



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

ALTERNATIVNÍ PALIVA PRO SPALOVACÍ MOTORY

ALTERNATIVE FUELS FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ ŽÍDEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. VÁCLAV PÍŠTĚK, DrSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Žídek

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Alternativní paliva pro spalovací motory

v anglickém jazyce:

Alternative fuels for internal combustion engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytvořit přehled alternativních paliv pro zážehové spalovací motory a kriticky zhodnotit jejich vlastnosti a parametry.

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat přehled aktuálních možností využití alternativních paliv pro zážehové spalovací motory a kriticky zhodnotit jejich vlastnosti a parametry.

Seznam odborné literatury:

Macek, J., Suk, B.: Spalovací motory I, Vydavatelství ČVUT 2000, ISBN 80-01-02085-1

Heisler, H.: Advanced engine technology, SAE 2002

Basshuysen, R.: Handbuch Verbrennungsmotor. ISBN 978-3-8348-0227-9

Firemní literatura výrobců motorových paliv.

Internet.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 29.10.2011

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

V bakalářské práci je zpracován přehled alternativních paliv pro zážehové spalovací motory. U těchto paliv jsou uvedeny jejich vlastnosti a výroba, nejdůležitější komponenty, infrastruktura čerpacích stanic, představitelé vozidel poháněných uvedeným druhem paliva. Jsou zde stanoveny jejich výhody či nevýhody. U jednotlivých paliv jsou kriticky zhodnoceny jejich vlastnosti a parametry. V závěru této práce je nastíněno využití alternativních paliv v budoucnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Alternativní paliva, LPG, CNG, LNG, vodík, HCNG, Hythane

ABSTRACT

In this bachelor thesis is processed a survey of the alternative fuels for the spark-ignition combustion engines. The properties and the production, the most important components, infrastructure of service station and representatives of the vehicles powered by the type of specific fuel are stated for these fuels. There are defined the benefits and disadvantages of alternative fuels. The properties and parameters are critically evaluated for individual fuel. The use of alternative fuels in the future is outlined at the end of this thesis.

KEYWORDS

Alternative fuels, LPG, CNG, LNG, hydrogen, NCNG, Hythane



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽÍDEK, T. *Alternativní paliva pro spalovací motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 50 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23. května 2012

.....

Tomáš Žídek



PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Václavu Píštěkovi, DrSc. za cenné rady, výstižné připomínky, trpělivost a ochotu při vypracování mé bakalářské práce.



OBSAH

| | |
|--|----|
| Úvod | 11 |
| Význam a vlastnosti škodlivých látek | 12 |
| 1 LPG..... | 13 |
| 1.1 Vlastnosti LPG..... | 13 |
| 1.2 Technické řešení automobilů na LPG..... | 15 |
| 1.2.1 Přestavba na LPG - systémy..... | 15 |
| 1.2.2 Základní komponenty systému na LPG..... | 19 |
| 1.3 Čerpací stanice | 21 |
| 1.4 Automobily poháněné LPG | 21 |
| 1.5 Zhodnocení LPG..... | 22 |
| 1.5.1 Výhody | 22 |
| 1.5.2 Nevýhody | 23 |
| 2 CNG, LNG | 25 |
| 2.1 Vlastnosti CNG, LNG..... | 25 |
| 2.2 Technické řešení automobilů na CNG, LNG..... | 26 |
| 2.2.1 Přestavba na CNG - systémy | 26 |
| 2.2.2 Základní komponenty systému CNG | 27 |
| 2.3 Čerpací stanice | 28 |
| 2.4 Automobily poháněné CNG | 29 |
| 2.5 Zhodnocení CNG | 30 |
| 2.5.1 Výhody | 30 |
| 2.5.2 Nevýhody | 30 |
| 3 Vodík | 31 |
| 3.1 Vlastnosti vodíku | 31 |
| 3.2 Výroba vodíku | 31 |
| 3.2.1 Parní reformování | 32 |
| 3.2.2 Elektrolýza..... | 33 |
| 3.2.3 Vysokoteplotní elektrolýza..... | 34 |
| 3.2.4 Termochemické cykly štěpení vody..... | 34 |
| 3.2.5 Zplyňování biomasy | 35 |
| 3.2.6 Pyrolýza | 35 |
| 3.2.7 Další metody výroby vodíku | 35 |
| 3.3 Skladování vodíku a čerpací stanice | 36 |
| 3.3.1 Skladování plynného vodíku | 36 |
| 3.3.2 Skladování kapalného vodíku..... | 36 |



| | | |
|-------|---|----|
| 3.3.3 | Skladování vázaného vodíku | 36 |
| 3.3.4 | Čerpací stanice | 36 |
| 3.4 | Spalování vodíku v pístových spalovacích motorech | 37 |
| 3.5 | Zhodnocení | 38 |
| 3.5.1 | Výhody | 38 |
| 3.5.2 | Nevýhody | 38 |
| 4 | HCNG, Hythane [®] | 39 |
| 4.1 | Vlastnosti paliva Hythane [®] | 39 |
| 4.2 | Čerpací stanice Hythane [®] | 40 |
| 4.2.1 | System vytvoření směsi Hythane [®] | 40 |
| 4.3 | Vozidla na Hythane [®] | 41 |
| 4.4 | Zhodnocení | 42 |
| 4.4.1 | Výhody | 42 |
| 4.4.2 | Nevýhody | 42 |
| | Závěr | 43 |
| | Seznam použitých zkratk a symbolů | 49 |



ÚVOD

Již několik let se lidé zabývají možností náhrady klasických fosilních paliv, jako je automobilový benzín a motorová nafta, alternativními palivy. V budoucnosti hrozí nebezpečí vyčerpání všech dobře dostupných ložisek ropy, které jsou potřebné nejen pro pohon vozidel, ale také pro výrobu umělých hmot, léků, hnojiv a pesticidů. Velká spotřeba ropy nás vede k řešení daného problému. V početných městských aglomeracích s hustým silničním provozem narůstají hodnoty emisí znečišťujících životní prostředí, které vážně ohrožují zdraví lidí. Vysoký obsah škodlivých látek (např.: CO₂, NO_x, HC) v atmosféře se podílí na vzniku skleníkového efektu, který má za následek globální oteplování Země. Alternativní palivo by mělo mít nulové emise škodlivých plynů. Pro každého spotřebitele je důležitá i ekonomická stránka této problematiky. V poslední době jsme svědky neustálého navyšování cen ropy, což mnohé motoristy vede k zamyšlení nad otázkou přechodu na alternativní paliva.

Ve své bakalářské práci se zabývám alternativními palivy pro zážehové spalovací motory. Hlavní pozornost věnuji nejrozšířenějším, nejperspektivnějším a nejekologičtějším palivům. Při svém užším výběru volím LPG, CNG, LNG, vodík, HCNG a Hythane. Uvádím vlastnosti a výrobu jednotlivých alternativních paliv, jejich nejdůležitější komponenty, infrastrukturu čerpacích stanic, představitele vozidel poháněných uvedeným druhem paliva. Provádím vlastní kritické zhodnocení paliva a stanovuji výhody či nevýhody alternativního paliva.



VÝZNAM A VLASTNOSTI ŠKODLIVÝCH LÁTEK

CO₂ – oxid uhličitý, vzniká dokonalým spalováním uhlíku a je konečným produktem spalování každé organické látky. Oxid uhličitý je bezbarvý plyn, bez zápachu, rozpustný ve vodě, těžší než vzduch, nehoří a působí dusivě. Na rozdíl od oxidu uhelnatého je podstatně méně reaktivní, za obvyklé teploty stálý. Silným ochlazením CO₂ se získává pevný oxid uhličitý (suchý led), s molekulovou strukturou. Při rozpouštění CO₂ ve vodě jen nepatrná část jeho molekul reaguje s vodou a vzniká slabá kyselina uhličitá H₂CO₃ (nebo spíše hydratovaný oxid uhličitý). [10] - citace str. 56

CO – oxid uhelnatý, bezbarvý a bez zápachu, hustota téměř stejná jako vzduch, rychle se váže na krevní barvivo hemoglobin a blokuje přenos kyslíku krví. Pro trvalý pobyt na pracovišti (8 h/den) - objemový podíl pod 0,01%. Za zvýšené koncentrace nejedovatého CO₂ je účinek CO zvýšen. [55] - citace str. 98

NO_x – oxidy dusíku, váže se rychle (obdobně jako CO) na hemoglobin, ale rychleji se odbourává. Vyskytuje se především ve výfuku zážehových motorů a v atmosféře rychle oxiduje na NO₂. [55] - citace str. 98

NO₂ – oxid dusičitý, štiplavě páchnoucí, oranžový plyn, napadá plíce a sliznice, je silné oxidační činidlo, váže se na hemoglobin. V půdě působí hnojně, avšak poškozuje nadzemní části rostlin a často nepříznivě ovlivňuje vyváženost živin. Je spolu s HC výchozí látkou pro oxidační reakce, vedoucí k tvorbě ozónu O₃. [55] - citace str. 98

HC – uhlovodíky, velmi rozdílná jedovatost (alkany a alkeny bez nebezpečí, metan, etan i bez zápachu; aromáty, polycyklické sloučeniny často kancerogenní, aldehydy jedovaté a zápachající). Dráždivě působí na sliznici, podporují tvorbu jedovatého a korozi působícího, silně okysličujícího ozónu O₃ ze spoluúčasti ultrafialového záření (především poškozuje zelené části rostlin) a tvorbu fotochemického smogu (omezení slunečního záření, jedovaté účinky). V horních vrstvách atmosféry působí spolu s CO₂, CO, NO_x skleníkový efekt. [55] - citace str. 98

SO₂ – oxid siřičitý, štiplavě páchnoucí, bezbarvý plyn. Silně napadá sliznice, potlačuje odolnost vůči infekcím. Tvoří kyselé deště, poškozuje především lesní porosty. Účinky na osoby jsou silně zesíleny přítomností částic (vyskytuje se hojně v České republice). [55] - citace str. 98

Pevné částice – často nesou na povrchu kondensované mutageny a kancerogeny. Působí i mechanickým drážděním (zesilují působení dalších látek, jako SO₂). Viditelný kouř (zaclonění výhledu vozidel). [55] - citace str. 98



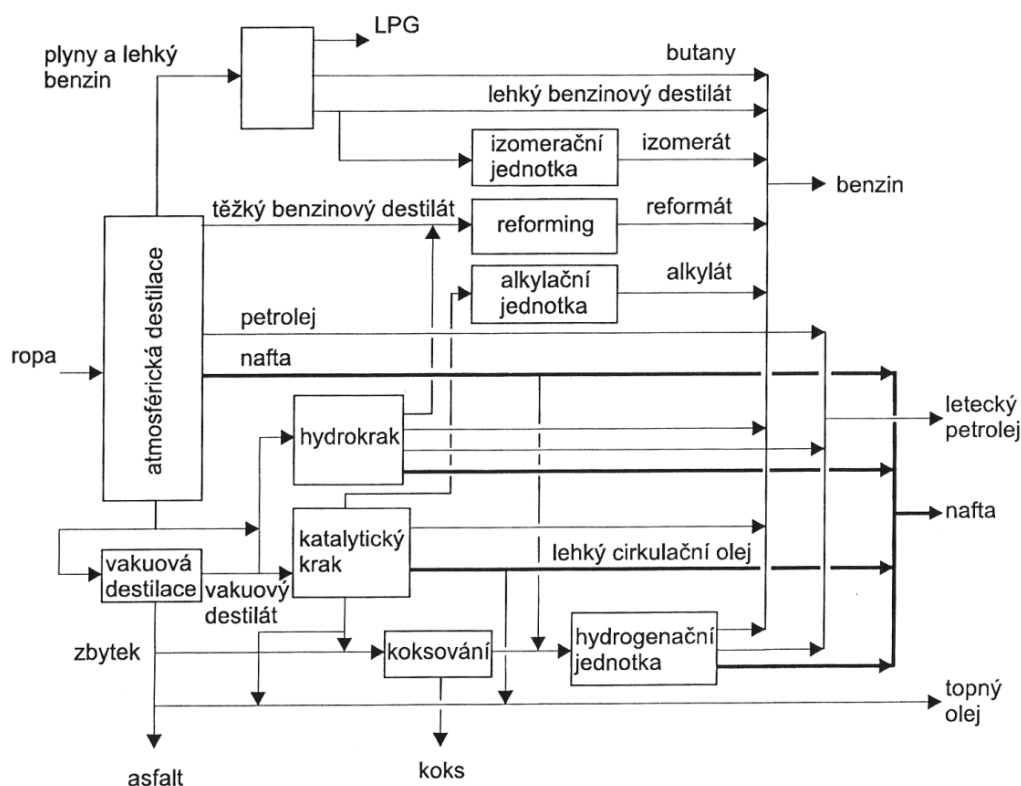
1 LPG

Jde o zkapalněný ropný plyn (**Liquefied Petroleum Gas**). Je to převážně směs zkapalněných tříuhlíkových a čtyřuhlíkových uhlovodíkových plynů – propan (C_3H_8) a butan (C_4H_{10}). LPG vzniká v rafineriích při zpracování ropy – obr. 1, nebo jako kapalná frakce separovaná od metanu (CH_4) při těžbě zemního plynu [1].

V České republice se nachází 934 čerpacích stanic na LPG [15]. Na našich silnicích se objevuje okolo 250 tisíc registrovaných vozidel s pohonem na LPG, což odpovídá přibližně 2,3% všech osobních vozidel registrovaných v České republice [14]. Z celkového počtu registrovaných vozidel na LPG se udává ve statistice Ministerstva vnitra České republiky 141 345 registrovaných vozidel přestavěných na LPG [13].

1.1 VLASTNOSTI LPG

LPG je velmi těkává hořlavá kapalina se specifickým zápachem. Hrozí nebezpečí vzniku omrzlin, pokud bude LPG vypuštěno do prostoru o atmosférickém tlaku, při kterém dojde k vypařování varem (teplota až $-40^{\circ}C$). Při normálních podmínkách je LPG v plynném stavu. Ochlazením nebo stlačením se dá LPG snadno převést do kapalného stavu. V tomto stavu zaujímá 1/260 svého plynného objemu. Poměrně snadný přechod mezi skupenskými stavy má výhodu při praktickém využití a umožňuje skladovat velké množství energie na poměrně malém prostoru. [1]



Obr. 1 Zjednodušené schéma destilace a zpracování frakcí ropy [9] - str. 43



Propan a butan obsahuje minimální množství síry a jiných nečistot, proto jejich spalování méně zatěžuje ovzduší než automobilový benzín. Porovnání vlastností propanu, butanu a benzínu je uvedeno v tab. 2. Propan i butan jsou v plynném stavu těžší než vzduch. Při styku s vodou se odpařuje. Z toho důvodu nedochází ke znečištění povrchových ani podzemních vod. Propan-butan má velmi dobré antidetonační vlastnosti a umožňuje dosahovat výkonu motoru s pohonem na automobilový benzín. [1] Při teplotě 20°C se zkapalní propan při tlaku 0,85 MPa a butan při 0,23 MPa [4]. Další vlastnosti jsou uvedené v tab. 1.

Tab. 1 Vlastnosti propan-butanu [16]

| Vlastnosti | Jednotky | Propan | Butan |
|--|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Chemický vzorec | (-) | C ₃ H ₈ | C ₄ H ₁₀ |
| Relativní molekulová hmotnost | (-) | 44,094 | 58,12 |
| Kapalný stav | | | |
| Hustota při 20 °C | (kg.m ⁻³) | 502 | 579 |
| Bod tání při tlaku 101,08 kPa | (°C) | -189 | -135 |
| Bod varu při tlaku 101,08 kPa | (°C) | -42,6 | -0,6 |
| Kritická teplota | (°C) | 95,6 | 153 |
| Kritický tlak | (MPa) | 4,45 | 3,721 |
| Spalné teplo | (kJ.kg ⁻¹) | 50,3 | 49,56 |
| Plynný stav | | | |
| Hustota při 101,08 kPa | (kg.m ⁻³) | 2,019 | 2,703 |
| Hutnota | (l) | 1,562 | 2,091 |
| Výparné teplo při bodu varu a tlaku 101,08 kPa | (kJ.kg ⁻¹) | 444,057 | 387,79 |
| Spalné teplo při 0 °C, 101,08 kPa | (MJ.kg ⁻¹) | 100,986 | 133,97 |
| Výhřevnost při 0 °C, 101,08 kPa | (MJ.m ⁻³) | 92,989 | 123,76 |
| Dolní mez výbušnosti se vzduchem | (%) | 2,1 | 1,5 |
| Horní mez výbušnosti se vzduchem | (%) | 10,1 | 8,4 |
| Bod zápalnosti | (°C) | 510 | 490 |

Tab. 2 Srovnání parametrů propanu a butanu s benzínem [4]- str. 32

| Parametr | Jednotky | Propan | Butan | Benzín |
|-----------------------|------------------------|--------|-------|---------|
| Hustota při 15 °C | (kg.m ⁻³) | 508 | 584 | 730-780 |
| Tlak par při 37 °C | (kPa) | 1 210 | 260 | 50-90 |
| Teplota varu | (°C) | -42,6 | -0,6 | 30-225 |
| Oktanové číslo | (-) | 97 | 89 | 85-87 |
| Výhřevnost hmotnostní | (MJ.kg ⁻¹) | 46,37 | 45,78 | 44,03 |
| Výhřevnost objemová | (MJ.l ⁻¹) | 23,28 | 26,51 | 32,3 |

Oktanové číslo je přímý jakostní parametr benzínu. Vyjadřuje jeho antidetonační schopnost (mohutnost), což znamená odolnost benzínu proti detonačnímu spalování (klepání motoru). Čím je oktanové číslo vyšší, tím je lepší odolnost benzínu vůči klepání. Oktanové číslo určitého automobilního benzínu se zjišťuje dvěma způsoby, takzvané výzkumnou metodou a motorovou metodou. Stejně palivo zkoušené oběma metodami dává stejné výsledky jen za určitých podmínek. Zpravidla je oktanové číslo zjištěné výzkumnou metodou větší než číslo stanovené motorovou metodou. [3] – citace str. 133

Požadavky na kvalitu a složení propan-butanu v České republice jsou uvedené v normě ČSN EN 589.



1.2 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ AUTOMOBILŮ NA LPG

1.2.1 PŘESTAVBA NA LPG - SYSTÉMY

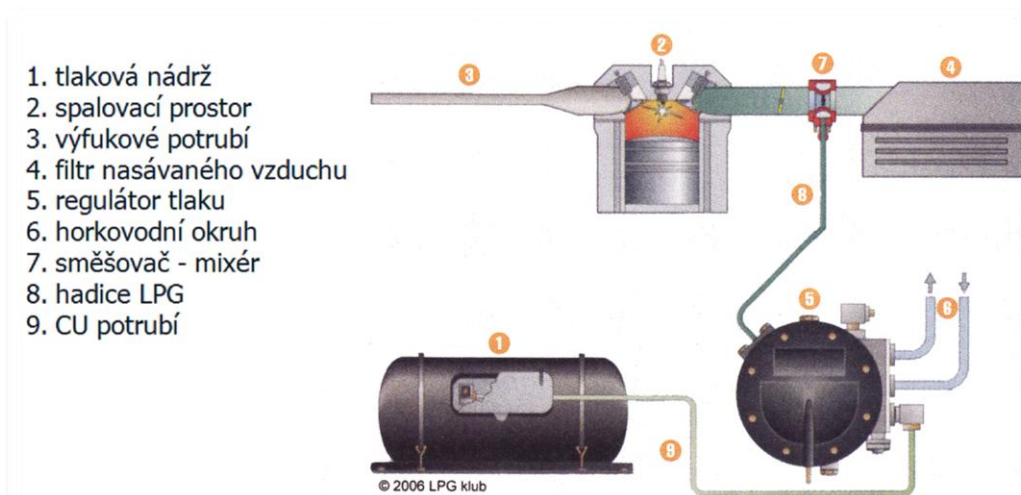
V České republice se používá pět LPG systémů. Každý je určen pro jiný druh motoru od nejstarších po nejnovější. Hlavní změna je způsobena dopravou a regulací paliva do spalovací komory motoru. Volba správného systému a výrobce systému velmi ovlivňuje bezporuchovost provozu automobilu, opotřebení a životnost motoru. U vozidel se zážehovým motorem lze i nadále používat automobilový benzín, čímž získáme dvoupalivové vozidlo (bifuel vehicle). U vozidel se vznětovým motorem (nejčastěji autobusy a nákladní vozidla) již nelze používat původní palivo, jedná se o jednopalcové vozidlo (monofuel vehicle).

SYSTÉM S CENTRÁLNÍM SMĚŠOVAČEM

Systém je určen pro starší vozidla s karburátorem – např.: Škoda 120, Škoda Favorit [17]. Podtlaková hadice (8. na obr. 2), spojující sací potrubí a reduktor tlaku, ovládá systém. Výběr paliva, které se přivádí do spalovací komory, umožňuje manuální přepínač, který má obvykle tři polohy (pouze benzín, pouze plyn a poloha uprostřed slouží k využití zbytku benzínu z karburátoru). Systém se seřizuje pomocí maximálních emisních hodnot na emisním přístroji. [18] V České republice jsou schválené tyto systémy: BRC, Emmegas, Lovato, Lovtec, Marini, Tartarini.[17]

Výhody: nejnižší pořizovací cena, snadná instalace, nenáročná údržba

Nevýhody: manuální přepínání paliva, vyšší spotřeba a nižší výkon ve srovnání s vespělejšími systémy



Obr. 2 Schéma systému s centrálním směšovačem [17]

SYSTÉM S CENTRÁLNÍM SMĚŠOVAČEM ŘÍZENÝ LAMBDA SONDOU

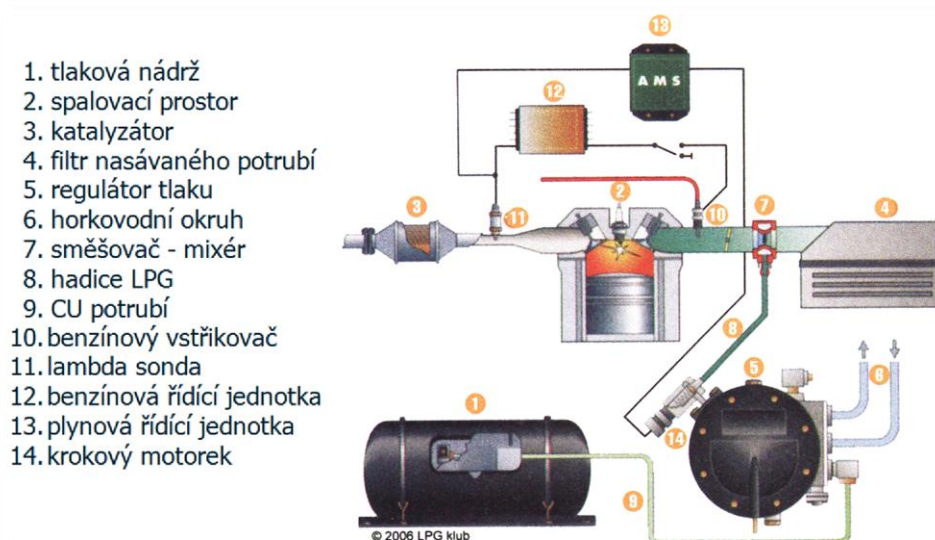
Systém je určen pro vozidla s karburátorem, s jednobodovým nebo vícebodovým vstřikováním – např.: Škoda Felicia 1,3 MPI nebo 1,3 BMM [17]. Dávkování paliva je řízeno lambda sondou (11. na obr. 3). Výběr paliva, které se přivádí do spalovací komory, umožňuje manuální přepínač, který má obvykle tři polohy (pouze benzín, pouze plyn a poloha uprostřed slouží k využití zbytku benzínu z karburátoru). V současné době



jsou spíše nahrazovány dokonalejšími systémy, např.: se sekvenčním vstřikováním. [18] V České republice jsou schválené tyto systémy: BRC, Emmegas, Lovato, Lovtec, Tartarini.[17]

Výhody: nízká pořizovací cena, snadná instalace, nenáročná údržba, vyšší výkon a nižší spotřeba než u prvního systému, splňuje přísnější emisní normy

Nevýhody: manuální přepínání paliva, vyšší spotřeba a nižší výkon ve srovnání s vyspělejšími systémy



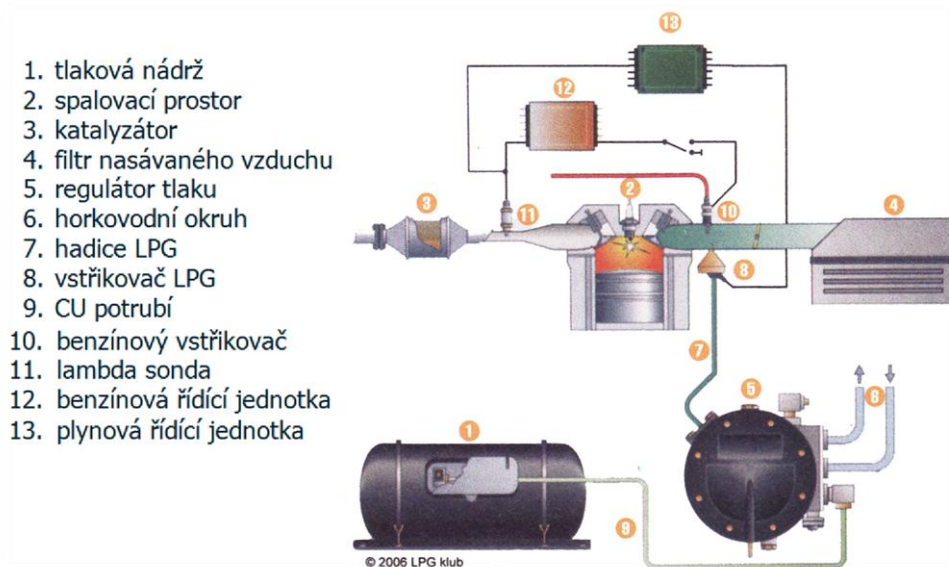
Obr. 3 Schéma systému s centrálním směšovačem řízený lambda sondou [17]

SYSTÉM KONTINUÁLNÍHO VSTŘIKOVÁNÍ

Označuje se jako paralelní systém, což znamená, že benzínová a plynová řídicí jednotka je zapojena paralelně. Systém je určen pro vozidla s vícebodovým vstřikováním a bez systémů palubní diagnostiky EOBD (European On Board Diagnostic) a OBD II, kam náleží vozidla do roku výroby 2001.[17]. Palivo je dávkováno do každého válce motoru zvlášť a je řízeno lambda sondou (11. na obr. 4). U tohoto systému nedochází ke zpětnému šlehnutí. V současné době se tyto systémy používají jen výjimečně. [18] V České republice jsou schválené tyto systémy: AG, Autogas systems, BRC, Landi Renzo, Lovato, Lovtec, Tartarini.[17]

Výhody: průměrná pořizovací cena, vyšší výkon a nižší spotřeba než u prvního či druhého systému, splňuje přísnější emisní normy

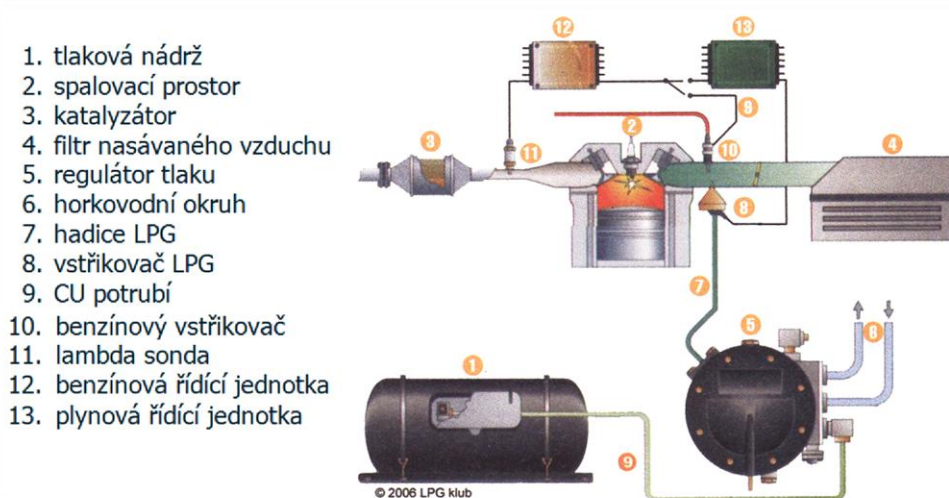
Nevýhody: použití se systémy palubní diagnostiky EOBD a OBD II



Obr. 4 Schéma systému kontinuálního vstřikování [17]

SYSTÉM SEKVENČNÍHO VSTŘIKOVÁNÍ

Označuje se jako sériový systém, což znamená, že benzínová a plynová řídicí jednotka je zapojena sériově. Systém je určen pro vozidla s vícebodovým vstřikováním a se systémy palubní diagnostiky EOBD a OBD II.[17]. Palivo je dávkováno do každého válce motoru zvlášť a je řízeno benzínovou řídicí jednotkou (12. na obr. 5). Tedy k řízení systému není potřeba lambda sonda jako v předchozích systémech. Plynová řídicí jednotka přepočítává údaje o množství plynu, který je dávkován místo benzínu. U tohoto systému nedochází ke zpětnému šlehnutí. Výběr paliva, které se přivádí do spalovací komory, ovlivňuje řídicí jednotka bez zásahu řidiče. Pro studené starty se obvykle používá benzín. Po dosažení provozní teploty řídicí jednotka začne přivádět LPG. V současné době patří k nejpoužívanějším systémům. Splňuje emisní normy EURO IV.



Obr. 5 Schéma systému sekvenčního vstřikování [17]



U vozidel s přímým vstřikováním (např. motory FSI Volkswagen) se spotřebovává i benzín v poměru 30/70. [18] V České republice jsou schválené tyto systémy: AG, Autogas systems, BRC, KME, Landi Renzo, Lovato, Tartarini.[17]

Výhody: výkon a spotřeba téměř obdobná v porovnání s provozem na benzín, splňuje emisní normu EURO IV

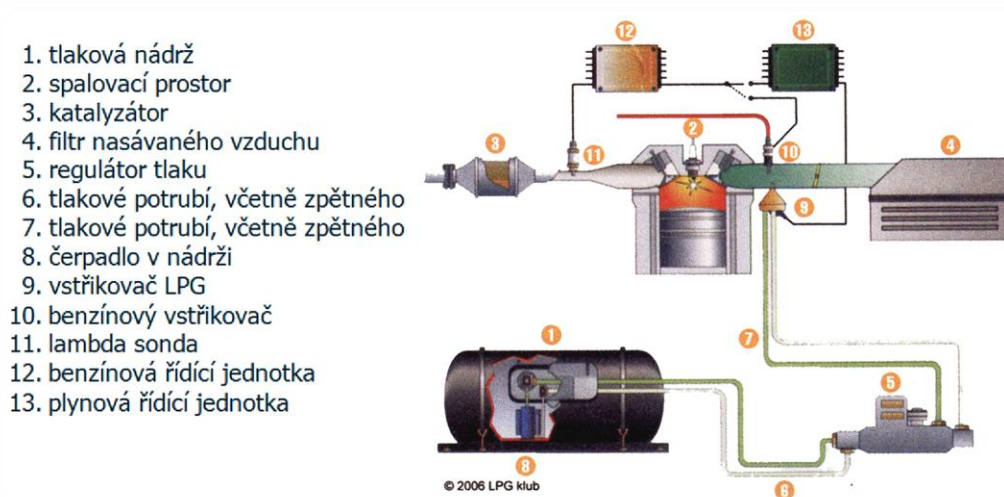
Nevýhody: vyšší průměrná pořizovací cena než u kontinuálního vstřikování, spotřebovávání benzínu u vozidel s přímým vstřikováním

SYSTÉM VSTŘIKOVÁNÍ KAPALNÉHO LPG - LPI

Systém má pozitivní vliv na plnění spalovací komory díky vstříknutí kapalného LPG. Vlivem odpaření dojde k ochlazení proudícího vzduchu. Vstřikovací trysky musí být vyhřívány, aby nedošlo k případnému zamrznutí otvorů v trysce. Je potřebné doplnit systém o další bezpečnostní prvky, které zvyšují cenu přestavby. Vzhledem k udržení konstantního tlaku v nádrži je použito čerpadlo, bez něho by se tlak snižoval s úbytkem kapalného LPG. Tyto systémy vyrábí: VILLE, ICOM. [18]

Výhody: spotřeba obdobná s provozem na benzín, výkon stejný nebo i vyšší v porovnání s provozem na benzín, splňuje emisní normu EURO V, vhodné pro intenzivní provoz

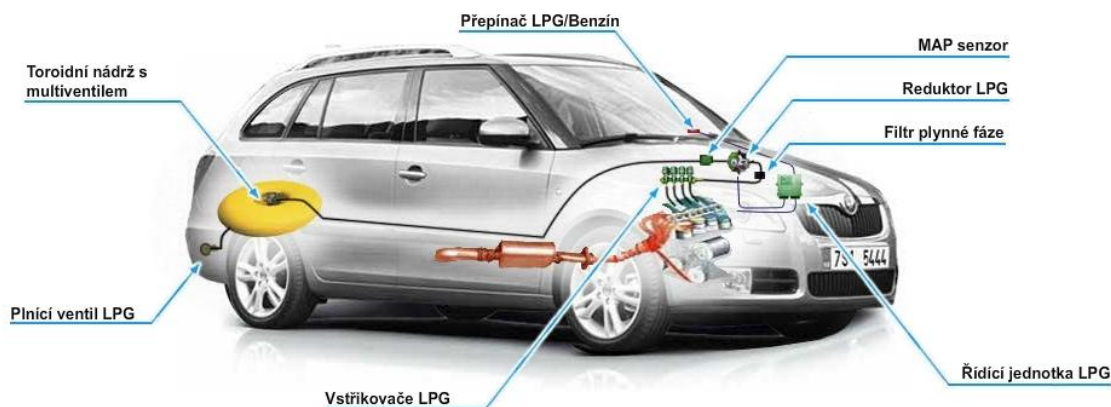
Nevýhody: přibližně dvakrát vyšší pořizovací cena než u kontinuálního vstřikování



Obr. 6 Schéma systému vstřikování kapalného LPG [17]



1.2.2 ZÁKLADNÍ KOMPONENTY SYSTÉMU NA LPG



Obr. 7 Schéma rozpoložení jednotlivých základních komponentů v automobilu Škoda Fabia Combi [18]

PLNÍCÍ HRDLO

Do vozidla se tankuje plyn v tekutém stavu. V České republice či Polsku se používá nejčastěji italský uzávěr s kleštinou. V Nizozemí či ve Velké Británii se setkáme s holandským bajonetovým závitem.[20] Mezi jednotlivými typy existují redukce. Hrdlo je opatřeno šroubovatelnou zátkou. U moderních automobilů se nejvíce umísťuje plnicí hrdlo LPG vedle uzávěru plnicího hrdla palivové (benzinové) nádrže. Vše je ukryto pod víkem a není tedy potřeba vrtat otvory do blatníku vozu.

TLAKOVÁ NÁDRŽ

Pomocí držáků je pevně uchycena ke karosérii vozidla. Bývá zpravidla válcového nebo toroidního tvaru s interním nebo externím výstupem, kde je umístěn multiventil. Válcová nádrž se montuje za zadní sedadla vozidla a toroidní nádrž místo rezervního kola. Z toho důvodu musíme rezervní kolo ponechat v zavazadlovém prostoru. Objem válcové nádrže se pohybuje od 45 do 80 litrů a toroidní nádrž od 30 do 65 litrů.[21]



Obr. 8 Tlaková nádrž a) válcová; b) toroidní s interním výstupem [21]



Vyrábí se z oceli nebo kompozitu. V tomto provedení je nádrž lehčí. Je zkoušena na tlak 3 MPa, nejvyšší provozní přetlak je 2,5 MPa. Z bezpečnostních důvodů je možno naplnit nádrž jen na 80% svého objemu, protože při zvýšení teploty dochází k prudkému vzrůstu tlaku. Kdyby byla použita nádrž bez omezovače plnění, hrozilo by roztržení nádrže.[7] Životnost tlakových nádrží stanovuje vyhláška č. 341 MD ČR u LPG na 10 let od data výroby nádrže.[21]

MULTIVENTIL

Víceúčelový ventil je pevně spojený s nádrží. Jeho součástí je tlakoměr a plynotěsná schránka. Plynotěsná skříň s odvětrávacími hadicemi a průchodkami zabezpečuje hermetické oddělení armatur od vnitřního prostoru karosérie.[7] Multiventil zajišťuje funkci provozní (při plnění nádrže, při odebírání pohonné hmoty a ukazuje stav paliva v nádrži) [7] a bezpečnostní (uzavřený ventil při vypnutém zapalování, při poruše potrubí - únik nad 6 litrů za minutu, vypuštění plynu při přetlaku nad 2,7 MPa do prostoru pod vozidlem, ruční uzavření přívodu plynu do nádrže, při požáru tepelná pojistka odpustí plyn z nádrže).[22]

MAP SENZOR (THE MANIFOLD ABSOLUTE PRESSURE SENSOR)

V překladu jde o absolutní snímač tlaku v sacím potrubí, který poskytuje okamžité informace o plnicím tlaku v řídicí jednotce. Z poskytnutých dat se lze dozvědět hmotnostní tok paliva a také dávkování paliva pro optimální spalování.

REDUKTOR (VÝPARNÍK)

Výparník se vlivem působení horkovodního okruhu odpařuje, tj. mění kapalný PB na plynnou fázi PB. V této plynné fázi se PB přivádí ke směšovači, kde se mísí s nasávaným vzduchem, přicházejícím vzduchovým filtrem. Takto vzniklá palivová směs je poté sacím potrubím přiváděna do prostoru motoru. V případě systému vstřikování je PB přiváděn k jednotlivým válcům do blízkosti benzinových vstřikovačů. [22]

ELEKTRICKÉ VSTŘIKOVAČE

Jsou ovládané řídicí jednotkou. U sériových systémů musí být zajištěna 100% správná funkčnost benzinové řídicí jednotky. U paralelních systémů musí být zabezpečena 100% správná funkčnost řídicí jednotky LPG. Tato jednotka používá k řízení signály motoru (otáčky za minutu), MAP senzor, lambda sondu atd. U vozidel se servomotorem platí totéž jako pro vozidla s paralelním systémem.[22]

ŘÍDICÍ JEDNOTKA LPG

Reguluje množství LPG pomocí servomotoru, nebo elektrických vstřikovačů. Ovládá a reguluje provoz motoru na LPG, monitoruje všechny signály a na základě těchto údajů nastavuje optimální směs. Zvyšuje také životnost katalyzátoru a snižuje spotřebu paliva. [23]

PŘEPÍNAČ LPG/BENZÍN

Je umístěn v zorném poli řidiče. Existuje několik typů. K nejjednodušším náleží manuální přepínač určený pro vozy s karburátorem, který má obvykle tři polohy (pouze benzin, pouze plyn a poloha uprostřed slouží k využití zbytku benzínu z karburátoru). Elektronické přepínače si hlídají otáčky motoru. Pokud řídicí jednotka nezíská signál ohledně otáček motoru, automaticky se přepne na pohon pomocí benzínu. Pro studené



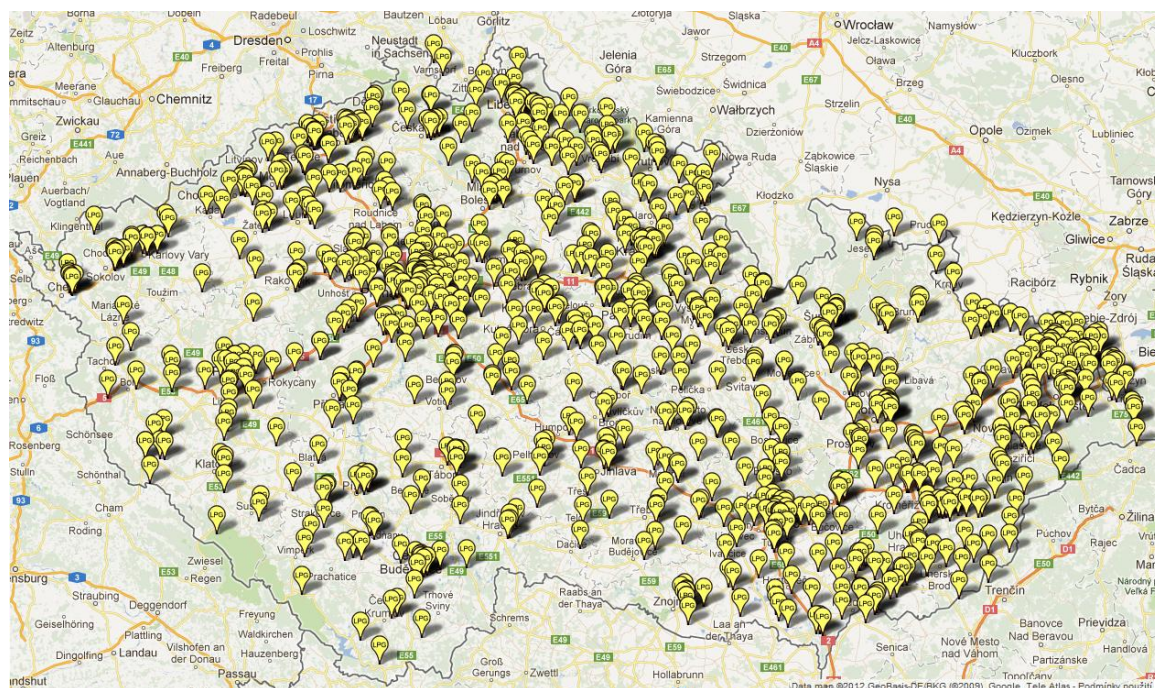
starty se obvykle používá benzín. Po dosažení provozní teploty nebo určitých otáček motoru řídicí jednotka začne přivádět LPG.[23]

VYSOKOTLAKÉ ROZVODY

Jsou vyrobené z mědi (Cu). Propojují jednotlivé komponenty a celý systém pracuje s LPG pod tlakem nad 0,08 MPa. Podléhají homologačnímu schválení podle předpisu EHK 67 R 01 (do roku 2001 67R 00).[22] - citace

1.3 ČERPAČÍ STANICE

V České republice se nachází 934 čerpacích stanic na LPG [15], což odpovídá přibližně čtvrtině čerpacích stanic v České republice. Vyskytují se velmi často v blízkosti čerpacích stanic na fosilní paliva (benzín, nafta). V nádrži čerpací stanice se nachází propan-butan v kapalném stavu, odkud se tankuje přes výdejní stojan do nádrží vozidel. Tankování provádí z bezpečnostních důvodů poučená osoba, buď obsluha čerpací stanice, nebo sám motorista, který absolvoval školící kurz.



Obr. 9 Mapa LPG stanic v České republice [52]

1.4 AUTOMOBILY POHÁNĚNÉ LPG

Sériově vyráběné automobily lze zakoupit bez problému. Mezi automobilní závody produkující vozidla s pohonem na LPG patří: Škoda, Seat, Opel, Volkswagen atd. Škoda Octavia 1,6 MPI LPG o výkonu 75 kW a s vícebodovým vstřikováním spotřebovává 9,2 l LPG a 7,0 l benzínu na ujetých 100 km. [53] Cena v České republice ve 20. týdnu roku 2012 činí 18,20 Kč/l za LPG a za benzín 37,40Kč/l. [17] Z toho vyplývá, že 1 km na LPG cenově vychází na cca 1,67 Kč, což je o 0,43 Kč více než u pohonu na CNG (Volkswagen Passat EcoFuel). Doprava 1 km na benzín stojí cca 2,62 Kč. Tady je cenový



rozdíl velmi znatelný. Cena Škody Octavie poháněné na LPG je o 30 000 Kč vyšší než model s benzínovým motorem. [53] Motor splňuje emisní normu Euro IV. Toroidní nádrž o objemu 44 l je umístěna v prostoru pro rezervu, nedochází ke zmenšení zavazadlového prostoru. Automobil pojme 55 l benzínu. Pro studené starty se používá toto palivo, poté se automaticky nebo manuálně přepojí na palivo LPG. Dojezd automobilu čistě na LPG je až 475 km. Emise oxidu uhličitého (CO₂) jsou 149 g/km u LPG a u benzínového režimu 169 g/km. [54]



Obr. 10 Škoda Octavia 1,6 MPI LPG [54]

1.5 ZHODNOCENÍ LPG

Nejdéle prováděné a cenově příznivé jsou právě přestavby vozidel na systému LPG. Specifika jsou uvedena u jednotlivých systémů LPG. Nejpoužívanější je LPG systém sekvenčního vstřikování, protože poměr cena a výkon je optimální. Nejúčinnější, nejekologičtější a nejdražší je systém vstřikování kapalného LPG. Je-li motor upraven podle LPG, má stejný, nebo vyšší výkon než s benzínovým palivem. Spotřeba LPG při této konfiguraci klesá. Většinou je motor nastaven na benzínový režim, aby jeho spotřeba byla co nejnižší, protože benzín je dražší. V České republice je zakázáno parkování v podzemních garážích, protože propan-butan je těžší než vzduch. Při úniku zůstává při zemi a velmi pomalu se rozptýluje, hrozí tak velké nebezpečí výbuchu. Při spalování LPG jsou sníženy hodnoty emisí CO₂, CO, HC, NO_x vzhledem k spalování benzínu či nafty. Spalováním CNG vznikají daleko nižší nebo takřka nulové emise. [1]

1.5.1 VÝHODY

- ☑ Infrastruktura čerpacích stanic (934 stanic v České republice)
- ☑ Energeticky málo náročné čerpací stanice
- ☑ Antidetonační vlastnosti
- ☑ Homogenní směs
- ☑ Poměrně jednoduché stlačení
- ☑ Zmenšení objemu plynu (260krát)
- ☑ Výhřevnost propan-butanu obdobná jako u benzínu či nafty



- Degradace vlastnosti motorového oleje
- Ekonomický provoz vozidla na LPG – levnější než benzín
- Přestavba vozidla (záleží na systémech LPG)
- Možnost zakoupení nového vozidla na LPG (obvykle dražší v porovnání s benzínovým motorem a levnější než s naftovým motorem)
- Dlouholetá propracovanost technologie systému na LPG
- Zatím nulová spotřební daň na palivo
- Velký dojezd vozidla při pohonu na obě paliva

1.5.2 NEVÝHODY

- Závislost na ropě
- Těžší propan-butan než vzduch
- Instalace nádoby (zmenšení zavazadlového prostoru nebo úplné vyjmutí rezervního kola z vozidla – nebo pouze jeho přemístění do zavazadlového prostoru)
- Zakázané parkování v podzemních garážích v ČR
- Opatření sedel ventilů – nutnost přidávat aditivní mazivo
- Ztráty odpouštěním LPG při regulaci tlaku nádrží
- Nižší hodnoty emisí než u benzínových motorů, vyšší hodnoty emisí než při spalování CNG
- Roční pravidelné prohlídky
- Po 10 letech výměna nádrže
- Poruchovost a vyšší opotřebení při nevhodně vybraném systému LPG





2 CNG, LNG

Pro pohon vozidel se používá zemní plyn ve dvou skupenských stavech, buď jako stlačený zemní plyn (**Compressed Natural Gas**) nebo jako kapalný zemní plyn (**Liquified Natural Gas**). Získává se přímou těžbou. Hlavní složkou je metan (CH_4). Mezi doprovodné složky patří: propan (C_3H_8), butan (C_4H_{10}), vyšší uhlovodíky, sulfan (H_2S), oxid uhličitý (CO_2), vodní páry, dusík (N), argon (Ar) a další plyny. [3]

V České republice se nachází 37 čerpacích stanic na CNG.[49] Na konci ledna 2012 jezdilo v České republice podle České plynárenské unie už 3 475 vozidel s pohonem na CNG. To je meziroční nárůst o 30 %.[25] Z uvedeného množství je 356 autobusů.[51]

2.1 VLASTNOSTI CNG, LNG

Zemní plyn je hořlavý, výbušný plyn, bez barvy, bez zápachu a bez chuti. Je nejedovatý, má zanedbatelné toxické vlastnosti. Je lehčí než vzduch. [7] - citace str. 36 Snižuje podstatně obsah škodlivin ve výfukových plynech zážehových motorů. CNG se přepravuje v tlakových nádobách s plnicím tlakem 20 MPa, při kterém se objem plynu zmenší 200krát. [4]

Tab. 3 Vlastnosti zemního plynu oproti automobilovému benzínu a motorové nafty [24]

| Znak jakosti | Jednotka | Benzin | Nafta | Zemní plyn |
|--------------------------------------|------------------------------------|-----------|------------|------------|
| Oktanové číslo | (-) | 91 - 98 | - | 128 |
| Cetanové číslo | (-) | - | 51-55 | - |
| Teplota vzplanutí | (°C) | -20 | 55 | 152 |
| Teplota hoření | (°C) | -20 | 80 | 650 |
| Teplota vznícení | (°C) | 340 | 250 | 537 |
| Teplota varu | (°C) | 30 - 210 | 180 - 370 | -161,6 |
| Hustota při 15°C | ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) | 720 - 775 | 800 - 845 | 0,678 |
| Min. hmotnostní výhřevnost | ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 43,5 | 41,8 | 49,5 |
| Min. objemová výhřevnost | ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$) | - | - | 34 |
| Meze výbušnosti ve směsi se vzduchem | (%) | 0,6 až 8 | 0,6 až 6,5 | 4,4 až 15 |
| Třída nebezpečnosti | (-) | I. | III. | IV. |

Těžený zemní plyn se podle složení dělí do čtyř základních skupin: [26] - citace

- 1) zemní plyn suchý (chudý) - obsahuje vysoké procento metanu (95 - 98%) a nepatrné množství vyšších uhlovodíků
- 2) zemní plyn vlhký (bohatý) - obsahuje vyšší podíl vyšších uhlovodíků ve srovnání se suchým zemním plynem
- 3) zemní plyn kyselý - je plyn s vysokým obsahem sulfanu (H_2S), který se odstraňuje v úpravárenských závodech před dodávkou zemního plynu do distribučního systému



- 4) zemní plyn s vyšším obsahem inertních plynů - jde hlavně o oxid uhličitý (CO₂) a dusík (N)

Mezi velmi výhřevné topné plyny v České republice patří zemní plyn (naftový a karbonský) a bioplyny. Naftový zemní plyn se těží společně s ropou (vlhký zemní plyn), nebo se těží v ložiskách, kde se nachází pouze zemní plyn (suchý zemní plyn). Karbonský zemní plyn se získává při těžbě černého uhlí (suchý zemní plyn). Lze je také získat zplyňováním uhlí. K uhlí se přidává voda (H₂O), a pak vznikne metan a oxid uhličitý (CO₂). Tato metoda není v současné době vhodná z ekonomického a z ekologického hlediska, protože při tomto procesu vzniká oxid uhličitý, který má vliv na globální oteplování. [26]

Tab. 4 Složení zemního plynu – hodnoty v (%) [26]

| Zemní plyn | Metan | Vyšší uhlovodíky | Inertní plyny |
|----------------|-------|------------------|---------------|
| ČR - naftový | 97,7 | 1,7 | 0,6 |
| ČR - karbonský | 92,5 | 2,2 | 6,3 |
| Rusko | 98,4 | 0,8 | 0,8 |
| Norsko | 93 | 4,9 | 2,1 |

Zkapalněný zemní plyn (LNG) je studená, namodralá, průzračná kapalina bez zápachu, nekorozivní, netoxická, s malou viskozitou. [18] Při podchlazení na teplotu -162°C zkapalněného zemního plynu se může skladovat ve vozidlech v kryogenních nádržích při přetlaku 0,15 MPa. Objem plynu se zmenší až 600krát. [4] Na LNG ujede vozidlo větší vzdálenost než na CNG. 1,5 l LNG energeticky odpovídá cca 1 l benzínu. LNG má vyšší zápalnou teplotu než benzín. Po delší době se může odpařovat zemní plyn z nádoby. [18] - citace

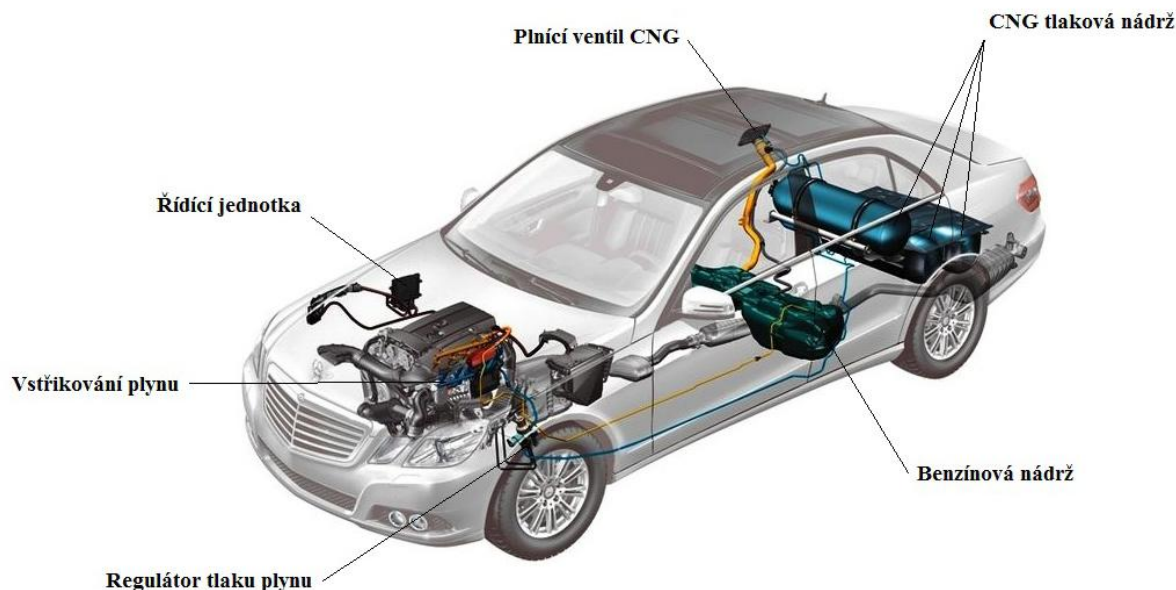
2.2 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ AUTOMOBILŮ NA CNG, LNG

2.2.1 PŘESTAVBA NA CNG - SYSTÉMY

CNG systémy jsou velmi obdobné jako u LPG. Většinou se používá systém sekvenčního vstřikování. Přestavba na CNG je dražší než na LPG. Z toho důvodu se příliš neaplikuje na starší vozidla, ale právě na novější vozidla se systémem palubní diagnostiky EOBD. U vozidel se zážehovým motorem lze i nadále používat automobilový benzín, čímž získáme dvoupalivové vozidlo (bifuel vehicle). U vozidel se vznětovým motorem (nejčastěji autobusy a nákladní vozidla) již nelze používat původní palivo, jde o jednopalcové vozidlo (monofuel vehicle). V České republice i ve světě jsou městské autobusy ve velké míře přestavovány na CNG.



2.2.2 ZÁKLADNÍ KOMPONENTY SYSTÉMU CNG



Obr. 11 Schéma nainstalovaného systému CNG ve vozidle značky Mercedes Benz – sedan třídy E [27]

MAP senzor, elektrické vstřikovače, řídicí jednotka CNG, přepínač CNG/benzín, vysokotlakové rozvody – jejich funkce je shodná s komponenty uvedených v kapitole LPG. Podstatné změny jsou u komponentů:

PLNÍCÍ VENTIL

Slouží k naplnění nádrže vozidla zemním plynem. Používají se dva typy plnicích rychlospojkek: NGV1 a NGV2. NGV1 (nejčastěji používané) nachází využití u osobních, nákladních vozidel a autobusů a je vhodné na rychlé plnění CNG (3 - 5 min). NGV2 se opět využívá u autobusů a nákladních vozidel a je vhodné pro pomalé plnění CNG (4 - 8 hodin). Plnicí rychlospojky lze rozlišit podle jejich průměrů. NGV2 má větší průměr (3/4“) než NGV1 (1/2“).[24] Pro typ NGV2 existuje redukce na NGV1. U automobilů se umísťuje plnicí hrdlo LPG vedle uzávěru plnicího hrdla palivové (benzínové) nádrže. Vše je schováno pod víkem. NGV (**N**atural **G**as **V**ehicle) znamená v překladu auta poháněná na zemní plyn.

TLAKOVÁ NÁDRŽ

CNG nádrž má nejčastěji objem 70 – 100 litrů a nadproudovou pojistku. Nádrže se vyrábějí z oceli, z lehkých hliníkových nebo kompozitních materiálů (kevlaru). Kompozitní materiály jsou stejně pevné jako ocel a váží až 3krát méně.[7] LNG se uchovává v kryogenních nádržích o teplotě -162°C a přetlaku 0,15 MPa, což představuje složitější a nákladnější technologie než u nádrží na CNG. Nádrže se umísťují do zavazadlového prostoru. Pokud je vozidlo vybaveno z výroby systémem CNG, mohou být nádrže nainstalovány zvenku pod zavazadlovým prostorem. Chybí zde prostor pro rezervní kolo. Je možné ho umístit v prostoru pod zadními sedadly automobilu. [7] Kryogenní nádrže méně váží a zabírají menší prostor než nádrže na CNG. [18]



Tab. 5 Hmotnostní parametry autobusových nádrží (Laurin – TU Liberec) [1]- str. 77

| Nádrže | Hmotnost prázdných nádrží | Hmotnost paliva | Hmotnost nádrží s palivem | Dojez autobusu |
|----------------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|
| | (kg) | (kg) | (kg) | (km) |
| Motorová nafta – obsah 240 litrů | 40 | 198 | 238 | 580 |
| LNG – kryogenní | 165 | 97 | 262 | 280 |
| CNG – ocelové | 860 | 97 | 957 | 280 |
| CNG – kompozitové | 338 | 102 | 420 | 295 |

ZÁVĚRNÝ VENTIL PALIVOVÉ NÁDRŽE

Slouží k uzavření nádrže. Používá se při demontážních pracích na nádrži. Obsahuje bezpečnostní ventil, který se otevře (zvýšení tlaku) i při uzavřeném ventilu směřujícím k regulátoru tlaku.

REGULÁTOR TLAKU

Slouží k redukci vysokého tlaku z tlakové nádoby do vstřikovacího zařízení. Nachází se v motorovém prostoru a je napojen na chladicí systém vozidla. [7]

2.3 ČERPAČÍ STANICE

V České republice se nachází 37 stanic na stlačený zemní plyn. Do roku 2020 by se mělo vybudovat alespoň 100 stanic na CNG. [49] Existují dva způsoby tankování CNG do vozidla.



Obr. 12 Mapa CNG stanic v České republice [49]



U stanic s rychlým plněním je přiváděný zemní plyn vysoušen a následně kompresorem stlačován na tlak 20 – 30 MPa. Poté je CNG skladován v tlakových lahvích, ze kterých je následně stlačený zemní plyn tankován přes výdejní stojan do CNG vozidla. Doba plnění se pohybuje v rozmezí 3 – 5 minut. U stanic s pomalým plněním není stlačený zemní plyn skladován v tlakových nádobách a je rovnou kompresorem tankován do vozidla. V České republice se nachází 83 těchto stanic. [49] Ideální je tankovat tímto způsobem během noci, protože naplnění nádrže vozidla může trvat 4 – 8 hodin. Při pomalém plnění je potřeba menší elektrická energie pro pohon kompresoru než u rychlého plnění. [18]

LNG stanice je sestavena z několika kryogenních lahví chlazené dusíkem. Provozní náklady jsou mnohem vyšší než u CNG stanice. Tyto stanice se vyskytují v Německu, Polsku, Velké Británii a Norsku. Posledním typem jsou LCNG stanice, které mají kryogenní nádrž s LNG. Zkapalněný zemní plyn je dopravován do výparníku pod vysokým tlakem, kde se mění na CNG a je skladován v tlakových nádobách. [7]

V nádržích s CNG dochází k tzv. Joule-Thompsonovu efektu, který je definován jako změna teploty plynu vyvolaná změnou jeho tlaku. Tedy sníží-li se tlak plynu, dojde ke snížení teploty a kondenzaci, která je nežádoucí. Příklad vodíku má pozitivní vliv na tento efekt. [40]

2.4 AUTOMOBILY POHÁNĚNÉ CNG

Kromě přestavovaných automobilů lze v současné době zakoupit sériově vyráběná vozidla v různých kategoriích. U kategorie osobních automobilů jde o značky: Volkswagen, Mercedes-Benz, Opel, Citroën, Ford a Fiat. Volkswagen Passat FSI EcoFuel je poháněn čtyřválcovým motorem FSI o objemu 1 390 cm³ a o výkonu 110 kW poháněný palivem CNG. Plní emisní normu EURO V. Vozidlo je vybaveno třemi ocelovými nádržemi na CNG o objemu 130,5 l (21 kg CNG) a plastovou nádrží o objemu 31 l.



Obr. 13 Uložení nádrží u automobilu Volkswagen Passat FSI EcoFuel [50]



Celkový dojezd automobilu je až 940 km, z toho až 480 km ujeďe na CNG. Po vyprázdnění nádrže na CNG se automaticky změňi dodávané palivo na benzín. Na cestu dlouhou 100 km spotřebuje automobil 4,4 – 4,6 kg CNG.[50] 1 kg CNG stojí v Brně 26,90 Kč. [24] 1 km cenově vychází na cca 1,24 Kč. Emise oxidu uhličitého (CO₂) se snížili o 30% (119 – 124 g/km), dále jsou nízké hodnoty emisí oxidů dusíku (NO_x), oxidů siřičitého (SO₄) a oxidu uhelnatého (CO). Při spalování CNG nevznikají žádné emise nespálených uhlovodíků, karcinogenních aromatických látek. Minimální jsou i emise pevných částic.[50]

2.5 ZHODNOCENÍ CNG

Technologie pohonu a skladování CNG je velmi propracovaná, bezpečná, ekologická a propagovaná. U plyných paliv je výhoda vytvoření homogenních směsí. Spotřeba klesá při spalování chudých směsí a výkon se zvyšuje s vyšším kompresním poměrem. V horizontu několika let by mělo NG překonat počet vozidel na LPG. Přestavby na palivo CNG se provádí většinou na nová nebo zánovní vozidla, která se sériově nevyrábí. Od roku 2011 je možné v ČR parkovat v podzemních garážích, pokud je vybavená odvětrávacím systémem.

2.5.1 VÝHODY

- Nižší hmotnost zemního plynu než vzduchu
- Zmenšení objemu plynu (u CNG – 200krát, u LNG – 600krát)
- Vysoké oktánové číslo
- Téměř srovnatelná měřná energie u LNG a benzínu
- Nízká hmotnost LNG nádrží a kompozitních CNG nádrží oproti ocelovým CNG nádržím
- Výhřevnost zemního plynu obdobná jako u fosilních paliv
- Plnohodnotná náhrada ropy
- Ekonomický provoz vozidla na CNG – nejlevnější palivo (při spotřebě udávané výrobcem)
- Snadná distribuce NG – plynovody
- Možnost zakoupení nového vozidla na CNG (nevýhoda - obvykle dražší než při pohonu na benzín či naftu)
- Propracovaná technologie systému na CNG
- Nulová spotřební daň na palivo
- Nízké, nebo nulové hodnoty emisí
- Velký dojezd vozidla při pohonu na obě paliva
- Parkování v podzemních garážích (omezeno pouze vybavením garáží)

2.5.2 NEVÝHODY

- Problematické skladování LNG
- Energetická náročnost přeměny na LNG a jeho udržení v tomto stavu
- Ztráty odpouštěním LNG při regulaci tlaku v kryogenních nádržích
- Nežádoucí Joule-Thompsonův efekt
- Nákladné vybudování a provoz čerpací stanice (vyšší náklady u LNG stanic)
- Opatřebení sedel ventilů – nutnost přidávat aditivní mazivo
- Infrastruktura čerpacích stanic (37 stanic v České republice, snaha o 100 stanic)
- Roční pravidelné prohlídky



3 VODÍK

Vodík (Hydrogen) je nejrozšířenějším plynem ve vesmíru. Tvoří 75% vesmíru. Na Zemi se vodík v plynné fázi nevyskytuje, ale je obsažen v horních vrstvách atmosféry.[7] – citace str. 55 V dopravě se využívají dva druhy pohonu na vodík. Vodík je do vozidla čerpán a uchován v kryogenních nádržích. Prvním druhem je spalování vodíku v motorech vozidel. Druhým druhem je použití vodíku v palivových článcích, ve kterých se vyrobí elektrická energie. Tato energie se pomocí elektromotoru přemění na mechanickou energii, jež umožňuje pohyb vozidla.

V České republice se nachází pouze jedna čerpací stanice. Byla postavena v roce 2009 v Neratovicích a slouží pro tankování autobusu MHD s palivovými články.

3.1 VLASTNOSTI VODÍKU

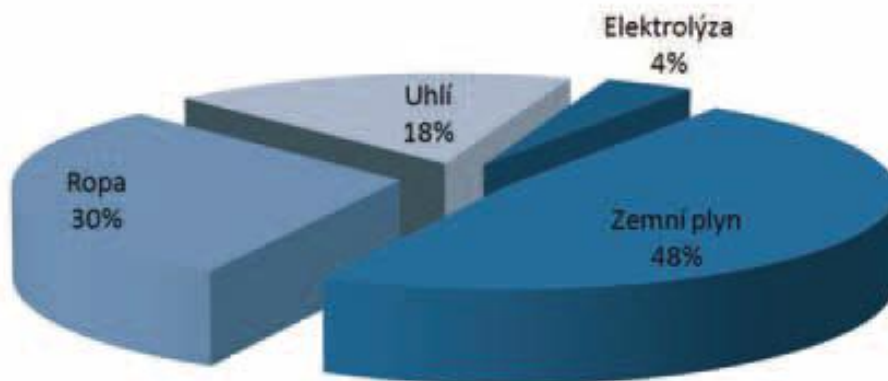
Z chemického hlediska jde o nejjednodušší prvek s atomovým číslem 1. Vodík ve směsi se vzduchem je silně výbušný. Meze výbušnosti jsou velmi rozdílné: 4 - 76%. Plynný vodík (GH_2) je bezbarvý, bez zápachu, netoxický, nekorozivní, 14krát lehčí než vzduch. Má největší poměr energie vztahované k hmotnosti, díky nízké hustotě. Má vysokou rychlost hoření. Při spalování vodíku je teoretická spotřeba vzduchu velmi malá. Kapalný vodík (LN_2) je bezbarvá, lehká kapalina s bodem varu -253 °C . Kapalný vodík zaujímá o 80% menší objem než stlačený plynný vodík.[7]

Tab. 6 Fyzikálně-chemické vlastnosti vodíku [28]

| Vlastnost | Jednotky | Vodík |
|---|--------------------------------------|------------|
| Krystalová struktura | (-) | šesterečná |
| Hustota v plynném stavu | (kg.m^{-3}) | 0,09 |
| Hustota v kapalném stavu | (kg.m^{-3}) | 0,07 |
| Teplota tání | ($^{\circ}\text{C}$) | -259,125 |
| Teplota varu | ($^{\circ}\text{C}$) | -252,882 |
| Tlak nasycených par při $t = -250,15\text{ °C}$ | (Pa) | 209 |
| Rychlost zvuku při $t = 25\text{ °C}$ | (m.s^{-1}) | 1 270 |
| Měrná tepelná kapacita | ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$) | 14 304 |
| Tepelná vodivost | ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) | 0,181 5 |
| Spalné teplo | (kJ.mol^{-1}) | 72 |
| Objemová výhřevnost | (MJ.m^{-3}) | 10,8 |
| Hmotnostní výhřevnost | (MJ.kg^{-1}) | 119,55 |

3.2 VÝROBA VODÍKU

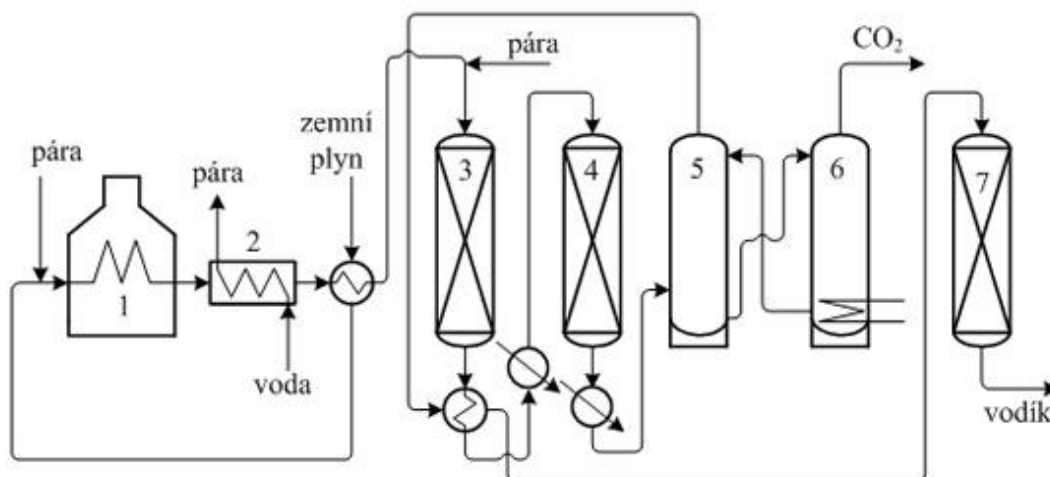
Každý den je na světě vyprodukováno přibližně $1,4\text{ mld. m}^3$, neboli 127 tisíc tun vodíku.[29] - citace



Obr. 14 Podíl jednotlivých surovin a technologie na výrobu vodíku [32]

3.2.1 PARNÍ REFORMOVÁNÍ

V současné době se cca 90% vodíku vyrábí parní reformingem. Výhody této technologie spočívají ve vysoké efektivitě procesu, v nízkých provozních a výrobních nákladech.[30] Vodík lze dále vyrábět touto technologií z etanu, propanu a lehkého benzínu.[31] Teplo pro reformní reakci i pro konverzi oxidu uhelnatého (CO) je dodáváno z přímého spalování zemního plynu.[29]



Obr. 15 Schéma parního reformování zemního plynu [31]

(1 - pec, 2 - kotel na výrobu páry, 3 - vysokoteplotní konvertor CO, 4 - nízkoteplotní konvertor CO, 5 - absorbér CO₂, 6 - desorbér CO₂, 7 - metanizér)



Proces se skládá ze dvou fází. V první fázi se za přítomnosti katalyzátoru přivádí metan (hlavní složka zemního plynu) do vodní páry, která má tlak $0,3 \div 2,5$ MPa a teplota se pohybuje $500 \div 950$ °C. Směs reaguje za vzniku vodíku, oxidu uhelnatého (CO) a menších složek oxidu uhličitého (CO₂). [29] Reakce probíhá v peci (reforméru). Ve vysokoteplotním konvertoru CO dojde k navýšení teploty až o 500 °C. V nízkoteplotním konvertoru dojde při teplotě $180 \div 230$ °C ke snížení koncentrace oxidu uhelnatého (až $0,2 \div 0,3\%$ obj.). Ve druhé fázi dochází ke konverzi CO, ke kterému se přivádí další vodní pára. Směs reaguje za vzniku vodíku oxidu uhličitého (CO₂). Reakce se uskutečňuje v absorbéru a desorbéru. Oxid uhličitý (CO₂) se vypouští do atmosféry, nebo se zkapalňuje či převádí do tuhého stavu (suchý led). [31]

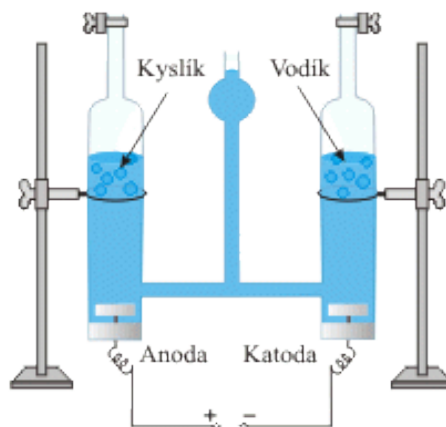
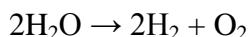
1. fáze: reformní reakce: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$

2. fáze: konverze CO: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Účinnost produkce vodíku se pohybuje okolo 80%. Závisí na poměru páry a uhlíku ve směsi. Velikou nevýhodou této technologie je produkce vysokého množství oxidu uhličitého (na 1 kg vodíku se vyprodukuje 7,05 kg CO₂). [29]

3.2.2 ELEKTROLÝZA

Elektrolýza je proces, při kterém stejnosměrný proud při průchodu vodným roztokem štěpí chemickou vazbu mezi vodíkem a kyslíkem: [32]



Obr. 16 Laboratorní schéma elektrolýzy [33]

H⁺ reaguje na katodě za vzniku plynu, který je jímán a následně skladován. Proces elektrolýzy probíhá při pokojových teplotách a pro jeho chod je nutná pouze elektrická energie. Tímto způsobem jsou vyrobena asi 4 % z celkové světové produkce vodíku. [29]



Levná elektřina a dostatek vody jsou výhodou pro konvenční elektrolýzu. K dalším výhodám tohoto procesu patří možnost použití různých zdrojů vstupní energie a vysoká čistota elektrolytického vodíku. Nevýhodou jsou naopak vysoké ceny elektrické energie a vysoké náklady na membránu v elektrolýzáru. [29] Přídavek v elektrolytu zvýší vodivost vody. Dále se používá roztok 25% hydroxidu draselného (KOH), chlorid sodný (NaCl), kyselina chlorovodíková (HCl), kyselina fluorovodíková (HF). [30]

Účinnost procesu se pohybuje v rozmezí 80 ÷ 92 %. [29] Výstupem elektrolýzy je kyslík a čistý vodíkový plyn, který se již nemusí dočišťovat. Poměr hmotnosti mezi vodíkem a kyslíkem je 1:8 a poměr objemů je 2:1, za normálních podmínek. [33] Účinnost výroby elektrické energie je při elektrolýze je 30 ÷ 40 %. Tato účinnost má největší podíl na celkové účinnosti elektrolýzy, která se pohybuje zhruba v rozmezí 25 ÷ 35 %. [32]

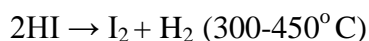
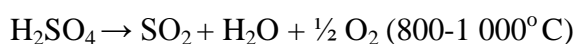
3.2.3 VYSOKOTEPLTNÍ ELEKTROLÝZA

Tato metoda se také nazývá parní elektrolýza. Pro elektrolýzu je potřeba dodávat elektrickou energii a také přivádět teplo. Reakce probíhá ve vysokoteplotním elektrolýzáru, do kterého vstupuje pára a vodík, vystupuje 75% hm. vodíku a 25% hm. páry. Na anodě se uvolňuje iont kyslíku, který prochází skrz membránu. Vodík vzniká z páry v kondenzační jednotce. Opačný proces se vyskytuje u palivových článků s pevnými oxidy. [29]

Účinnost procesu zvyšuje menší spotřeba elektrické energie, ale naopak se účinnost snižuje nutným ohřevem páry. Celková účinnost vysokoteplotní elektrolýzy dosahuje až 45%. Výhodou procesu je odstranění koroze, což spočívá v cirkulaci samotných H₂O, H₂ a O₂ bez jiných chemických látek. [29]

3.2.4 TERMOCHEMICKÉ CYKLY ŠTĚPENÍ VODY

Při termochemickém štěpení vody je voda rozdělena chemickou reakcí na kyslík a vodík. Reakce je iniciovaná u hybridních cyklů teplem a elektrickou energií. Jde o cykly uzavřené, to znamená, že použité chemické látky jsou v průběhu reakcí recyklovány a znovu vstupují do procesu. Vstupní surovinou je voda, která se musí stále doplňovat. Výstupním produktem je vodík a kyslík. Existuje siřičito-jodový termochemický cyklus, pro který platí tyto termochemické reakce: [32]



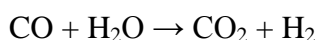
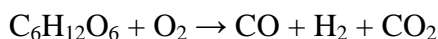
Účinnost cyklu se nedá jednoduše stanovit, zvyšuje se s rostoucí teplotou. Celková účinnost se pohybuje v rozmezí 40 ÷ 52%. Má vyšší účinnost než při výrobě vodíku elektrolýzou, protože nedochází ke ztrátám při výrobě elektrické energie. Nevýhodou termochemického cyklu je požadavek vysokých teplot, použití kyselin sírové (H₂SO₄) a jodovodíkové (HI). Vzhledem k těmto agresivním kyselinám je potřeba použít kvalitnější odolné materiály. Kontrola podmínek reakcí je v průmyslu problematická. [32]



3.2.5 ZPLYŇOVÁNÍ BIOMASY

V současné době se používá více technologií pro zplyňování. Zplyňování v generátorech s pevným ložem není příliš finančně náročné a používá se i pro malé tepelné výkony. Proces probíhá za teploty okolo 500 °C a při atmosférickém tlaku ve vrstvě biomasy. Největším problémem je značná tvorba dehtových látek, fenolů atd. [30]

Zplyňování v tlakových generátorech probíhá při teplotě 850 ÷ 950 °C a při tlaku 1,5 ÷ 2,5 MPa. Tento proces vychází z technologie zplyňování uhlí. Zplyňování ve fluidních generátorech probíhá za teploty 850 ÷ 950 °C a při atmosférickém tlaku ve vrstvě biomasy. Při požadavku na menší výkony a specifické vlastnosti se upřednostňují procesy s atmosférickým zplyňováním, které probíhá dle této reakce (poté probíhá konverze CO): [30]



3.2.6 PYROLÝZA

Jde o fyzikálně-chemický děj, při kterém se uskutečňuje rozklad organických materiálů za nepřístupu kyslíku. Podstatou pyrolýzy je ohřev materiálu nad mez termické stability přítomných organických sloučenin, což vede k jejich štěpení až na stálé nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek. Z technologického hlediska lze pyrolýzní procesy dále rozdělit dle dosahované teploty. [30]

První teplotní oblast je do 200 °C, při které dochází k sušení a tvorbě vodní páry fyzikálním odštěpením vody. Druhá oblast je v rozmezí 200 ÷ 500 °C, při níž probíhá karbonizace. Odštěpení bočních řetězců z vysokomolekulárních organických látek a makromolekulární struktura se mění na plynné a kapalné organické produkty a pevný pyrolyzní zbytek. Třetí oblast zahrnuje teplotu 500 ÷ 1 200 °C. Primární produkty vzniklé karbonizací jsou dále štěpeny a transformovány. Vznikají pak stabilní plyny. [30]

3.2.7 DALŠÍ METODY VÝROBY VODÍKU

ZPLYŇOVÁNÍ UHLÍ

FOTOELEKTROCHEMICKÉ METODY

BIOLOGICKÉ ZPŮSOBY VÝROBY VODÍKU

REDUKCE ZINKU



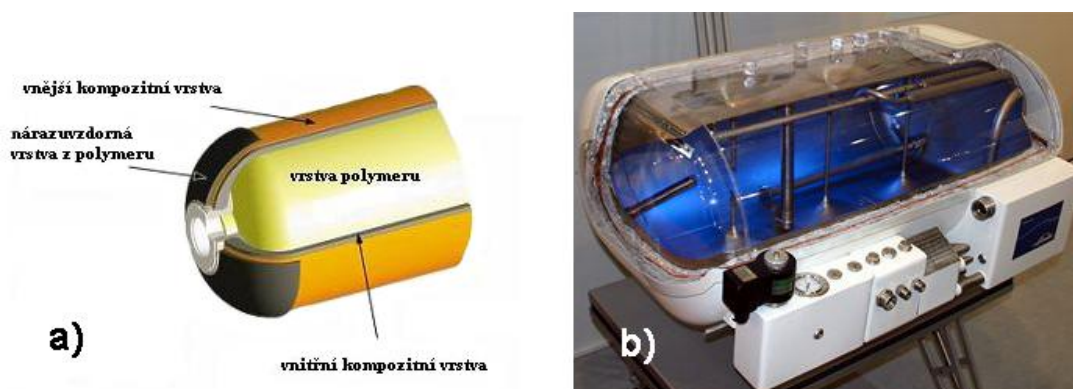
3.3 SKLADOVÁNÍ VODÍKU A ČERPACÍ STANICE

3.3.1 SKLADOVÁNÍ PLYNNÉHO VODÍKU

Plynný vodík lze skladovat v bezešvých láhvích z nízkouhlíkaté nebo legované oceli. Objem vyráběných lahví se pohybuje od 0,8 l až do 140 l pro běžné statické aplikace.[46] Pro mobilní aplikace se používají lehčí kompozitové nádoby o objemu od několika desítek litrů až po 300 l. Typický provozní tlak je 35 MPa, u novějších aplikací se vyskytuje od 45 MPa do 70 MPa. Vnitřní tenká vrstva kompozitních nádob je obvykle zhotovena z kovu nebo kompozitu. Tato vrstva zabraňuje úniku plynu skrz kompozitní nádobu.[29] Stlačení plynného vodíku se provádí pomocí pístových kompresorů. Energie potřebná pro stlačení vodíku na tlak 35 MPa odpovídá přibližně 30% energie v palivu.[46]

3.3.2 SKLADOVÁNÍ KAPALNÉHO VODÍKU

Kapalný vodík se skladuje při teplotě -253 °C , což klade vysoké nároky na materiál nádoby a vysoké energetické nároky na zkapalnění. Skladovací nádoby se vyrábějí vícevrstvé s dobrými izolačními vlastnostmi a přetlakem 0,5 MPa. V nádobách se udržuje maximální přetlak. U kryogenních nádob dochází vlivem přestupu tepla z okolí k odpařování vodíku a následnému nárůstu tlaku, který musí být odpouštěn regulačním mechanismem, aby nedošlo k destrukci nádoby. Za den se může odpustit až 3% obsahu vodíku v nádrži. Aby nedošlo k takovým ztrátám, je možné unikající vodík jímat a stlačovat do přidavných nádob.[29] Energie potřebná pro zkapalnění vodíku odpovídá přibližně 40% energie v palivu. [46]



Obr. 17 Skladovací nádrže: a) pro plynný vodík, b) pro kapalný vodík [46]

3.3.3 SKLADOVÁNÍ VÁZANÉHO VODÍKU

Kromě těchto tradičních způsobů skladování se využívá také alternativních způsobů, mezi které patří skladování v hydridech (metalyhydridy, alanáty, borohydridy), uhlíkatých strukturách (uhlíkové nanotrubičky, skleněné mikrokuličky) a v chemických sloučeninách obsahující vodík. [47]

3.3.4 ČERPACÍ STANICE

Jak již bylo řečeno, v České republice se nachází pouze jedna čerpací stanice. Stlačený vodík se skladuje ve velkoobjemové nádrži (35 m^3), ze které je pístovým kompresorem stlačován do svazku tlakových lahví, které jsou rozdělené na nízko, středně a vysokotlaké. Čerpání vodíku do vozidla začíná od nízko tlakových až po vysokotlaké láhve. Pokud se vodík vypotřebuje z tlakových lahví, než dojde k naplnění vozidla, pak kompresor stlačuje vodík

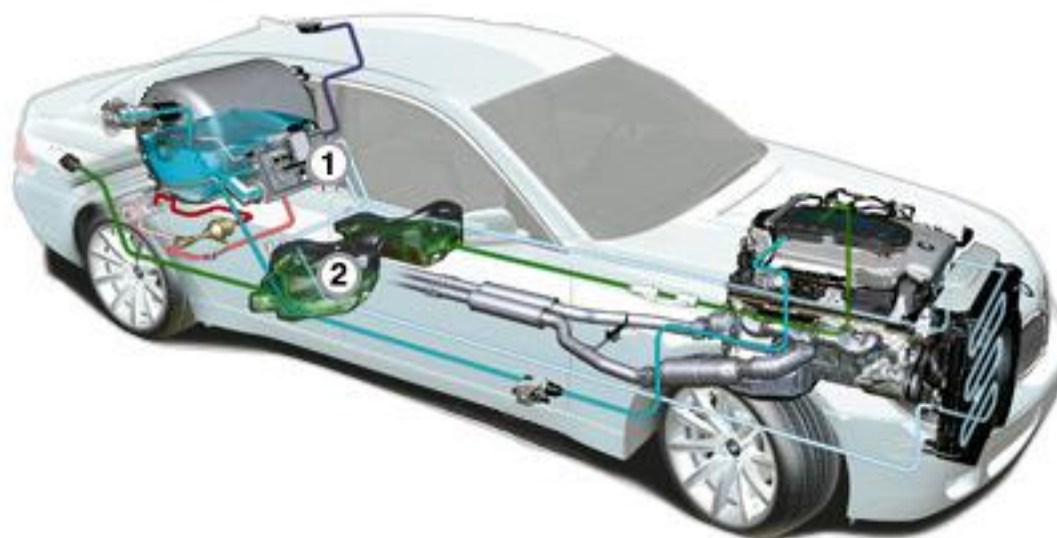


z velkoobjemové nádoby rovnou do vozidla. Tankování je ukončeno po dosažení maximálního tlaku, který si čerpací zařízení vypočte podle počátečních tlaků a teploty okolí. [29]

V dalších zemích se také nacházejí čerpací stanice na kapalný vodík. V Mnichově se vyskytuje automatická čerpací stanice. Výdej je zprostředkováván pomocí robota. Tento způsob plnění je velmi bezpečný a komfortní. Rozmístění jednotlivých stanic na vodík lze nalézt na tomto odkazu: [43].

3.4 SPALOVÁNÍ VODÍKU V PÍSTOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORECH

V současné době se spalování vodíku nepreferuje a automobilové závody se zaměřily na vývoj palivových článků, ve kterých vidí budoucnost pro pohon vozidel. K neznámějšímu vozidlu, které spaluje vodík, patří BMW Hydrogen 7. Dvanáctiválcový čtyřdobý spalovací motor do písmene „V“ o objemu 5 972 cm³ a výkonu 260 koní spaluje vodík i klasický automobilový benzín. Kryogenní nádrž o objemu 168 l pojme 8 kg kapalného vodíku, což vystačí vozidlu na 200 km. Automobil nevypouští žádné emise oxidu uhličitého (CO₂), pouze vypouští vodu bez škodlivin a má menší množství oxidů dusíku (NO_x), které odpovídá množství vypouštěné z benzinových motorů. [48]



Obr. 18 Schéma automobilu BMW Hydrogen 7 [48]

(1 - kryogenní nádrž vodíku, 2 – benzinová nádrž)

V důsledku nízké objemové výhřevnosti je zapotřebí použít přepřívání nebo přímého vstříku při spalování chudé vodíkovzdušné směsi. Zápalnost směsi je z hlediska měrné energie velmi dobrá, proto může dojít k zápalu do sacího traktu nebo k předčasnému samovznícení (tzv. klepání). Vzhledem k prvnímu důvodu je výhodnější použití vysokého kompresního poměru zejména při nízkém zatížení. Smíchání vodíku s pomalu hořícími palivy (metan)



má pozitivní účinek na parametry motoru. Vysoké zatížení vyžaduje adaptivní regulaci předstihu a kompresního poměru změnou časování ventilů. [47]

3.5 ZHODNOCENÍ

Vodík je pouze nositelem energie. Největší nevýhodou pro rozvoj této metody je malá účinnost motoru při spalování vodíku. Energie vodíku tedy není zcela využita. K další ztrátě energie dochází při stlačování, nebo zkapalnění vodíku do vozidla, pak je celková účinnost velmi malá. Z tohoto důvodu je ztrátová energie mnohem větší než energie vydaná. Cena 1 kg stlačené vodíku se v České republice pohybuje okolo 120 Kč. [29] V budoucnosti se očekává snížení ceny. Do té doby se tato technologie nevyplatí. Další nevýhodou je tvorba oxidů dusíku (NO_x), protože se upřednostňuje co nejekologičtější pohon vozidel. Vodík je velmi perspektivní palivo, hlavně jako příměs k jiným palivům (např.: NG - metan, benzín, nafta, LPG). Směs se zemním plynem se nazývá HCNG nebo Hythane (více v další kapitole).

3.5.1 VÝHODY

- Perspektivní palivo budoucnosti
- Použití pro palivové články
- Vysoká rychlost hoření vodíku
- Vysoká hmotnostní výhřevnost vodíku
- Přeměna elektrické energie v energii vodíku
- Výroba vodíku z biopaliva
- Nulové emise u vozidel, kromě emise oxidů dusíku (NO_x)
- Vodík jako příměs k fosilním palivům či biopalivům (HCNG - Hythane, HHO)
- Snížení emisí NO_x s použitím katalyzátoru NO_x

3.5.2 NEVÝHODY

- Malá infrastruktura čerpacích stanic (v České republice pouze jedna)
- Nebezpečí výbuchu ve směsi vodíku se vzduchem
- Nízká objemová výhřevnost vodíku
- Vznik oxidu uhličitého (CO_2) při výrobě vodíku z fosilních paliv
- Energetické ztráty při výrobě vodíku
- Malý dojezd vozidel se zásobníky na stlačený vodík
- Technická náročnost přeměny na zkapalněný vodík a jeho udržení v tomto stavu
- Problematické skladování vodíku
- Ztráty odpouštěním vodíku při regulaci tlaku v kryogenních nádržích
- Nákladné vybudování a provoz čerpací stanice
- Emise oxidů dusíku (NO_x) u vozidel
- Vysoká cena vodíku
- Nízká celková účinnost paliva
- Možnost předčasného zapálení směsi ve spalovací komoře – klepání motoru
- Možnost zápalu do sacího traktu



4 HCNG, HYTHANE[®]

HCNG (Hydrogen enriched compressed natural gas) znamená v překladu zemní plyn obohacený vodíkem. Jde o směs vodíku a zemního plynu, která obsahuje jiný podíl, než je uvedeno u Hythane[®].

Palivo Hythane[®] bylo vyvinuto a patentováno americkou společností Hythane Company. Jde o směs vodíku (**H**ydrogen) a zemního plynu (metanu - **M**ethane) v poměru 1:4, což znamená 20% vodíku a 80% zemního plynu. Obvykle obsahuje 5 ÷ 7% energie vodíku. [34]

4.1 VLASTNOSTI PALIVA HYTHANE[®]

Vlastnosti paliva se odvíjí dle poměru vodíku a zemního plynu. Vytvoření směsi vodíku se zemním plynem dojde ke zvýšení účinnosti spalovacího motoru a ke snížení korozních vlastností oproti spalování vodíkem ve spalovacích motorech. Účinnost motoru se zvýšila proto, že zemní plyn má větší objemovou výhřevnost než vodík. Více výhod ovšem má tato směs ve srovnání se spalováním čistě zemního plynu. Dochází ke zrychlení hoření a ke zvýšení tepelné účinnosti motoru díky zvýšené teplotě při termodynamických dějích. Žádoucí je také spalování chudých směsí, čili obsahují více vzduchu než paliva. Dále se snižuje obsah emisí uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO). Přidání vodíku do zemního plynu potlačuje Joule-Thompsonův efekt. Nevýhodou je zvýšení emisí oxidů dusíku (NO_x), které lze opět snížit přidáním katalyzátoru NO_x do výfukového systému vozidla. [34], [35]

Tab. 7 Porovnání výhřevnosti vodíku a zemního plynu [24][28]

| Palivo | Hmotnostní výhřevnost | Objemová výhřevnost |
|------------|------------------------|-----------------------|
| | (MJ.kg ⁻¹) | (MJ.m ⁻³) |
| Vodík | 119,55 | 10,8 |
| Zemní plyn | 49,5 | 34 |

Tab. 8 Závislost složení směsi na teplotě a emisích [35]

| Složení směsi | Průměrná teplota | Emise NO _x | Emise CO |
|--|------------------|-----------------------|----------|
| | (°C) | (ppm) | (ppm) |
| 100% H ₂ | 1 094 | 537 | - |
| 70% H ₂ + 30% CH ₄ | 642 | 375 | 22 |
| 50% H ₂ + 50% CH ₄ | 555 | 228 | 80 |
| 30% H ₂ + 70% CH ₄ | 510 | 96 | 580 |
| 10% H ₂ + 90% CH ₄ | 490 | 85 | 630 |
| 100% CH ₄ | 417 | 28 | 1 320 |

Poznámka: 100% = 1 000 000 ppm

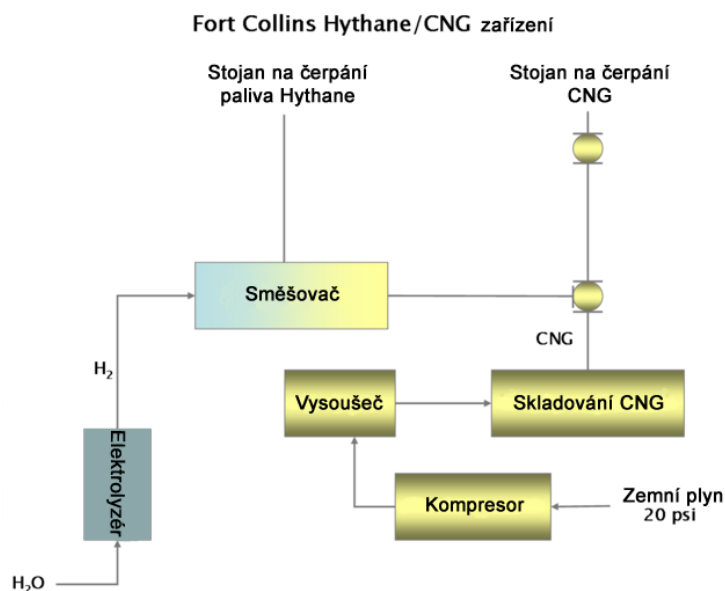


4.2 ČERPAČÍ STANICE HYTHANE®

V současné době existuje několik čerpacích stanic na světě. První se nachází v USA v Denveru, v sídle společnosti Hythane Company. Další stanice jsou vybudovány v San Francisku, kde je v provozu 14 letištních autobusů poháněných tímto palivem. [37] Kromě USA se toto palivo začíná více uplatňovat v Indii, konkrétně ve městech: Dillí, Bombaji, Ahmedabad, Vijayawada. [36] Také se objevuje v Kanadě. V Evropě se nachází čerpací stanice na Hythane® ve městě Malmö ve Švédsku [38], v Itálii, ve Francii a v Norsku.[43]

4.2.1 SYSTÉM VYTVOŘENÍ SMĚSI HYTHANE®

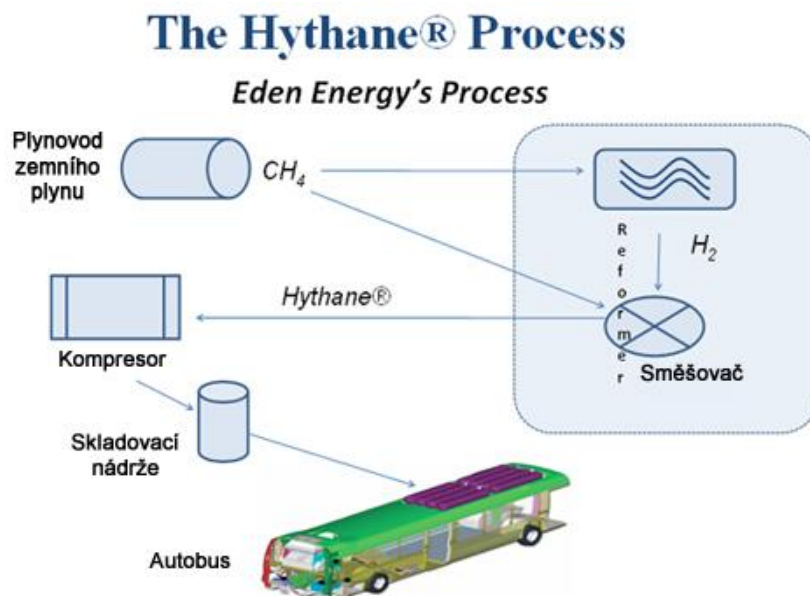
Systémy jsou velmi obdobné jako systémy používané na CNG stanicích. První systém využívá k výrobě vodíku elektrolyzátor, který je součástí stanice. Proto je potřeba dodávat kromě zemního plynu také vodu. Ve směšovači se mísí vyrobený vodík se stlačeným zemním plynem, odtud putuje směs do stojanu. Výhodou této stanice je možnost tankování paliva Hythane i CNG. Nevýhodou je potřeba většího množství elektrické energie pro průběh elektrolýzy a také dodávání další suroviny – vody. [39]



Obr. 19 Schéma zapojení čerpací stanice [39]

U druhého systému se vodík vyrábí parním reformováním. Parní reformer je součástí stanice. Postačuje dodávání jedné suroviny, kterou je také zemní plyn. Ve směšovači se mísí vyrobený vodík se zemním plynem a odtud putuje směs do kompresoru. Zde se stlačí a uloží ve skladovacích nádržích. Odtud se skrz stojan tankuje do vozidel. Výhodou této stanice je dodávání pouze jedné suroviny – zemního plynu. Nevýhodou je potřeba většího množství elektrické energie pro průběh parní reformace, která by neměla být vyšší v porovnání s elektrolýzou. [40]

Pozn.: Existují také systémy, kde je možno tankovat palivo Hythane a také vodík. Přehled čerpacích stanic na vodík či HCNG (Hythane) lze nalézt na tomto odkazu: [43]



Obr. 20 Schéma zapojení čerpací stanice [40]

4.3 VOZIDLA NA HYTHANE®

Nejvíce rozšířené jsou autobusy, které mají motory speciálně přestavěné na pohon pomocí paliva Hythane. Přestavba je obdobná jako u paliva CNG. 14 autobusů Ford E-450 (shuttle bus) je v provozu na mezinárodním letišti v San Francisku. Nahrádily autobusy poháněné benzínem, nebo naftou. Hlavním důvodem výběru pohonu pomocí paliva Hythane byla nízká emise zplodin a z toho vyplývající lepší ovzduší v areálu letiště. Tyto autobusy vypouští o 30% uhlovodíků a 20% oxidu uhličitého méně než vozidla poháněná CNG. [37]

Ashok Layland je druhým největším výrobcem užitkových vozidel v Indii. Vyvinuli šestiválec o výkonu 92 kW poháněný palivem Hythane. Dále vytvořili čtyřválec o výkonu 63 kW poháněný směsí HCNG. Motory splňují emisní normu Euro V. V porovnání s pohonem na CNG se snížily emise uhlovodíku o 15,1%, oxidů dusíku o 16,6% a zvýšila se účinnost motoru o 6,5%. Tato firma v roce 1997 postavila první CNG autobus. [42]



a)



b)

Obr. 21 Ukázka: a) Shuttle bus Ford E-450 [37]; b) Autobus Ashok Leyland [42]



Nejvýznamnějším představitelem mezi osobními vozy poháněnými na palivo Hythane je prototyp – Volvo Multi-Fuel. Tento vůz může být poháněn až pěti palivy (benzín, etanol E85, zemní plyn, biometan, Hythane). Podíl vodíku pro tento vůz je 10%. Z toho vyplývá, že jde nejpravděpodobněji o HCNG. Také splňuje emisní normu EURO V. Vozidlo obsahuje nádrže na kapalná i plynná paliva, dvoulitrový motor s pěti válci. Podle výrobce má motor vysokou účinnost u všech pěti paliv. [44]

4.4 ZHODNOCENÍ

Palivo Hythane a HCNG se rok od roku více rozšiřují po celém světě. Jde o mezikrok v přechodu na vodíkové hospodářství, které se očekává v budoucích letech. V současné době se v České republice rozvíjí počet čerpacích stanic a aut na CNG. Existuje pouze jedna čerpací stanice na stlačený vodík. Podle těchto údajů by se mohly v České republice po roce 2020 vyskytovat čerpací stanice a vyšší počet vozidel na Hythane. Přibližná cena za 1kg paliva Hythane je o 10% vyšší než je cena CNG na 1 kg.[45]

4.4.1 VÝHODY

- Lokální neznečištění ovzduší – snížení emisí oxidu uhelnatého a uhlovodíků
- Zvýšení účinnosti motoru při spalování chudých směsí – 10 ÷ 15%
- Rychlejší hoření
- Zmírnění Joule-Thompsonova efektu
- Relativní snížení emisí NO_x o 95% proti dieselu
- Emisní norma EURO 5
- Vstupní suroviny pro výrobu paliva - zemní plyn, elektrická energie, popřípadě i voda
- Antikorozi vlastnosti CNG
- Možnost použití biometanu a biovodíku při výrobě paliva
- Snížení emisí NO_x při použití katalyzátoru NO_x

4.4.2 NEVÝHODY

- Malá infrastruktura čerpacích stanic (nevyskytuje se v České republice)
- Nízký počet vyrobených, nebo přestavěných vozidel
- Při vyšší koncentraci vodíku ve směsi – vyšší obsah emisí NO_x , nižší tepelná účinnost
- Snížení celkové výhřevnosti směsi



ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil na alternativní paliva pro zážehové spalovací motory. Kriticky jsem zhodnotil jejich vlastnosti a parametry. Zpracoval jsem jejich využití a odhalil výhody či nevýhody alternativních paliv.

Plynná paliva jsou výhodnější než paliva kapalná, protože mísení dvou látek stejných skupenství umožňuje správné dodržení směšovacího poměru paliva a vzduchu (homogenní směs). U chudých směsí je vzduch ve spalovacím prostoru dokonale využit, z čehož vyplývá docílení lepší čistoty paliva. Nesmývají mazací olej ze stěn válců jako kapalná paliva (degradace oleje). Vyznačují se zpravidla i větší antidetonační mohutností než uhlovodíková paliva. Mohou být i levnější, pokud je získáváme jako vedlejší produkt při jiné výrobě.

Z uvedených alternativních paliv bych v blízké budoucnosti upřednostnil zemní plyn, poněvadž při jeho spalování se produkuje méně škodlivých látek. Výhodná je nulová spotřební daň a rovněž ekonomický provoz vozidla.

Dokladem je porovnání cen alternativních paliv s benzinem. Cena paliva po ujetí 100 km s vozidlem na CNG vychází na 124 Kč (při spotřebě 4,6 kg/100 km), s vozidlem na LPG pak 167 Kč (při spotřebě 9,2 l/100 km), s vozidlem na benzin 262 Kč (při spotřebě 7 l/100 km). Přibližná cena za 1kg paliva Hythane je o 10% vyšší než je cena CNG na 1 kg.[45] Cena 1 kg stlačené vodíku se v České republice pohybuje okolo 120 Kč. [29] V budoucnosti se očekává snížení ceny vodíku.

Významnou skutečností je delší životnost zásob zemního plynu ve srovnání s ropou a rovnoměrnější rozložení nalezišť zemního plynu ve světě.

Vozidla za zemní plyn produkují výrazně méně škodlivin (oxid dusíku, oxid uhelnatý, oxid uhličitý, pevné částice, polyaromatické uhlovodíky, aldehydy) v porovnání s vozidly s klasickým palivem. U plyných motorů je vliv na skleníkový efekt menší ve srovnání s benzinem či naftou. Velkou výhodou plyných paliv je dokonalá těsnost palivového systému, která minimalizuje úniky paliva do ovzduší při plnění nádrží. Provedení palivového systému na plyná paliva rovněž zvyšuje odolnost proti požáru.

Dochází k ročnímu nárůstu až o 10 čerpacích stanic CNG. Toto alternativní palivo využívá stále větší počet motoristů na základě uvedených výhod.

Plynofikace motorových vozidel má největší význam pro autobusovou a komunální dopravu ve větších městech, kde jsou původní naftové motory nahrazeny motory plynovými: z hlediska celkového znečištění ovzduší je opodstatněné i použití plyných paliv jako alternativy za benzinová paliva v kategoriích osobních a lehkých užitkových automobilů.

Hythane je považován jako mezikrok při přechodu na vodíkové hospodářství. Vodík je považován za nositele energie. Tato směs má velmi nízké emise ve srovnání se zemním plynem či při spalování vodíku ve spalovacím motoru. Z ekologického pohledu by byl Hythane výhodným alternativním palivem, neboť se podílí na snížení emisí oxidu uhelnatého a uhlovodíků, např.: autobusy poháněné Hythane vypouští o 30% uhlovodíků a 20% oxidu uhličitého méně než vozidla poháněná CNG. [37]; účinnost motoru se zvýšila o 6,5%.





POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2006, 376 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [2] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2004, 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [3] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Výkladový automobilový slovník*. Vyd. 2., aktualiz. Brno: Computer Press, 2006, 244 s. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 80-251-1147-4.
- [4] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [5] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburátory, vstřikování paliva a optimalizace parametrů motoru*. Vyd. 3. Brno: Computer Press, 2009, 388 s. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 978-80-251-2545-8.
- [6] HORNÍČEK, Jan. *Jezdíme ekonomicky: jak jezdit s nižší spotřebou paliva*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2007, 147 s. ISBN 978-80-251-1624-1.
- [7] ŽÁKOVEC, Jan. *Využití plynných paliv v dopravě*. 1. vyd. Praha: GAS, 2001, 70 s. GAS. ISBN 80-861-7686-X.
- [8] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohon automobilů*. 1. vyd. Praha: BEN, 2004, 231 s. ISBN 80-730-0127-6.
- [9] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2005, 223 s. ISBN 80-247-0350-5.
- [10] ZEHNÁLEK, Josef. *Chemie, paliva, maziva*. 2., nezměn. vyd. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005, 179 s. ISBN 80-715-7900-9.
- [11] TESAŘ, Miroslav a Ivo ŠEFČÍK. *Konstrukce vozidlových spalovacích motorů*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003, 172 s. ISBN 80-719-4550-1.
- [12] STRAKA, František. *Bioplyn: příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. 1. vyd. Říčany: GAS, 2003, 517 s. ISBN 80-732-8029-9.
- [13] *Centrální registr vozidel: Členění vozidel podle druhu vozidla a druhu paliva (úplného)* [online]. Ministerstvo vnitra České republiky, 23. 1. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/centralni-registr-vozidel-865510.aspx?q=Y2hudW09NA%3d%3d>
- [14] *Léto s LPG* [online]. Zábřeh, 3. 6. 2011 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://www.lpghrabete.cz/files/fakta_o_lpg_1.pdf
- [15] Seznam a ceny LPG v ČR. In: *Statistika LPG* [online]. 2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://lpg.cernosice.cz/index.php?page=stats.php&order=pocet>



- [16] Co je to propan-butan. TOMEGAS. *Propan-butan, vlastnosti* [online]. 2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.tomegas.cz/co-je-propan-butan/>
- [17] LPG klub: Vše o LPG. *LPG systémy* [online]. 2007 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: http://www.lpg.cz/lpgsystemy/lpgsystemy_popis.php
- [18] *Auta na plyn* [online]. 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.autanaplyn.cz/>
- [19] Elpigas. *LPG přestavby s AAA AUTO* [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.elpigas.cz/prestavby-s-aaa-auto>
- [20] SLOVÁČEK, Petr. Přestavba a záruky: Zvolte zbraně!. *Svět motorů*. Praha: Svět motorů, 2011, 65., č. 11. ISSN 0039-7016.
- [21] NEPTUN HARFA. *LPG nádrže - výměna nádrží* [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.neptun-harfa.cz/LPG-nadrze---vymena-nadrzi/3377.html>
- [22] H-diag. *LPG* [online]. 2008 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.hdiag.cz/news/lpg/>
- [23] ELPEGE s.r.o. *Přestavby na LPG* [online]. 2011 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.elpege.cz/lpg-prestavby/>
- [24] RWE. *CNG* [online]. 2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/>
- [25] Šlápni na plyn. *Základní informace o CNG* [online]. 2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/auto-autobus-jizda-na-plyn-palivo-zemni-cng.htm>
- [26] Zemní plyn. *Co je to zemní plyn* [online]. 2010 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.zemniplyn.cz/plyn/>
- [27] Aktuálně.cz: *Auta. Stačí nádrž navíc a vaše auto může mít spotřebu 1 Kč/km* [online]. 2011 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://auto.aktualne.centrum.cz/fotogalerie/foto/362432/?cid=694917>
- [28] *Vodík: vlastnosti, výroba a využití* [online]. [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://web.vscht.cz/nadhernl/projektIV/vodik.html>. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- [29] TriHyBus - Vodíkový autobus s palivovými články. *Technologie* [online]. 2008 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.trihybus.cz/technologie>
- [30] BRANDEJSKÁ, Ondřej PROKEŠ a Daniel TENKRÁT. *Získání vodíku z obnovitelných zdrojů* [online]. Brno, 2006 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_v/papers/08-Brandejska.pdf. Odborný seminář. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [31] Petroleum.cz. *Výroba vodíku parním reformováním* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-43.aspx>



- [32] *Pro-energy magazín: energetické trhy, trendy a perspektivy* [online]. 2009 [cit. 2012-05-20]. ISSN 1802-4599. Dostupné z: http://www.pro-energy.cz/clanky11/pe_cislo11.pdf
- [33] Sbíрка řešených úloh z fyziky: Elektřina a magnetismus. *Elektrolytický rozklad vody* [online]. 2011 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://fyzikalniulohy.cz/uloha.php?uloha=161>
- [34] *Hythane Company LLC* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://hythane.net/>
- [35] International conference of Czech and Slovak Universities' Departments and Institutions Dealing with the Research of Combustion Engines. In: BLAŽEK, Josef, Celestýn SCHOLZ a Michael FENKL. *Hythane - ecological fuel for combustion engine* [online]. 2006 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2006/2006_090_01.pdf
- [36] GAUTAM. Goa On Wheels. *Ashok Leyland develops Hythane engines* [online]. 2009 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://goaonwheels.com/auto-tech/ashok-leyland-develops-hythane-engines/>
- [37] Autoblog: Green. BLANCO, Sebastian. *San Francisco airport shuttles will run on Hythane, a hydrogen and natural gas blend* [online]. 2007 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://green.autoblog.com/2007/12/08/san-francisco-airport-shuttles-will-run-on-hythane-a-hydrogen-a/>
- [38] Eltis. GRAHN, Maria. *Hythane - a mixture of H₂ and CNG for use in public transportation buses in Malmö* [online]. 2009 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.eltis.org/index.php?id=13&study_id=2573
- [39] Green Car Congress. COLLINS, Fort. *Expanding Hythane (HCNG) Trials* [online]. 2005 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.greencarcongress.com/2005/08/ort_collins_exp.html
- [40] Eden Energy India Pvt Ltd: Products. *Hythane® - The transitional fuel* [online]. 2011 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://edenenergy.co.in/hythane.html>
- [41] TÜV. *Ford E-450 shuttle bus* [online]. 2004 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <https://www.netinform.de/H2/H2Mobility/H2MobilityMain.aspx?ID=241&CATID=2>
- [42] Green Big Truck. TURPEN, Aaron. *Ashok Leyland to Build CNG-Hydrogen Bus* [online]. 2010 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://greenbigtruck.com/2010/06/ashok-leyland-to-build-cng-hydrogen-bus/>
- [43] Fuel Cells. *International Hydrogen Fueling Stations* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.fuelcells.org/wp-content/uploads/2012/02/h2fuelingstations-world1.pdf>
- [44] Automotoportál. *Volvo multi-fuel prototype car* [online]. 2006 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.automotoportal.com/article/Volvo_multi-fuel_prototype_car_-_optimised_for_five_different_fuels



- [45] Hythane Company LLC. *Hythane®* [online]. 2006 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:QiAVGhl6U4IJ:www.edenenergy.com.au/pdfs/20061101%2520Hythane%2520presentation.pdf+braunschweig+city+bus+hythane&hl=cs&gl=cz&pid=bl&srcid=ADGEEESiQdiIYCqDKAbunM159OpLMWAspxn-kuu1pQPzB60CaGiXsHGLex4805azwM911hFdiGP6mCTNW115vJgfLFEQwLsqvemTrHep1jT9aD-H5K9J_IJ4qCSupLFZyuixCJPsA13y&sig=AHIEtbSgKGP-LgJDYL4mC-aAvq6OvoHZ6w
- [46] JANÍK, Luděk a Petr DLOUHÝ. IDNES.cz: Technet. In: *Jak se vyrábí palivo budoucnosti. Vodík pro auta i elektroniku* [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-tec_tec_technika.aspx?c=A080127_234744_tec_technika_vse
- [47] *Česká vodíková technologická platforma* [online]. 2006 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://hytep.cz/?loc=text&id=18>
- [48] Carmotor.cz: Magazín. *BMW Hydrogen 7* [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.carmotor.cz/magazin/pages/BMW-Hydrogen-7,719.html>
- [49] NGVA. *Mapa čerpacích stanic CNG v ČR* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.ngva.cz/cz/mapa/mapa-cerpacich-stanic-cng-v-cr>
- [50] Stanice CNG. *VW Passat TSI EcoFuel* [online]. 2009 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.stanicecng.cz/index.php?page=vw-passat-ecofuel>
- [51] CNG 4 you. *Statistiky* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/statistiky.html>
- [52] *Seznam LPG stanic v ČR* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://seznamlpg.cz/>
- [53] KÁŇA, Leoš. Peníze: Jezděte na plyn: Přehled aut na trhu. *Svět motorů*. Praha: Svět motorů, 2012, roč. 66, č. 6, s. 14-15. ISSN 0039-7016.
- [54] Hybrid.cz: Testy. HORČÍK, Jan. *Test Škoda Octavia 1.6 LPG* [online]. 2010 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/test/skoda-octavia-lpg-16-mpi>
- [55] MACEK, Jan a Bohuslav SUK. *Spalovací motory I*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2003, 244 s. ISBN 80-010-2085-1.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|--------------------------------|--|
| Ar | argon |
| BMM | Bosch Mono Motronic – jednobodové vstřikování |
| C ₃ H ₈ | propan |
| C ₄ H ₁₀ | butan |
| CNG | Compressed Natural Gas – stlačený zemní plyn |
| CO | oxid uhelnatý |
| CO ₂ | oxid uhličitý |
| EOBD | European On Board Diagnostic – evropská palubní diagnostika |
| FSI | Fuel Stratified Injection – elektronicky řízené přímé vstřikování |
| GH ₂ | stlačený vodík |
| H ₂ | molekula vodíku |
| H ₂ CO ₃ | kyselina uhličitá |
| H ₂ O | voda, nebo vodní pára |
| H ₂ S | sulfan |
| H ₂ SO ₄ | kyselina sírová |
| HC | uhlovodíky |
| HCl | kyselina chlorovodíková |
| HCNG | směs CNG – stlačeného zemního plynu a H - vodíku |
| HF | kyselina fluorovodíková |
| HHO | obsahuje 2 atomy vodíky a 1 atom kyslíku – plynný produkt elektrolýzy |
| HI | kyselina jodovodíková |
| CH ₄ | metan |
| I ₂ | molekula jódu |
| KOH | hydroxid draselný |
| LH ₂ | zkapalněný vodík |
| LNG | Liquefied Natural Gas – zkapalněný zemní plyn |
| LPG | Liquefied Petroleum Gas – zkapalněný ropný plyn |
| MAP senzor | The Manifold Absolute Pressure senzor – absolutní snímač tlaku v sacím potrubí |
| MPI | Multi Point Injection – vícebodové vstřikování |
| N | dusík |
| NaCl | chlorid sodný |



| | |
|-----------------|--|
| NG | Natural Gas – zemní plyn |
| NGV | Natural Gas Vehicle – vozidla poháněná zemním plynem |
| NO ₂ | oxid dusičitý |
| NO _x | oxidy dusíku |
| O ₂ | molekula kyslíku |
| O ₃ | ozón |
| OBD II | On Board Diagnostic – palubní diagnostika od roku 1996 v USA |
| ppm | Parts Per Million – miliontina |
| SO ₂ | oxid siřičitý |