

Současnost a budoucnost plyných automobilových paliv v ČR

Josef Laurin, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17 Liberec,
e-mail josef.laurin@tul.cz

Souhrn

The expectations that economically recoverable deposit of crude oil, i.e. the feedstock for producing the conventional motor fuels, diesel and petrol, will be depleted during the 21st century motivate major engine and vehicle manufacturers to develop alternative vehicle driving systems, these also include spark ignitron gas engines in addition to hybrid and electric engines. The contribution briefly describes the key gaseous motor fuels, i.e. natural gas, LPG and hydrogen, and their properties, methods for their storing in vehicles, and the sources, production, distribution and market prices of these fuels, including their expansion in the Czech Republic.

1. Úvod

Předpoklad, že během 21. století budou ekonomicky těžitelná ložiska ropy, tj. suroviny pro výrobu klasických automobilových paliv nafty a benzínu, převážně vyčerpána, motivuje významnější výrobce motorů a vozidel k vývoji alternativních pohonů vozidel, ke kterým vedle hybridních a elektrických patří i zážehové motory na plyná paliva.

Tabulka 1. Vlastnosti plyných automobilových paliv a cena paliv (únor 2016) u čerpacích stanic v ČR přepočtená na 1 kWh energie obsažené v palivu. *) při $\lambda=1,5$, **) CNG, *) cena CH₂ u plnicí stanice v Neratovicích**

Parametr/palivo	Benzin BA95	Motor. nafta	Zemní plyn	LPG	Vodík
Hustota kapaliny při 15°C (kg.m ⁻³)	745	822	415	540	70,7
Hustota plynu při 15°C (kg.m ⁻³)			0,70	2,32	0,09
Výhřevnost (kWh. kg ⁻¹)	11,86	11,80	13,58	12,8	33,2
Oktanové číslo - výzkum. metoda	95		125	100	93 *)
Cena energie (Kč.kWh ⁻¹)	3,04	2,58	1,87 **)	1,95	7,50 ***)

Príspevek se zabývá plynými automobilovými palivy: zemním plynem uloženým ve vozidle jako stlačený (CNG = Compressed Natural Gas), nebo zkapalněný (LNG = Liquefied Natural Gas), zkapalněnými ropnými plyny (LPG = Liquefied Petroleum Gases) a vodíkem uloženým ve vozidle jako stlačený (CH₂ = Compressed Hydrogen), nebo zkapalněný (LH₂ = Liquefied Hydrogen). Uvedeny jsou různé způsoby použití plyných paliv k pohonu automobilů a rozsah jejich současného a podle představ autora i budoucího využití v ČR. Základní vlastnosti plyných paliv a současné ceny energie obsažené v palivech uvádí tabulka 1.

2. Zemní plyn

Hlavní složkou zemního plynu je metan, jeho obsah v plynu z různých míst těžby je v rozmezí od 80 do 99 %. Do ČR je přiváděn ruský plyn s obsahem přibližně 97 až 98 % obj. metanu, norský plyn obsahuje přibližně 85 % obj. metanu. Dalšími složkami zemního plynu jsou vyšší uhlovodíky, dusík a oxid uhličitý a stopově další plyny.

Zemní plyn je vhodným palivem zejména pro zážehové motory. Jak je patrné z tabulky 1, má zemní plyn vysokou výhřevnost a vysokou odolnost proti klepání – oktanové číslo měřené výzkumnou metodou přibližně 125. Při jeho spalování vzniká méně skleníkových plynů než při spalování benzínu.

Vozidlové zážehové motory na zemní plyn spalují zpravidla stechiometrickou palivovou směs a pomocí tříšložkového katalyzátoru se snižují plynné výfukové škodliviny oxid uhelnatý, uhlovodíky a oxidy dusíku.

Zemní plyn může být použit i pro vznětové motory, u nichž se pod vysokým tlakem vefukuje přímo do válců motoru a zapaluje se vstřikem malé dávky nafty. Jedná se o vznětový pracovní oběh označovaný HPDI (High Pressure Direct Injection), u kterého se dosahuje vyšší celkové účinnosti motoru než u motoru zážehového.

CNG se na vozidlech přechovává zpravidla v tlakových nádobách dimenzovaných na pracovní tlaky 20 až 35 MPa. LNG se při teplotě přibližně minus 155 °C přechovává v kryogenních nádržích.

Hlavními přednostmi použití zemního plynu jako automobilového paliva v porovnání s benzinem a naftou jsou z obecného pohledu úspory ropy, menší zatížení životního prostředí škodlivými výfukovými emisemi, nižší produkce oxidu uhličitého a nižší cena zemního plynu. Z hlediska vzniku a průběhu požáru při havárii vozidla je zemní plyn v porovnání s benzinem a s tekutými rafinérskými plyny díky svým fyzikálním vlastnostem (zejména vysoká teplota zapálení, nižší měrná hmotnost než vzduch) relativně bezpečným palivem.

Jako nevýhody zemního plynu lze uvést zejména vyšší ceny vozidel s hmotnějšími palivovými nádržemi a v případě CNG kratší dojezd, v ČR řídkou síť plnicích stanic a zákaz parkování vozidel v podzemních hromadných garážích. Vyšší jsou nároky na servis vozidel.

Zemní plyn se vzhledem ke svým motorářským vlastnostem v současnosti jeví jako perspektivní alternativa k benzinu a naftě, viz údaje uvedené v tabulce 1. Prokazatelné ekonomicky těžitelné světové zásoby zemního plynu mají mít životnost přibližně 55 let [1], pravděpodobné zásoby až 130 let [2]. Dalšími zdroji metanu mohou být hydráty nacházející se pod dny oceánů a plyn získávaný z břidlic.

2.1 CNG

Počátky využití zemního plynu pro vozidlové motory na území ČR spadají do doby druhé světové války, kdy byl stlačený zemní plyn používán k pohonu motorových vozidel na jižní Moravě, kde se nacházely čtyři plnicí stanice. Koncem března 2015 bylo v ČR 80 veřejných plnicích stanic CNG a v provozu na CNG více než 8 tisíc vozidel, z tohoto počtu přibližně 520 autobusů.

Podle směrnice Evropského parlamentu a Rady o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva [3] by na hlavních evropských komunikacích v zemích EU měly být do roku 2025 vybudovány plnicí stanice tak, aby průměrná vzdálenost mezi nimi byla nejvýše 150 km.

Většina zejména osobních vozidel na CNG vznikla dodatečnou úpravou vozidel s původně benzinovými motory. Vozidla umožňující provoz na CNG a benzin vyrábí řada automobilek. K nejvýznamnějším v Evropě patří Volkswagen, Daimler (Mercedes-Benz), Fiat, Opel, Iveco a Renault. Škoda Auto od roku 2013 dodává na trh osobní automobil Citigo CNG s tříválcovým motorem, objem válců 1 litr, výkon 50 kW, nádrž na 12 kg CNG a nádrž na 10 litrů benzínu, dojezd 340 km na CNG a 220 km na benzin. Dalším automobilem Škoda Auto na CNG je Škoda Octavia G-TEC s přeplňovaným motorem 1,4 TSI o výkonu 81 kW, nádrž na 15 kg CNG a nádrž na 50 litrů benzínu, dojezd na CNG 410 km a 920 km na benzin.

Autobusy na CNG vyrábějí v ČR firmy SOR Libchavy a IVECO Česká republika. Ministerstvo životního prostředí ČR v příštích letech podpoří nákup autobusů městské dopravy na CNG dotací ve výši jedné miliardy Kč.

2.2 LNG

LNG je bezbarvá kapalina, která má při atmosférickém tlaku teplotu minus 160 °C a zaujímá zhruba 570krát menší objem než zemní plyn v plynné fázi, což je významná výhoda pro jeho uskladnění na vozidlech v kryogenních nádržích, v nich se LNG přechovává při teplotě v rozmezí minus 160 až minus 150 °C. Nádrže bývají konstruovány na maximální provozní přetlak do 0,8 MPa a musí mít velmi dobrou tepelnou izolaci. Kvalita izolace je rozhodující pro množství odpařeného plynu, a tedy i pro tzv. dobu zádrže, za kterou vzroste tlak v nádrži na nejvyšší přípustnou hodnotu, při níž pojistný ventil vypustí z nádrže část plynné fáze a tlak poklesne. Doba zádrže bývá delší než týden.

V současné době není v ČR žádná plnicí stanice LNG. V Evropě jezdí na LNG pouze několik set vozidel, převážně těžkých nákladních automobilů nebo autobusů ve Velké Británii, Norsku, Rusku, Španělsku a v Polsku.

Problematické je využití LNG jak pro vysokou energetickou náročnost zkapalňování, tak pro skladování za velmi nízkých teplot. Zemní plyn je v některých místech těžby zkapalňován a loděmi dopravován do přijímacích terminálů, odkud je možná jeho doprava k plnicím stanicím ve vnitrozemí zpravidla po silnici nebo po železnici. Podle směrnice Evropského parlamentu a Rady [3] by na hlavních evropských komunikacích v zemích EU měly být do roku 2030 vybudovány plnicí stanice tak, aby průměrná vzdálenost mezi nimi byla nejvýše 400 km. Otázkou zůstává efektivita používání LNG pro pohon silničních vozidel, a tudíž i efektivita případného budování sítě plnicích stanic.

3. Zkapalněné ropné plyny

Zkapalněné ropné plyny – LPG použitelné jako automobilová paliva jsou uhlovodíky, hlavně propan a butan, s malým podílem dalších uhlovodíků, např. etanu, pentanu, butenu, pentenu a sloučenin síry. Zkapalněné ropné plyny se získávají jako vedlejší produkt při zpracování ropy v rafineriích, proto je produkce LPG limitována světovými zásobami ropy.

Vlastnosti LPG by měly vyhovovat ustanovením „ČSN EN 589 Motorová paliva – Zkapalněné ropné plyny (LPG) - Technické požadavky a metody zkoušení“. Hlavní parametry palivové směsi složení 50 % propanu a 50 % butanu uvádí tabulka 1. Oktanové číslo závisí na poměru propanu a butanu v LPG - pro čistý propan je jeho hodnota 112. Palivo LPG se používá hlavně pro zážehové motory osobních automobilů. Původní benzinový motor se doplní plynovým palivovým příslušenstvím a motor pak lze provozovat jednak na LPG, jednak na benzin. Při spalování LPG v motorech vzniká méně skleníkových plynů než při spalování benzínu.

Při atmosférickém tlaku 101 kPa je bod varu propanu minus 42,5 °C a n-butanu minus 0,6 °C. Tlak nasycených par LPG závisí na jejich složení a teplotě. Zkapalněním ropných plynů na LPG se jejich objem zmenšuje zhruba 260krát. Uchovávají se pod tlakem v nádržích dimenzovaných na maximální pracovní tlak 2,4 MPa. Páry LPG mají vyšší hustotu než vzduch a v případě úniku z plynového příslušenství vozidla se shromažďují na nejnižších místech, se vzduchem tvoří výbušnou směs a hrozí nebezpečí vzniku požáru. Vozidla provozovaná na LPG nelze garážovat v podzemních garážích.

Vozidla na LPG bývají získávána obvykle dodatečnou přestavbou automobilů s benzinovými motory. Evropští výrobci automobilů zpravidla vozidla na LPG sériově nevyrábějí. V současné době je v ČR v provozu přibližně 250 tis. vozidel na LPG. V devadesátých letech minulého století byl v dopravním podniku měst Mostu a Litvínova zaveden provoz městských autobusů na LPG. Poslední z původního počtu 89 autobusů KAROSA s motory na LPG byl vyřazen v roce 2015.

4. Vodík

Vodík je nejčastěji se vyskytujícím prvkem nejen na Zemi, ale i v celém vesmíru. Pouze 1 % celkového množství na Zemi se vyskytujícího vodíku však představuje plynný vodík. Prakticky nevyčerpatelné jsou zásoby vodíku ve vodě, významně je zastoupen i ve fosilních palivech. Vodík se v průmyslovém měřítku nejčastěji vyrábí buď petrochemickými postupy a zplynováním uhlí, nebo elektrolýzou vody. Výchozí surovinou při petrochemických postupech a zplynování mohou být ropa, zemní plyn, uhlí, biomasa.

Nízkoteplotní elektrolýzou vody se v současné době vyrábí jen asi 4 % světové produkce vodíku. Spotřeba energie na elektrolýzu 1 kg vodíku bývá zhruba 50 kWh. Při vysokoteplotní elektrolýze, tj. technologii vhodné pro pokročilé jaderné reaktory (parní elektrolýza), se může dosáhnout celkové účinnosti až 45 %.

Pohon vozidla může být skutečně vodíkovým spalovacím motorem, elektromotory napájenými elektřinou z vodíkových palivových článků nebo kombinací obou způsobů. V porovnání s automobilovými palivy pro zážehové motory, např. benzinem, zemním plynem, případně LPG, má vodík následující výrazněji odlišné vlastnosti: velmi široké rozmezí zápalnosti palivové směsi vodíku se vzduchem, vysokou rychlost hoření směsi a nižší odolnost proti klepání. Palivová směs vodíku se vzduchem neobsahuje uhlík, takže se ve výfukových plynech nevyskytuje oxid uhličitý, oxid uhelnatý ani uhlovodíky. Z legislativně limitovaných plynných škodlivin jsou ve výfukových plynech vodíkového spalovacího motoru pouze oxidy dusíku.

V roce 1989 začala americká společnost Hythane Company LLC zkoumat možnost využití směsí zemního plynu s vodíkem pro zážehové motory. Automobilová paliva - směsi zemního plynu s 10 - 30 % obj. vodíku označované jako „hythane“ - nenalezla v Evropě uplatnění.

V palivovém článku probíhá reakce vodíku s kyslíkem ze vzduchu, při které vzniká voda, elektrická energie a teplo. Stejnoseměrný proud z palivových článků se v měniči mění na střídavý a přivádí se do třífázového elektromotoru pohánějícího vozidlo. Elektrická účinnost palivových článků dosahuje až 60 % a celková účinnost systému palivových článků s elektromotorem je vyšší než účinnost spalovacího motoru. Pohony s palivovými články nenalezly dosud u vozidel širšího uplatnění hlavně pro svoji vysokou cenu. Nelze vyloučit, že těmto pohonům bude časem dána přednost před spalovacími motory.

Vzhledem k nízké hustotě vodíku je jeho uložení na vozidlech obtížnější než v případě zemního plynu. Může být použit některý z následujících způsobů: stlačený plynný vodík v tlakových nádržích buď ocelových, nebo kompozitových při tlacích až do 75 MPa, zkapalněný vodík v kryogenních nádržích při teplotách přibližně minus 250 °C a nízkém provozním tlaku, např. do 0,6 MPa, vodík v nádržích vázaný v hydridech slitin kovů a vodík adsorbovaný na povrchu grafitových nanotělísek v nádrži při relativně nízkém tlaku.

Ve světě se každoročně realizuje řada demonstračních projektů osobních automobilů, autobusů i nákladních vozidel s vodíkovými pohony, v posledních letech jde o pohony téměř výhradně s palivovými články a elektromotory. Konsorciem pod vedením ÚJV Řež, a.s., byl v letech 2007 až 2009 vyvinut a vyroben městský autobus s pohonem vodíkovými palivovými články TriHyBus [4], který je nyní využit k městské hromadné dopravě v Neratovicích, kde byla vybudována první vodíková plnicí stanice v ČR. Do konce roku 2020 by podle směrnice Evropského parlamentu a Rady o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva měl být v ČR dostatečný počet veřejných plnicích stanic vzdálených od sebe nejvýše 300 km.

Automobilky Toyota, Hyundai, Nissan, General Motors a v Evropě Daimler mají ambiciózní záměr sériově vyrábět automobily s pohonem elektromotory a palivovými články již po roce 2015. Volkswagen vzhledem k vysokým cenám palivových článků s vývojem vozidel na vodík nespěchá.

5. Závěr

Zdá se být pravděpodobné, že s budoucím výraznějším snižováním objemu výroby a zvyšováním cen klasických automobilových paliv ropného původu benzínu a motorové nafty budou pohony automobilů orientovány především na zážehové motory spalující zemní plyn. Ve vzdálenější budoucnosti by se mohly uplatnit pohony se zážehovými spalovacími motory na vodík a dále i na pohony s vodíkovými palivovými články a elektromotory.

Jednu z možností vývoje uplatňování plynných paliv v silniční dopravě v ČR do roku 2030, nezohledňující vliv budoucích nepředvídaných politických rozhodnutí, představují údaje v tabulkách 2 a 3. Tabulka 2 uvádí počty vozidel a tabulka 3 počty plnicích stanic v ČR v prosinci 2015 a počty očekávané v letech 2020 – 2030.

Tabulka 2. Počty vozidel s pohonem na plynná paliva v ČR do roku 2030

Palivo/ Roky	2015	2020	2025	2030
LPG	250 tis.	250 tis.	240 tis.	230 tis.
CNG	12 tis.	28 tis.	55 tis.	85 tis.
LNG	0	20	80	200
Vodík	1	20	170	450

Tabulka 3. Počty plnicích stanic na plynná paliva v ČR do roku 2030

Palivo/ Roky	2015	2020	2025	2030
LPG	850	750	700	650
CNG	106	160	200	230
LNG	0	3	6	8
Vodík	1	4	6	15

Literatura

- [1] BP Statistical Review of World Energy 2013. Dostupné na: <http://www.bp.com>.
- [2] Weis, Ivan. Zemný plyn – naša energia. *Slovgas*, 1/2013, s. 7.
- [3] Směrnice Evropského parlamentu a rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva.
- [4] TriHyBus - Vodíkový autobus s palivovými články. Dostupné na: <http://www.h2bus.cz/>.
- [5] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Národní akční plán čisté mobility (NAP CM)* schválený vládou ČR dne 20.11.2015.
- [6] Laurin, Josef. Plynná motorová paliva pro silniční vozidla v ČR. *Paliva*. Praha: Fakulta technologie ochrany prostředí Vysoké školy chemicko-technologické v Praze. 2014, roč. 6, č. 3, str. 73 - 77, ISSN 1804-2058.