochovaných měření, pohybovala někde mezi 1,5 – 1,8 m³. Jednou z výhod svítiplynu vzhledem k tlaku byla rychlost tankování.

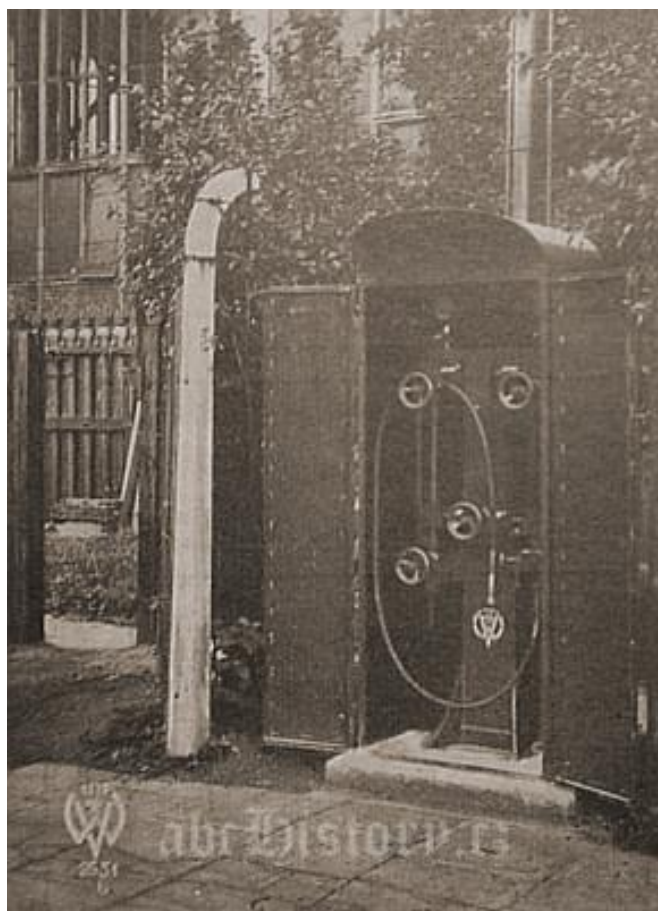
2.1.1 Stlačený svítiplyn

Stlačený svítiplyn byl přepravován ve vyrobených lehkých ocelových lahvích ze slitin niklu, chromu a molybdenu (Ni – Cr – Mo). Tyto slitiny byly velmi odolné proti korozi. Láhve se svítiplynem byly vzhledem ke své velikosti umístěny ve voze nejčastěji na střeše viz obrázek č.1.



Obrázek č. 1 - Automobil se zásobníkem na stlačený svítiplyn [3]

Tankování stlačeného svítiplynu probíhalo ve speciálních stanicích, viz obrázek č. 2. Do takzvané kompresní stanice byl svítiplyn z plynárny dopraven při tlaku cca 350 barů do zásobníků stanice. Z této stanice byl do zásobníkových lahví aut dopravován pomocí stanice při tlaku cca 20 barů. Automobily jezdící na svítiplyn byly oproti benzínovým upraveny pouze o reduktor, směšovač a příslušné vedení. Stlačený svítiplyn byl používán u osobních vozidel, eventuálně i u nákladních, které měli tlakové láhve umístěné pod nákladovým prostorem. V polovině čtyřicátých let minulého století vzrostl počet aut poháněných svítiplynem do tisíců.



Obrázek č. 2 - Plnicí stanice [4]

2.1.2 Nestlačený svítiplyn

Nestlačený svítiplyn byl využíván převážně u autobusů, ovšem v některých případech i u osobních automobilů. Svítiplyn byl umístěn v zásobnících (vypadajících jako balóny) umístěné nejčastěji na střeše. Na obrázku č. 3 můžete vidět taxi z anglického města Birmingham, které bylo poháněno na nestlačený svítiplyn a zásobník mělo umístěno na střeše. Dne 22. března roku 1944 byla v Praze zavedena autobusová linka Michle – Hostivař (respektive Záběhlice – Hostivař), která pro přepravu osob využívala autobus s pohonem na nestlačený svítiplyn. Na této lince jezdily upravené autobusy značky Praga TO. Autobus byl schopen přepravit najednou až 80 pasažérů. Linka začínala u Michelské plynárny, kde při nástupu pasažérů probíhalo tankování. Celý proces tankování včetně připojení, odpojení a zaznamenání stavu plynoměru i přes velký objem vaku (cca 14,5m³) trvalo necelých 5 minut. Na obrázku č. 4 vidíme autobus Praga TO, který byl na rozdíl od Londýnských autobusů nebo Birminghamským taxíků vybaven zakrytou nástavbou krycí plynový vak což vypadalo o hodně bezpečněji.



Obrázek č. 3 – Birminghamské taxi na nestlačený svítiplyn [5]



Obrázek č. 4 Autobus Michle – Hostivař [6]

Pražský autobus byl podroben mnohým měření a některé z nich se nám povedlo i dochovat.

Tab. 1: Naměřené hodnoty z Pražské dopravy z roku 1944 [7]

Celkem ujeto	195 km
Spotřebováno svítiplynu	179 m ³
Spotřeba svítiplynu na 1 km	0,917 m ³
Poměrná spotřeba svítiplynu na 1 litr benzínu	$91,7 : 65 = 1,41 \text{ m}^3$
Průměrné množství svítiplynu na jednu jízdu Michle– Hostivař a zpět	9,5 m ³
Náplň vaku 14,5 m ³ stačí na	15,8 km
Průtok svítiplynu při plnění svítiplynu	4 m ³ /minutu
Efektivní doba plnění 9,5 m ³ svítiplynu	2 1/2 minuty

2.2 Dřevoplyn

Dřevoplyn je směs oxidu uhelnatého, vodíku, metanu a oxidu uhličitého. Směs těchto prvků vzniká za vysoké teploty (>500°C), kdy uhlík reaguje s párou nebo kyslíkem. Dřevoplyn je prakticky zplynované dřevo, které můžeme využít kromě vytápění obytných prostor také k pohonu vozidel. Vozidlo nemusíme nijak upravovat pro jízdu na dřevoplyn, ovšem musíme umístit k vozidlu dřevoplynový generátor (upravený kotel). Dřevoplyn pro pohon motorových vozidel byl využíván hlavně v období druhé světové války, kdy ropa byla hlavně pro vojenské účely.

Počátky využívání dřevoplynu jako paliva pro pohon vozidel připisujeme konci 18. století. Vozidla s motory spalující dřevoplyn měly o více než pětinu nižší výkon než stejný motor při provozu na benzín. K dalším problémům patřilo umístění dřevoplynového generátoru (kotle) k nebo na vozidlo. Spouštěcím faktem pro použití dřevoplynu v dopravě byla hospodářská krize v letech 1929 až 1933 a to hlavně z ekonomických důvodů a nedostatku ostatních paliv. V období války vyvinuly velký zájem o provoz vozidel na dřevoplyn země jako Francie, Itálie, Dánsko, Švýcarsko a Velká Británie. Ve Švédsku dokonce začátkem roku 1939 využívalo dřevoplynu jako paliva až 50% autobusů a více než 40% nákladních aut. V druhé polovině války nebylo skoro možné sehnat jiný druh paliva, proto obliba dřevoplynu velice rostla. Například v Německu na konci války (1944) údajně jezdilo okolo 500 000 vozidel (auta, autobusy, plavidla, nákladní vozy) na dřevoplyn. Na obrázku č. 5 vidíme přestavený automobil z konce 80. let. Na obrázku č. 6, upozorňuji na propagaci dřevoplynu jako paliva z roku 1936. Jednou z několika nevýhod bylo roztápění dřevoplynového kotle, což nám mohlo způsobit značné zdržení (obrázek č.7)



Obrázek č. 5 – Automobil ARO na dřevoplyn [8]

VÍTKOVICKÉ ŽELEZÁRNY

dodávají

GENERÁTORY NA DŘEVNÝ PLYN pro motorová vozidla.

Úspora: až 80% proti pohonu benzínem! Kromě toho osvobození od daně na 3 roky ve smyslu zákona č. 77 ze dne 12. dubna 1935, § 60.

Palivo: nejlépe bukové dřevo nebo jeho směs s jinými druhy dřeva.

Vysoká rentabilita: průměrná spotřeba 2.5 kg dřeva — 1 litr lihobenzinové směsi. Čistý, dehtu prostý plyn. Hodí se obzvláště pro nákladní auta, autobusy, motorové vozy pro dráhy.

KOLA A KLÍČE PRO AUTA, GARÁŽE, HYDRAUL. ZVEDÁKY A KOMPRESORY.

Ústřední ředitelství a ústřední prodejní kancelář: **MORAVSKÁ OSTRAVA 10.**
Pražská kancelář: **PRAHA II., Bredovská 9.**

Obrázek č. 6 - Inzerát z roku 1936 [9]



Obrázek č. 7 – Roztápění vozu na dřevoplyn [10]

2.3 Metan

Metan přezdívaný jako bahenní plyn je nejjednodušší alkan a tudíž i uhlovodík vůbec. Mluvíme o plynu bez barvy a zápachu. Svými vlastnostmi ve využití je podobný svítiplynu. Přeprava probíhá také v lahvích odolných proti korozi, do kterých je stlačován pod vysokým tlakem. Hlavní výhodou metanu je oproti svítiplynu dojezd vozidla.

Nejmenovaná Ostravská společnost zabývající se výrobou metanového plynu sama vlastnila nákladní automobil přestavený pro provoz na metan. Automobil byl sledován a dokumentován 14 měsíců, během kterých najel 22 000 km bez poškození motoru. Spotřeba metanu na jeden litr lihobenzínové směsi se pohybovala mezi 0,9 a 1,05 m³. Společně se spotřebou metanu klesla i spotřeba oleje a to až o 30%. Jízda na metan se díky těmto výsledkům stala velice žádána. Metan bylo velmi zřídka možné natankovat, a proto na základě zvýšené poptávky Ostravská společnost začala obsluhovat některé místa pojízdnými tankovacími stanicemi. Pojízdné tankovací stanice disponovali pěti až sedmi lahvemi s celkovým obsahem až 400 litrů. Stanice byla schopna obsloužit dva vozy současně. Automobil, který využíval metan jako palivo, nebylo nutné nijak upravovat oproti provozu na svítiplyn. Metan je hlavní složkou zemního plynu, který se v dnešní době používá pod označením CNG.

3. Výroba, distribuce a tankování LPG

3.1 Charakteristika LPG

Zkratka LPG pochází z anglického *Liquefied Petroleum Gas*, což do češtiny překládáme jako zkapalněný ropný plyn. Většina evropských zemí používá toto označení, ale například v Itálii se setkáváme s označením GPL (Gas di petrolio liquefatto). Obě zkratky skrývají ten stejný propan – butan. LPG je směs uhlovodíků převážně se 3-4 atomy uhlíku v molekule. Pokud se zaměříme na vlastnosti LPG, jedná se o hořlavý, výbušný, nejedovatý plyn s povinným, specifickým zápachem.

Tab. 2: Základní vlastnosti LPG [11]

	Zimní směs:	Letní směs:
Složení	60% propanu a 40% butanu	40% propanu a 60% butanu
Teplota varu	11,7 °C	5,3 °C
Hustota	cca 538 kg/m ³ Propan 510 kg/m ³	cca 552 kg/m ³ Propan 580 kg/m ³
Hustota plynné fáze	cca 2,1 kg/m ³ (1 l kapalně fáze = až 250 l plynu)	
Výhřevnost	cca 12,9 kWh/kg (46,44 MJ/kg)	

3.2 Výroba

LPG vzniká rafinací ropy při zpracování, eventuálně je získáván jako sekundární produkt při těžbě zemního plynu. Obě složky LPG propan i butan jsou v plynném stavu těžší než vzduch. Podíl LPG v surové ropě dosahuje 2% z celkového objemu ropy. Z celkového množství spotřebovaného LPG je cca 60% získáváno z kondenzátu zemního plynu a zbylá část z ropy, možná je to způsobeno nižšími světovými zásobami ropy nebo cenou.

Výroba LPG s použitím zemního plynu

Při těžbě zemního plynu můžeme narazit na značně rozdílné jeho složení. V přiložené tabulce vidíme, jak velké mohou být rozdíly ve složení zemního plynu.

Tab.3: Složení zemního plynu [12]

Složka	Zemní plyn složení (% hm)					
	Chudý	Bohatý	Těžený společně s ropou	Těžený v Le Lacq (Francie)	S obsahem helia	
					Cliffside (USA)	Kostelany (ČR)
Metan	98-99	75-97	20-75	70	66	65,9
Ethan	až 0,5	0,5-18	5-30	3	4	1,2
Propan	0,2	0,2-7	3-30	1,4	1,5	1,2
Butany	-	0,1-2	5-15	0,6	1	1,2
Pentany a vyšší	-	0,1	3-10	0,5	0,5	1,2
Sulfan	+	+	+	15	-	-
Oxid uhličitý	až 0,3	0,1	0,1	10	-	0,7
Dusík	až 0,1	až 0,3	1-18	0,4	25,6	31,2
Helium	+	+	-	-	1,8	0,45
Argon	+	+	-	-	+	0,25

Před použitím vytěženého zemního plynu k dalším operacím zpracování se musíme zbavit některých nežádoucích složek jako vody, sulfanu, rtuti, karbonylsulfidu, oxidu uhličitého a dalších nečistot. Z hlediska kvality mezi dvě nejškodlivější nečistoty řadíme rtuť a karbonylsulfid.

- Rtuť (Hg) – Poškozuje hliníkové výměníky v zařízení kryogenního dělení a skladování. Rtuť odstraňujeme z kapalného zemního plynu.
- Karbonylsulfid (COS) – požadujeme odstranění na minimální zbytkové hodnoty

V každé rafinérii většinou vyrábíme jiné výrobky s různou kvalitou z jiného složení zemního plynu, proto technologické schéma rafinerie je v každé rafinérii jiné.

Technologické stupně rafinerie (použití jednotlivých stupňů závisí na požadované kvalitě produktu):

- Filtrace
- Odvodnění
- Vypírka H₂S, CO₂ a odstranění dalších sirných sloučenin
- Výroba etanové frakce
- Oddělení dusíku
- Komprese plynu
- Výroba propanu, n-butanu a izobutanu
- Apod.

V poslední době zahrnuje technologická konfigurace rafinerie zařízení na výrobu propanu, C₄ frakce a frakce C₅+. Zemní plyn bez odloučeného kondenzátu se ještě stabilizuje na etanové koloně, ve které se dále získá etanová frakce. Výroba této frakce byla zavedena především v rafineriích v oblastech, ve kterých jsou v provozu pyrolýzní jednotky, vyrábějící etylen a další pyrolýzní produkty. O etanovou frakci byl a je zájem zejména v USA, kde je etan jednou z hlavních surovin pro tyto jednotky. Také o využití dalších uhlovodíků vydělených z kondenzátu je zájem. Platí to především pro LPG. [12]

Výroba LPG v ropné rafinérii

Při destilaci ropy a stabilizaci benzinů se uvolňují plyny obsahující hlavně C₁ až C₄ uhlovodíky. Tyto uhlovodíky vznikají ve velkém množství také při termickém a katalytickém krakování a hydrokrakování ropných frakcí. Plyny odebrané z výše uvedených procesů se zpracovávají obvykle společně na jednotkách dělení rafinérských plynů. Podle původu ropy a způsobu jejího zpracování je výtěžek v rafinérii cca 2–3 % z hmotnosti zpracovávané ropy, z toho zhruba 2/3 připadají na butan a 1/3 na propan.

Na typické jednotce dělení rafinérských plynů se postupuje následovně. Uhlovodíkové plyny odebírané z různých rafinérských procesů se spojí, zkomprimují se na tlak cca 1,4 MPa a poté jsou vedeny do absorbéru (deetanizér), ve kterém se pomocí vhodné málo těkavé ropné frakce (většinou těžký benzin) z plynů oddělí C₃ až C₆ uhlovodíky. V typické absorpční koloně se zachytí cca 90 % obj. C₃ uhlovodíků a prakticky všechny C₄ a vyšší uhlovodíky. Ve stripovací

části absorbéru se z bohatého absorbentu vyhání stržený metan a etan tím, že se do vařáku kolony přivádí horká pára. Vrchem absorbéru odchází plyn, skládající se hlavně z metanu a etanu, který se následně odsiřuje.

Spodem absorbéru odchází absorpční činidlo obsahující C3 až C6 uhlovodíky (tzv. bohatý absorbent). Absorpční kapalina se vede do debutanizéru, ve kterém se z ní vydestilují C3 a C4 uhlovodíky. Tyto uhlovodíky se následně zkondenzují, odsíří a poté se vedou do depropanizéru, kde se rozdělí na propan a butany. Spodem debutanizéru se odebírá kapalná frakce obsahující pentany a těžší uhlovodíky zachycené v absorbéru. Kapalný podíl se vede do destilační kolony, ve které se z absorbentu vydestiluje lehký benzin obsahující převážně pentany a hexany. Takto zregenerované absorpční činidlo (tzv. chudý absorbent) se znovu nastříkuje do absorpční kolony. Butany se v některých případech dále dělí na n-butan a izobutan. Separované C3 a C4 uhlovodíky se používají buď samostatně, nebo ve směsi, jako propan-butanová směs – LPG.

Uhlovodíkové plyny vznikající při termickém krakování, resp. koksování výševroucích ropných frakcí jsou převážně nenasycené. Fluidní katalytické krakování (FCC) ropných frakcí na kyselých katalyzátorech na benzin je také významným zdrojem lehkých nasycených (izobutan, butan a propan) a hlavně nenasycených uhlovodíků (propylen, izobutan a buteny). Plyny z FCC proto nelze považovat za vhodnou složku LPG pro pohon motorových vozidel. Zcela odlišné složení mají plyny získané hydrokrakováním ropných frakcí. Obsahují žádoucí nasycené uhlovodíky propan a především C4 uhlovodíky v nichž dominuje isobutan. Pro dělení těchto uhlovodíků se používá nízkoteplotní rektifikace a další metody. Jednotlivé postupy se liší především získávanými frakcemi a jejich čistotou. Dělená směs plynů se ochladí na teplotu cca - 65 °C. Protože rozdíl bodů varu propylenu a propanu přítomných v separované C3 frakci je pouze 3,2 °C, musí mít propanová rektifikační kolona použitá pro jejich rozdělení 100–200 pater. Uhlovodíky obsažené v oddělené C4 frakci mají blízké body varu, a proto je nelze dělit rektifikací. Postup dělení této frakce závisí na jejím složení. Pokud obsahuje i 1,3-butadien, vede se nejprve do extraktoru, ve kterém se protiproudí extrakční destilací s vhodným rozpouštědlem izoluje tento dien. Po té je ze zbylé směsi uhlovodíků (tzv. rafinát I) izolován izobuten, nejčastěji reakcí s metanolem, kdy se tímto způsobem vyrábí MTBE (viz kap 3.2.2). Směs po odstranění 1,3-butadienu a izobutenu obsahuje butany a buteny (tzv. rafinát II). Tato směs se používá jako topný plyn, v omezené míře se z ní někdy izolují n-buteny. [12]

3.3 Distribuce LPG

Doprava LPG

Při dopravě LPG využíváme jednu z jeho vlastností. LPG lze poměrně jednoduše zkapalnit a tím získáme v malém objemu zkapalněného plynu relativně velkou energii. LPG při zkapalnění zmenšuje svůj objem až 260 krát.

K dopravě plynu neekonomičtěji vychází doprava nákladními vlaky. Objem jednoho vagonu s cisternou je 10 až 50 tun. Přeprava vlakem se samozřejmě vyplatí spíše na delší trasy (více než 200km), to využíváme například mezi státy. Nevýhody této dopravy jsou řídká železniční síť, v některých oblastech žádná železniční síť není. Přeprava LPG železniční dopravou se řídí podle ustanovení v RID (International Rule for Transport of Dangerous Substances by Railway) neboli Řádem pro mezinárodní přepravu nebezpečných věcí. České dráha a.s. se při dopravě řídí nejen řádem RID, ale také nařízením vlády č. 1/2000 Sb.

Dalším způsobem dopravy LPG je doprava po pozemních komunikacích, která je realizována různými druhy autocisteren. Přeprava je samozřejmě vzhledem na jeden tunokilometr finančně méně výhodná, ale oproti vlaku nabízí znatelnou mobilitu. Kapacita jedné autocisterny se pohybuje někde mezi 8 a 16 tunami. Přeprava LPG dopravou po pozemních komunikacích se řídí podle ustanovení mezinárodní dohody ADR (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road) neboli Evropská dohoda o mezinárodní přepravě nebezpečných věcí po silnici.

Značení LPG při přepravě ADR/RID:

- Třída nebezpečnosti: 2 (plyny)
- Klasifikační kód - skupina: 2F (zkapalněné hořlavé plyny)
- Číslo nebezpečnosti látky: 23 (hořlavý plyn pod tlakem)
- UN kód: 1965 (LPG), 1978 (propan), 1011 (butan), 1969 (isobutan)

3.4 Tankování

Čerpací stanice LPG jsou zařízení sloužící k plnění nádrží motorových vozidel zkapalněným plynem. Hlavní otázkou v oblasti tankování LPG je především bezpečnost, v ČR jsou k dispozici tzv. technická pravidla „COPZ TPG 304 01 Čerpací stanice propan-butanu pro motorová vozidla“, které stanovují podmínky pro umístění, provedení a provoz čerpacích stanic LPG. Při

výstavbě čerpací stanice volíme volné prostranství, kde není ohrožováno nebo omezováno blízké okolí občanské zástavby.

Prakticky existují dva typy čerpacích stanic:

- Kompaktní – přemístitelná stanice s geometrickým obsahem 5 m³, kde zásobník, vedení i plnicí stanice je připevněna na ocelovém rámu. Výhodou jsou pořizovací náklady, ale samozřejmě na úkor objemu.
- Stabilní – nepřemístitelné stanice, nejčastěji se zásobníky umístěnými v podzemí eventuálně nadzemí. Geometrický obsah těchto nádrží do 100m³. Výdejní zařízení je vždy mimo prostor zásobníků a lze použít i více výdejních stojanů. Velikost ochranného pásma u takto velkých nádrží je 10m.

Komponenty čerpacích stanic:

- Zásobník – slouží k uložení zkapalněného plynu, nejčastěji se používají zásobníky o velikosti 4850 l. Zásobník je možné naplnit z 85% svého objemu.
- Vedení – potrubí, které dopravuje LPG. Dle ČSN je potrubní vedení testováno přetlakem 2,5 MPa.
- Čerpadlo – zařízení, kterým dopravujeme LPG ze zásobníků do výdejních zařízení. Čerpadlo je poháněno elektromotorem a dále vybaveno filtrem.
- Výdejní stojan – zařízení, pomocí kterého dokážeme natankovat a změřit požadované množství LPG. Stojan je také vybaven filtrem, měřidlem LPG, manometrem, START/STOP tlačítkem nebo výdejní pákou, výdejní hadicí s lámací nebo vytrhací spojkou a plnicí koncovkou. Délka výdejní hadice by se měla pohybovat někde mezi třemi a pěti metry.
- Zabezpečovací prvky – pro případ porušení vedení nebo samovolného úniku plynu je zásobník opatřen elektroventilem. Umístění lámací nebo trhací spojky na konci plnicí hadice slouží k případnému odjetí od ČS bez

odpojení. Při odjetí se plnicí hadice zlomí nebo utrhne právě v této spojce. Každá čerpací stanice by měla být vybavena detektorem úniku plynu, který bývá umístěn v nejnižším bodě ČS.

Detektor signalizuje dva kritické stavy:

- 20 % koncentrace plynu - akustický signál
- 50 % koncentrace plynu - odpojí ČS od elektrického proudu

4. Charakteristika vozidel na LPG

4.1 Výhody a nevýhody LPG

Přiznejme si, že hlavní důvod proč zvolit LPG jako alternativní palivo do svého vozu je především finanční úspora. Díky značně menší dani se LPG dostane prakticky na polovinu ceny benzínu. Vozidla, používaná k firemním účelům jsou osvobozena od silniční daně, protože jsou šetrné k životnímu prostředí. Vozidlo provozované na LPG má většinou nižší emise než při provozu na benzín. Další v České republice výhodou je fakt, že LPG je z nádrže nezcizitelné na rozdíl od nafty nebo benzínu. Jízda na LPG teoreticky prodlužuje interval výměny motorového oleje, což také vede především k finanční úspoře. Poslední výhodou může být dojezd vozidla, samozřejmě je to relativní. Platí, že na dvě nádrže ujedete více než na jednu ovšem dojezd na plynovou náplň bývá z pravidla menší než na benzínovou.

Bohužel nic na světě není bez „ale“ a k výhodám se vážou také nevýhody. S prvním negativem začnu také u té finanční stránky, přestavba vozu. Při ceně přestavby rozhoduje počet válců, značka a druh LPG soustavy. Čím více má motor válců, tím dražší je přestavba avšak tím „větší“ je úspora peněz. Příklad: Budeme mít čtyřválcový motor s obsahem cca 1400cm³ s běžnou spotřebou okolo 7 litrů benzínu se naše spotřeba bude pohybovat někde okolo 9 litrů LPG. Cena přestavby takového vozu se pohybuje mezi 20 000 – 28 000kč. V přepočtu na peníze sto kilometrů na benzín nás původně vyšlo na 210 korun (7 x 30kč – orientační údaj), oproti tomu sto kilometrů při provozu na LPG nás vyjde na 144 korun (9 x 16kč – orientační údaj). Z uvedených údajů vyplývá úspora 66kč. Pomocí těchto orientačních údajů se investice do přestavby vrátí po ujetí cca 36 300km($24000/66 = 363,36 \times 100\text{km}$). Oproti tomu osmiválcový motor s obsahem cca 4200cm³ s běžnou spotřebou okolo 13l benzínu, kde se spotřeba LPG bude pohybovat okolo 16 litrů. V přepočtu na peníze sto kilometrů na benzín nás původně vyšlo na 390 korun (13 x 30kč – orientační údaj), oproti tomu sto kilometrů při provozu na LPG nás vyjde na 256 korun (16 x 16kč – orientační údaj). Z uvedených údajů vyplývá úspora 134kč. Cena přestavby se pohybuje někde mezi 30 000 – 38 000kč. U osmiválcového motoru se investice vrátí za cca 25 300km($34000/134 = 253,73 \times 100\text{km}$), potom je už na každém, jakou variantu si vybere, kolik se svým autem najezdí a co od svého vozu očekává. Vozidlo jezdící na LPG má značně vyšší nároky na funkčnost zapalování. Instalací LPG si zmenšujeme zavazadlový prostor a společně s tím snižujeme užitečné zatížení

vozidla. Někteří lidé při přestavbě vozu na LPG mají zafixovanou ztrátu výkonu, v dnešní době nám moderní systémy LPG dokážou nabídnout stejný výkon i při provozu na plyn.

4.2 Koncepce vozidel s plynovými pohony

Vozidla, které jezdí na plyn, můžeme rozdělit do několika skupin podle druhu jejich koncepce:

- Bivalentní
- Monovalentní
- Duální
- Flexifuel

Bivalentní vozidla

Bivalentní vozidla nebo také dvoupalivová, jsou taková vozidla, která dokážou používat obě paliva rovnocenně, avšak nikdy nepoužívají obě paliva zároveň. Co znamená rovnocenně? Vozidlo musí dosáhnout relativně stejného výkonu a stejných emisních limitů na obě paliva. Z hlediska předpisů to znamená, že dané vozidlo musí splňovat předpisy pro provoz na benzín, ale také pro provoz na LPG. Mnozí z nás se s tím setkávají při měření emisí na dvouletých prohlídkách, kde nejdříve změříme emise na benzín a poté na plyn, což s sebou přináší zase nějaký ten výdaj viz. kapitola výše. Naopak jedna z předních vlastností těchto vozidel je možnost si vybrat, ať už v případě poruchy nebo výskytu ČS. Skupina bivalentních vozidel je nejvíce se vyskytující skupina v ČR, ať už se jedná o vozidla z výroby nebo dodatečně přestavená, kterých je zatím více.

Monovalentní vozidla

Monovalentní vozidla nebo také jednopalivová, jsou taková vozidla, která používají téměř jenom jedno palivo. Téměř z důvodu, že do této kategorie spadají i vozidla, která jsou schopna jezdit na benzín i na plyn, ale obsah nádrže na benzín je maximálně 15 litrů. Což nám dále dovoluje rozdělit ještě tuto kategorii na vozidla, která používají pouze jedno plynné palivo, bohužel u LPG nelze (pro správné „zplynění“ LPG potřebujeme regulátor ohřát chladicí kapalinou → je nutné alespoň nastartovat na benzín). Motory monovalentních vozidel jsou většinou i nějak konstrukčně upraveny, což znamená, že mohou mít při provozu na benzín nižší výkon nebo vyšší emise. Vlastnosti vozidel při pohonu na benzín není u této skupiny vozidel důležité uvádět nebo nějak zkoušet. Nejčastěji se s takovými vozidly setkáme u autobusů

městské hromadné dopravy, kde autobusy jsou poháněny pouze na zemní plyn. Hlavním důvodem rozšíření těchto vozidel je asi slabá síť čerpacích stanic a s tím spojená nejistota dojezdu. U městských autobusů je většinou čerpací stanice umístěna blízko areálu, kde parkují častěji dokonce v areálu.

Vozidla s duálním pohonem

Vozidla s duálním pohonem, jak z názvu plyne, používají obě paliva najednou. Nejčastěji používaná kombinace paliv je u vznětových motorů kombinace nafty a LPG. V dalších řádcích si probereme problematiku vozů s touto kombinací paliv. Motor jako takový necháme dále na vznětovém principu s tím rozdílem, že místo samotného vzduchu motor nasaje směs vzduchu a LPG. Jednotlivé takty motoru potom vypadají takto:

- 1) Pohyb pístu dolů, sání směsi vzduchu a LPG
- 2) Pohyb pístu nahoru, stlačení směsi
- 3) Pohyb pístu dolů, vstříknutí nafty pro vznícení a zapálení zbytku směsi
- 4) Pohyb pístu nahoru, výfuk spalin

Pohon vozidel zní jako velmi sofistikovaný, avšak patří k těm horším. Nejjednodušším důvodem je spotřeba obou paliv, eventuálně jednoho na úkor druhého a tím nejzásadnějším důvodem je, že LPG můžeme využívat prakticky pouze v rozmezí 75-100 % zatížení motoru, v opačném případě odchází nevyužitý výkon ven. S tímto pohonem je splněno ještě plno dalších komplikací, ale ty rozvádět nebudu.

Vozidla s pohonem flexifuel

Vozidla s flexifuel pohonem, jsou taková vozidla, která dokážou sama bez zásahu řidiče přepnout podle složení paliva. Nejčastější jsou to vozidla spalující lihobenzínovou směs. Vozidlo je vybaveno pouze jednou palivovou nádrží, u které je umístěno čidlo složení paliva a podle výstupu z tohoto čidla a výstupu z lambda sond upravuje motor dobu otevření vstříku. S těmito systémy se setkáváme většinou pouze v prvovýrobě. Tento pohon můžeme vidět například u Fordu Focus již v roce 2006. Jako pohon není nějak výhodný, protože nyní je cena E85 velmi blízko ceně běžného a oproti E85 velmi dostupnému naturalu. Některé automobilky uvedly na trh vozidla, které nebyly vybaveny čidlem složení paliva, ale délka otevření vstříku byla řízena pouze lambda sondami. Což se ukázalo jako velmi nespolehlivé.

4.3 Jednotlivé komponenty palivové soustavy LPG

V této kapitole Vás seznámím podrobněji s jednotlivými prvky LPG soustavy. LPG soustav je mnoho typů a druhů a postupně Vám popíši alespoň základní.

4.3.1 Nádrž

Slouží k uskladnění zásoby LPG ve vozidle. V nádrži je LPG uskladněno v kapalném stavu. Maximální tlak v nádrži nesmí přesáhnout 2,5 MPa. Tato hodnota je dostatečně naddimenzovaná, v běžných teplotách (do 50°C) LPG dosahuje tlaku okolo 1 Mpa. Kapacita nádrže smí být naplněna do 80 % svého objemu, potom by měl přívod zavřít víceúčelový ventil v nádrži. Až na zvláštní případy si můžeme nádrž vybrat, ale většinou nám výběr zmenší naše vozidlo. Existují tři druhy palivových nádrží (viz obrázek č. 8):

- Válcové – ve vozidle je umístěna ve svém držáku, nejčastěji kolmo na směr jízdy vozidla. Nádrž je možné namontovat i ve směru jízdy, ale musí být opatřena držákem s příslušnou výškou (minimálně 3cm). Válcové nádrže se vyrábějí v rozmezí objemu 30 až 120 litrů.
- Toroidní – ve vozidle je umístěna místo rezervy, což přináší otázku kam s rezervou. Nevýhodou novějších vozidel, které rezervu nemají, je samozřejmě velmi malý prostor pro nádrž a tím i malá kapacita. Průměr těchto nádrží se pohybuje někde okolo 600 mm. Toroidní nádrže můžeme dále rozdělit na nádrže s vnitřním a vnějším odběrem. Vnitřní instalujeme do vozidel, která mají rezervu pod dnem v kufru, vnější do vozidel, která mají rezervu v rámu pod autem. V případě přání zákazníka je možné do vozidla namontovat i více nádrží.
- Speciální – nádrže, které jsou vyvinuty většinou speciálně pro konkrétní vozidlo. Příkladem autobusy, nebo nákladní vozy, u kterých je požadavek na velký dojezd. Nádrží může být více připevněných například na ocelovém rámu. Nádrže vůči sobě jsou



Obrázek č. 8 – Druhy nádrží [13]

4.3.2 Víceúčelový ventil (multiventil)

Ventil nebo u některých výrobců i skupina ventilů, které jsou v nádrži a vykonávají několik funkcí.

Funkce víceúčelového ventilu:

- Plovák ukazující stav paliva v nádrži
- Pojistný přetlakový ventil
- Uzavírá přívod při tankování při 80% naplnění
- Vpouští palivo z nádrže do motoru
- Slouží jako pojistka při úniku (na základě průtoku)

Součástí ventilu je i tzv. plynotěsná schránka, do které ústí všechny kabely a průchodky. Schránka je odvětrávána směrem dolu pod vůz, pro případ upuštění plynu z důvodu přetlaku, plyn uniká přes tuto komoru.

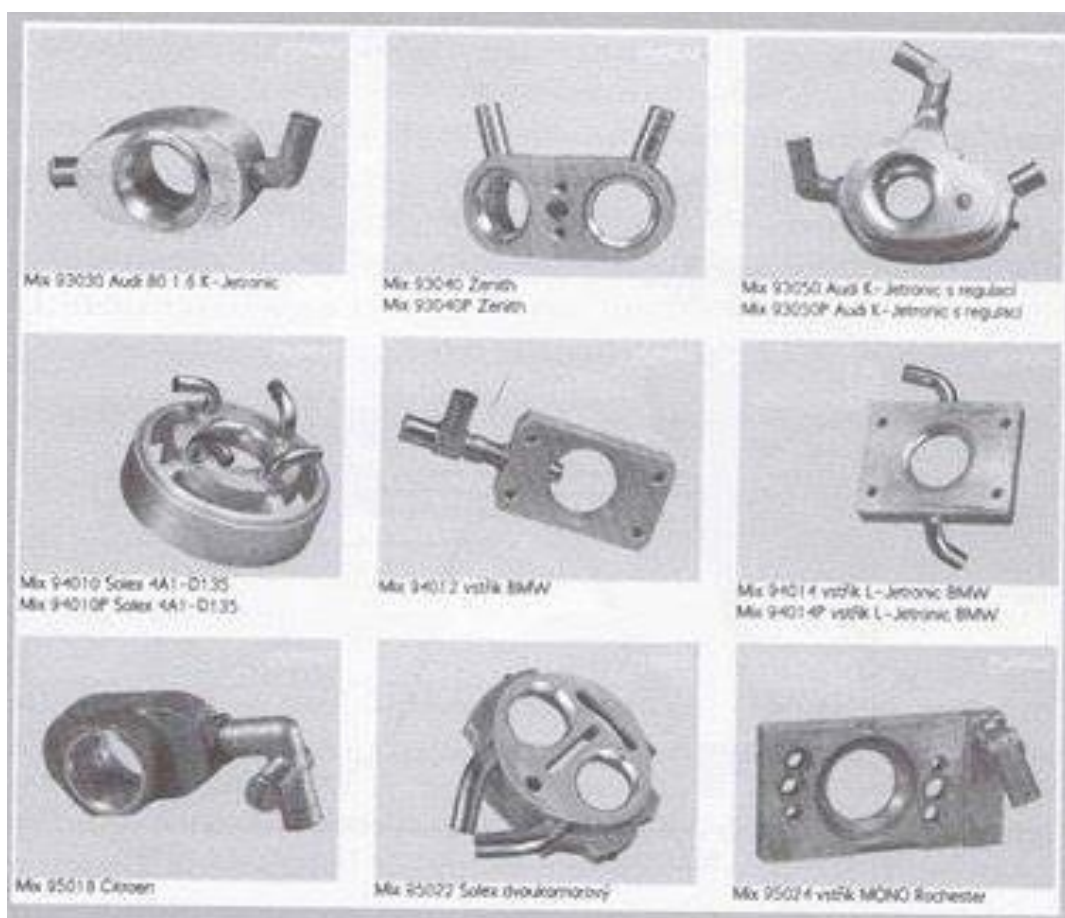
4.3.3 Regulátor

Funkce regulátoru v LPG soustavě je přeměnit plyn z kapalně fáze na plynou. V LPG soustavě je to prakticky nejsložitější prvek. Přeměna skupenství LPG se provádí rychlým snížením tlaku. Při prudkém ochlazení může LPG zamrznout. Z tohoto důvodu je regulátor připojen na chladicí okruh motoru, kde si odebírá potřebné teplo z chladicího média k ohřátí plynu. Z těchto důvodů musíme u motorů na LPG startovat na benzín. Po krátké jízdě automobilu na benzín dojde k ohřátí chladicího média, ohřátí regulátoru a přepnutí jízdy na LPG. V případě, že vozidlo je chlazeno vzduchem je ohřívání regulátoru značně složitější. První možnou variantou je napojit ohřev regulátoru na olejovou náplň motoru, což přitahuje mnoho dalších problémů – netěsnost napojení, více maziva, olejová náplň je ohřívána značně déle oproti chladicímu médiu. Druhou variantou je potom vytvoření malého vodního okruhu sloužícího pouze k ohřívání regulátoru. Tento systém můžeme najít například u Tatra 613, kde je do výfuku vložen tepelný výměník, který ohřívá vodu pomocí výfukových plynů. Velkou výhodou tohoto systému je rychlost ohřevu a do jisté míry schopnost samoregulace – čím větší je zatížení motoru (spotřeba plynu), tím větší je teplota výfukových plynů a tím více je zahříván regulátor. Bohužel v takovém systému musíme pro stabilizaci teploty většinou umístit chladič a termostat, což má velké požadavky na zástavbu.

4.3.4 Směšovač a vstřikovače

Směšovač, taktéž z názvu plyne, směšuje palivo se vzduchem. V ideálním případě by tato směs měla být v konstantním směšovací poměru. Směšovačů jako takových je mnoho tvarů, ale všechny mají tuto stejnou funkci. Pro představu obrázek č. 9.

Vstřikovače jsou u LPG založeny na podobném principu jako u benzínu, otevírají a zavírají přívod LPG do sání. Většina vstřikovačů se prodává po 1 kuse nebo po více spojených (2,3,4). Vidíte je na dalším obrázku. č.10



Obrázek č. 9 – Druhy směšovačů [14]



Obrázek č. 10 – Vstřikovače Valtek [15]

4.4 Druhy LPG systémů

Systémy s řízeným směšovačem

Jeden z nejjednodušších systémů, který se používal u vozů s karburátorem, většinou bez katalyzátoru. U těchto systémů je ještě před směšovačem na straně plynového vedení umístěn servomotor s klapkou, která omezuje přísun plynu do směšovače. Tento servomotor řídí řídicí jednotka na základě několika údajů jako třeba signál z lambda sondy, zatížení motoru, provozní otáčky atd. Tato regulace tedy funguje zpětně, například jako běžná lambda regulace u zážehových motorů, při signálu chudé směsi otevře servomotor klapku k obohacení směsi a naopak. Ve chvíli vysokého zatížení motoru je signál z lambda sondy irelevantní a směs se ještě obohatí pro využití maximálního výkonu. Přesnost regulace a rychlost odezvy nepatří mezi silné stránky těchto systémů, avšak vynahrazují to svoji jednoduchostí. Systém je vhodný pro motory, které splňují nejvýše emisní normu EURO 2.

Systémy centrálního vstřikování

Tento typ vstřikování můžeme přirovnat ke vstřikování KE–Jetronic (systém řízeného kontinuálního vstřikování). Princip vstřikování se skrýval v regulaci přívodu plynu do rozdělovací lišty (hlavy). Řídící jednotka prováděla regulaci na základě tlaku a teploty plynu, otáčky a zatížení motoru, tlak nasávaného vzduchu eventuálně dalších veličin. Regulace byla možná dvěma způsoby:

- **Analogovým regulátorem** – regulační ventil plynule a úměrně zavíral, popř. otevíral přívod plynu do lišty
- **Pulsní regulátor** – samozřejmě také reguloval přívod plynu do lišty, ale pouze stav zavřeno / otevřeno

Někteří výrobci dokonce dodávali do svých systémů i zpětné ventily, které zabraňovali, až eliminovali zpětný zášleh a pokles výkonu.

Jednobodové duální vstřikování

Duální vstřikování, je takové, že při kterém se do spalovacího prostoru vstřikují dvě paliva zároveň. Nejčastější využití je kombinace vznětového a plynového pohonu. Princip je velmi podobný předchozímu, s rozdílem, že LPG je rozváděno do centrálního sacího potrubí většinou ještě před turbodmychadlo. Tyto systémy jsou navrženy pro použití v užitkové třídě, a nejsou řízeny žádnými veličinami, pouze si berou informace z palubní sběrnice J1939.

Vícebodové vstřikování

Systém vícebodového vstřikování vznikal prakticky současně se systémem centrálního vstřikování, zástavby se do jisté míry velice podobaly, ale princip byl úplně jiný. Centrální vstřikování jak z názvu plyne, vstřikovalo plyn centrálně do jednoho místa a potom rozvádělo mezi jednotlivé válce. Oproti tomu vícebodové vstřikování vstřikuje plyn až těsně před vyústěním sání k ventilu. V každém tomto systému najdeme stejný počet válců jako vstřikovačů. Řídící jednotka je řízena stejnými signály jako u centrálního vstřikování (tlaku a teploty plynu, otáček a zatížení motoru, tlak nasávaného vzduchu atd.). Na základě těchto údajů, ale není řídicí jednotka LPG schopna vyhodnotit okamžik vstřiku (resp. horní úvrať pístu), protože nezná polohu klikového ani vačkového hřídele. Vstříknutí paliva je prováděno tedy ve stejnou chvíli všemi ventily a to jednou za jednu otáčku motoru.

Sekvenční vstřikování

Dnes nejrozšířenějším systémem vstřikování je právě sekvenční vstřikování (SGI – Sequential Gas Injection). Tento systém vstřikování je jen lépe řízeným vícebodovým vstřikování, ale tento fakt je zásadním pro jeho rozšíření. Otázkou bylo jak předat řídicí jednotce LPG informaci o poloze klikové a vačkové hřídele a zároveň dosáhnout spolehlivosti. Řídicí jednotka LPG u těchto systémů, totiž nezpracovává jednotlivé signály z různých čidel, ale jako vstupní hodnoty používá impulsy z benzínových vstřikovačů, ve kterých jsou již zahrnuty signály z čidel. Tudíž do jisté míry se podařila snížit poruchovost. Ve chvíli, kdy řídicí jednotka LPG dostane signál z benzínového vstřikovače, signál přepočítá podle průtoku vstřikovače a tlaku plynu. Vstříknutí paliva je prováděno v každém válci zvlášť, během jedné otáčky motoru. Další z největších pozitivních stránek tohoto druhu vstřikování je snadná montáž a jednoduchost naladění.

Vstřikováním kapalně fáze

Vstřikování kapalně fáze, označované jako LPI (Liquid Propane Injection) je minimálně v České republice poměrně ojedinělé a také si troufám říci i neoblíbené. Tato forma vstřikování je ve všech oblastech nejbližší vstřikování benzínů, čehož se samozřejmě snažíme dosáhnout. Do sání vstřikujeme kapalnou fázi LPG a ke zplynění dochází až při nasávání směsi do válce. Hlavním nedostatkem tohoto systému je přebytek tepla. Teploty v blízkosti motoru mohou dosáhnout teploty až 100 °C. LPG bude částečně ochlazen cirkulací v nádrži, ale cirkulací horkého LPG v nádrži bude samozřejmě zahříván i obsah nádrže. Pro zajištění vstřikování kapalného LPG i při těchto teplotách je nutné zvýšit tlak LPG v systému na cca 3MPa. Tento tlak potřebujeme vyvinout podávacím čerpadlem v nádrži na LPG. Vzhledem k výšce tlaku se nemůžeme divit nízké spolehlivosti jednotlivých součástí a vysoké citlivosti na kvalitu LPG, což je asi hlavním důvodem malého rozšíření v České republice.

4.5 Legislativa

V tuzemských zemích se legislativou ohledně alternativních pohonů a přestaveb zajímá vyhláška 341/2002 Sb. Při přestavbě vozidla na LPG co se legislativy týká, máme prakticky tři možnosti přestaveb, v následujících řádcích se s nimi seznámíme.

- **Hromadná přestavba** – u tohoto druhu přestavby musí výrobce (dovozce) provést přestavbu na jednom vlastním voze, které potom podrobí mnoha testům. V případě pozitivních výsledků testů, získá výrobce (dovozce) povolení provádět přestavby na konkrétním typu vozidla. Náklady na hromadnou přestavbu jsou z důvodu velkého počtu zkoušek velmi náročné finančně i časově. Tuto přestavbu najdeme většinou jen u těch nejrozšířenějších modelů vozidel
- **Individuální přestavba** – individuální přestavbu zařizuje jedinec na základě svého zájmu, samozřejmě musí podstoupit také nějaké prohlídky, ale jelikož je to pouze na jedno dané vozidlo nejsou zdaleka tak náročné. Po absolvování vestavby zařízení a kontroly na STK, je potřeba ještě navštívit stanici měření emisí. Jedinec potom se schválenými dokumenty navštíví nejbližší úřad, pokud byly použity díly s platnou homologací, získá zápis do TP.
- **Malá série hromadné přestavby** – kompromisem mezi hromadnou a individuální přestavbou je právě tato, musíme sice jako u hromadné přestavby vytvořit vzorový vůz, avšak stačí absolvovat cca polovinu testů a zkoušek než u hromadné, vhodné například pro menší montážní dílny

5. Očekávaný vývoj v oblasti využívání LPG

Vstřikování LPG u motorů s přímým vstřikem

Poslední kapitolou, ve které bychom si měli shrnout, kde jsou a kam se budou vyvíjet nejnovější systémy LPG a to včetně jejich výhod i nevýhod. Moderní zážehové motory mají přímé vstřikování benzínu přímo do válce spalovacího prostoru, nikoli jako to bylo doposud vstřikování benzínu před sací ventil, kdy motor do spalovacího prostoru nasával již smíchanou směs benzínu se vzduchem. Přímé vstřikování je u koncernových vozidel označováno zkratkou FSI (Fuel Stratified Injection), neboli vrstvené vstřikování benzínu. V běžném provozu je velmi časté pouze částečné zatížení motoru, může motor pracovat s velmi chudou směsí a to právě z důvodu vrstveného vstřikování. Směšovací poměry dosahují hodnot až 1:40, což můžeme označit jako velmi chudou směs, kterou by v normálním motoru mohl být problém i zapálit. Konstrukce sání motorů s přímým vstřikem je tvořena tak, aby nasávaný vzduch vytvořil prudký točivý vír. Těsně před horní úvratí pístu se pod vysokým tlakem vstříkne do motoru malé množství benzínu a pomocí víru ve válci se vytvoří několik vrstev plnění tzv. vrstvené plnění. V každé vrstvě je jiný poměr paliva vůči vzduchu. Vrstva s nejbohatší směsí je soustředěna do okolí zapalovací svíčky. Ostatní automobilky značí přímé vstřikování jinak, např. GDI (Hyundai, Kia, Mitsubishi), JTS (Alfa Romeo, Fiat), THP (Peugeot, Citroen), SIDI (Opel), TCe (Dacia, Renault), HPI (BMW), MZR (Mazda), D4 (Toyota) atd.

Možnosti přestavby na LPG u vozidel s přímým vstřikem:

1. Částečný provoz na LPG

Přestavba u vozidel na částečný provoz funguje na principu, který je velmi podobný sekvenčnímu vstřikování. Z důvodu umístění benzínových vstřikovačů přímo v hlavě válců dochází k jejich zahřívání. Při provozu na benzín tento problém odpadá, protože jsou vstřikovače chlazeny vstřikovaným benzínem. Z důvodu tohoto problému je nutné při jízdě na LPG do válců také vstřikovat malou část benzínu právě na chlazení vstřikovače, proto částečný provoz na LPG. Skutečnost s sebou přináší dvě nevýhody. První nevýhodou je fakt, že lze přestavit pouze motory, u kterých má výrobce plynových systémů vyvinutý program. Druhou nevýhodou je jen částečná úspora. Při této přestavbě motor

spotřebovává i benzín a to cca 10 – 30 % v závislosti na stylu jízdy. Cena přestavby se pohybuje od 35 000 korun pro čtyřválcový motor.

2. Úplný provoz na LPG

Přestavba u vozidel na úplný provoz pracuje na principu vstřikování kapalné fáze LPG. Tento typ přestavby eliminuje problémy z prvního typu. Chlazení vstřikovačů je vyřešeno vstřikováním kapalné fáze, pomocí standartních benzínových vstřikovačů a spotřeba benzínu je při jízdě na LPG nulová. Bohužel tato přestavba přináší také dvě nevýhody. První nevýhodou přestavby je náchylnost vůči nekvalitnímu LPG, a rizika poškození jednotlivých součástí jako např. podávacího čerpadla z nádrže nebo benzínových vstřikovačů. Druhou nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady začínající na 60 000 korunách pro čtyřválcový motor.

6. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem vytvořil literární rešerši problematiky použití LPG jako alternativního paliva. Z historického hlediska upozorňuji na použití plynových paliv již v dávných dobách, kdy ještě automobily na kapalná paliva neexistovaly. Později, po použití kapalných paliv, byla popularita alternativních paliv akcelerována spíše z důvodů využití zásob kapalných paliv k válečným účelům. V dnešní době se poměrně rychle blíží situace spíše s jejich nedostatkem s ohledem na světové zásoby. Velkým motorem pro automobilky a jejich konstruktéry jsou emisní limity, které je možné splnit při provozu na LPG.

Při volbě automobilu, každý z nás sleduje jiné parametry, kvůli svým nárokům. Někteří preferují výkon, jízdní dynamiku a ovladatelnost, jiní spotřebu, výši poplatků (zákonné pojištění, silniční daň) a spolehlivost. Určitá část lidí v České republice se alternativnímu pohonu na LPG vyhýbá, mnohdy z důvodů nedostatečné vzdělanosti v tomto oboru. Ve své práci jsem se snažil přiblížit problematiku z hlediska funkčnosti, výhod a nevýhod i méně zkušeným motoristům.

Vycházel jsem z poznatků odborné literatury, rad vedoucího a vlastních zkušeností nejen se svým vozem. Snažil jsem se zmínit problémy křížující vývoj vysokotlakého vrstveného vstřikování se vstřikovacími soustavami na LPG. Krom toho bychom si měli uvědomit, že LPG vzniká jako odpad při rafinaci ropy a lze ho vyrobit také ze zemního plynu. Po prostudování veškerých podkladů mohu doporučit provoz vozidla na LPG, z několika důvodů:

- přestavba není nijak komplikovaná ani u ojetých vozidel
- obavy z nebezpečí výbuchu jsou zbytečné kvůli mnoha bezpečnostním opatřením
- nemusíte platit silniční daň
- relativně hustá síť čerpacích stanic

7. Použitá literatura

1. Počet vozidel: [online]. [Accessed 5 February 2015]. Available at: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Automobil>>
2. Čerpací stanice LPG: [online]. [Accessed 12 February 2015]. Available at: <<http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/auta-jizda-slapni-na-plyn-ropny-lpg-propan-butan.htm>>
3. Historie svítiplynu: [online]. [Accessed 15 February 2015]. Available at: <<http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/images/1944-osobni-auto-na-svitiplyn-wikov.jpg>>
4. Historie svítiplynu: [online]. [Accessed 15 February 2015]. Available at: <<http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/images/1937-napajeci-stanice-vitkovicke-zelezarny.jpg>>
5. Historie svítiplynu: [online]. [Accessed 15 February 2015]. Available at: <http://www.cng.cz/cs/img/08_02.jpg>
6. Historie svítiplynu: [online]. [Accessed 15 February 2015]. Available at: <http://www.cng.cz/cs/img/08_06.jpg>
7. Historie pražské dopravy: [online]. [Accessed 25 February 2015]. Available at: <<http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/autobusy-na-plyn-pohon-svitiplyn-koksarensky-plyn-cechy-morava-slezsko.htm>>
8. Štěrbá P., Kryžický O.: Jak na LPG, Nakladatelství Computer Press, Praha, 2002. ISBN 80-7226-734-5 - str. 43
9. Historie dřevoplynu: [online]. [Accessed 25 February 2015]. Available at: <<http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/images/1936-literarni-kruh-drevoplyn.gif>>
10. Historie dřevoplynu: [online]. [Accessed 25 February 2015]. Available at: <<http://www.allpowerlabs.com/wp-content/uploads/2009/07/car13.jpg>>
11. Štěrbá P.: Automobily s pohonem na LPG, Nakladatelství Computer Press, Brno, 2013, ISBN 978-80-264-0148-3
12. Šebor G., Pospíšil M., Žákovec J.: Technickoekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, výzkumná zpráva vypracovaná pro Ministerstvo dopravy ČR, VŠCHT Praha, červen 2006
13. Druhy nádrží: [online]. [Accessed 20 March 2015]. Available at: <<http://www.lpgnovapaka.cz/files/druhy-nadrzi.jpg>>
14. Směšovače: Štěrbá P., Kryžický O.: Jak na LPG, Nakladatelství Computer Press, Praha, 2002. ISBN 80-7226-734-5 - str. 27

15. Vstřikovače: [online]. [Accessed 25 March 2015]. Available at: <http://www.neptun-harfa.cz/pict/fotogalerie/MAZDA_323F_15L_ACStag/3.jpg>
16. Historie dřevoplynu: [online]. [Accessed 25 February 2015]. Available at: <<http://www.allpowerlabs.com/wp-content/uploads/2009/07/car13.jpg>>
17. Hromádko J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony, Nakladatelství Grada, Praha, 2012, ISBN 978-80-247-4455-1
18. Kameš, J.: Alternativní pohony automobilů. Nakladatelství BEN, Praha 2004. ISBN 80-7300-127-6
19. Hromádko J., Hromádko J., Honig V., Miler P.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0
20. Vlk F.: Alternativní pohony motorových vozidel. Nakladatelství a zasílatelství Vlk, Brno, 2004. ISBN 80-239-1602-5
21. Matějovský V.: Automobilová paliva. Nakladatelství Grada, Praha, 2005. ISBN 80-247-0350-5
22. Štěrbá P., Kryžický O.: Jak na LPG, Nakladatelství Computer Press, Praha, 2002. ISBN 80-7226-734-5
23. Cech odborníků plynových zařízení: Použití propan-butanu (LPG) k pohonu motorových vozidel, Knižní podnikatelský klub spol. s.r.o., 1993, ISBN 80-85268-48-9
24. Mario René Cedrych: Jezdíme na plyn, Nakladatelství Grada 1998, Praha, ISBN 80-7169-719-2
25. Lubomír Fišer: Automobily na alternativní pohon BENZÍN – PLYN, Klub motoristů LPG, 1997, Brandýs n. Orlicí, ISBN
26. Sekvenční vstřikování u TSI, TFSI: [online]. [Accessed 15 March 2015]. Available at: <<http://www.lpg-obchod.cz/caste-dotazy-lpg-faq/proc-neprestavujete-motory-fsitsi-s-primym-vstrikem-benzinu/>>
27. Zdeněk Jan, Bronislav Žďánský, *Výkladový automobilový slovník*. Praha: Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-986-0.
28. Matějovský, V.: Automobilová paliva, Grada Publishing, a.s., Praha 2005, ISBN 80-247-0350
29. Rauscher, J.: Spalovací motory, Studijní opory, VUT FSI Brno, 2004
30. CNG: [online]. [Accessed 20 March 2015]. Available at: <<http://www.cng.cz/>>
31. LPG: [online]. [Accessed 20 March 2015]. Available at: <<http://lpg.cz/main/>>

32. TSI, TFSI, vrstvené vstřikování: [online]. [Accessed 20 March 2015]. Available at: <<http://www.fedorauto.cz/prestavby-fsi-tfsi>>
33. FSI, TSI: [online]. [Accessed 20 March 2015]. Available at: <<http://www.lpg-obchod.cz/caste-dotazy-lpg-faq/proc-neprestavujete-motory-fsitsi-s-primym-vstrikem-benzinu/>>
34. Macek, K., Suk, B. : Spalovací motory I, skripta ČVUT 1993
35. Krob, L., Dočkal, L., Dvořáček, I.: Emisní kontroly plynových motorů, sborník ÚVMV, 1998
36. Ceny přestaveb, čerpací stanice: [online]. [Accessed 20 March 2015]. Available at: <<http://www.neptun-harfa.cz/>>

8. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek č. 1 - Automobil se zásobníkem na stačený svítiplyn [3]

Obrázek č. 2 - Plnicí stanice [4]

Obrázek č. 3 - Birminghamské taxi na nestlačený svítiplyn [5]

Obrázek č. 4 - Autobus Michle – Hostivař [6]

Obrázek č. 5 - Automobil ARO na dřevoplyn [8]

Obrázek č. 6 - Inzerát z roku 1936 [9]

Obrázek č. 7 - Roztápění vozu na dřevoplyn [10]

Obrázek č. 8 - Druhy nádrží [13]

Obrázek č. 9 - Druhy směšovačů [14]

Obrázek č. 10 - Vstřikovače Valtek [15]

Tabulka 1: Naměřené hodnoty z Pražské dopravy z roku 1944 [7]

Tabulka 2: Základní vlastností LPG [11]

Tabulka 3: Složení zemního plynu [12]