

PLYNNÁ MOTOROVÁ PALIVA PRO SILNIČNÍ VOZIDLA V ČR

Josef Laurin

Katedra vozidel a motorů, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17 Liberec,
e-mail: josef.laurin@tul.cz

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 plynná paliva. Článek stručně informuje o nejvýznamnějších plynných automobilových palivech - zemním plynu, tekutých rafinerských plynech a vodíku. Uvádí různé způsoby použití plynných paliv k pohonu automobilů a rozsah jejich současného a očekávaného budoucího využití v ČR.

Klíčová slova: plynná motorová paliva, silniční vozidla

Došlo 20. 8. 2014, přijato 17. 9. 2014

1. Úvod

Vedle klasických paliv - nafty a benzínu lze k pohonu automobilů použít mj. též plynná paliva. V úvahu připadají hlavně: zemní plyn, uložený ve vozidle buď stlačený - CNG (Compressed Natural Gas), nebo zkapalněný - LNG (Liquefied Natural Gas), zkapalněné ropné plyny označované jako LPG (Liquefied Petroleum Gases) a vodík uložený ve vozidle buď stlačený - CH₂ (Compressed Hydrogen), nebo zkapalněný - LH₂ (Liquefied Hydrogen).

Vozidlové motory na plynná paliva se zpravidla nevyrobějí jako motory speciální konstrukce. Využívá se sériově vyráběných benzinových nebo naftových motorů, u kterých se provedou potřebné úpravy a jejich vybavení plynovým palivovým příslušenstvím. U benzinových motorů nejčastěji tak, aby umožňovaly provoz jak na plyn, tak na benzin, motory autobusů a těžkých užitkových vozidel se přestavují na zážehové a pak se provozují pouze na plynné palivo. Motory mohou být nepřepřlňované i přepřlňované, spalují buď stechiometrickou palivovou směs, nebo chudou palivovou směs.

Článek podává stručné informace o plynných automobilových palivech, o jejich vlastnostech, způsobech uložení na vozidlech, o jejich zdrojích, výrobě a distribuci, tržních cenách a o rozsahu jejich uplatnění v automobilové dopravě v ČR. Údaje v tabulkách 2 a 3 ukazují autorovy představy o budoucím časovém vývoji použití plynných paliv v automobilové dopravě v ČR do

roku 2030. Uvedeny jsou jednak počty vozidel s pohonem na plynná paliva, jednak počty plnicích stanic. Údaje neberou v úvahu vliv budoucích nepředvídaných politických rozhodnutí.

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 98 % obj. metanu [3], norský plyn obsahuje přibližně 85 % obj. methanu [3]. Dalšími složkami zemního plynu jsou vyšší uhlovodíky, dusík a oxid uhličitý a stopové další plyny.

Zemní plyn je vhodným palivem pro zážehové motory. Jak je patrné z tabulky 1, má zemní plyn s obsahem 99 % methanu vysokou výhřevnost a vysokou odolnost proti klepání – oktanové číslo VM přibližně 125, methanové číslo 100. Při jeho spalování v motorech vzniká méně skleníkových plynů než při spalování benzínu.

Zážehové motory na zemní plyn spalují buď stechiometrickou palivovou směs a plynné výfukové škodliviny, jako např. oxid uhelnatý, nespálené uhlovodíky a oxidy dusíku se snižují pomocí třísložkového katalyzátoru, nebo spalují chudou palivovou směs a produkují relativně málo oxidů dusíku. Oxid uhelnatý a nespálené uhlovodíky se pak snižují oxidací v oxidačním katalyzátoru.

Tab. 1 Vlastnosti plynných automobilových paliv a cena (srpen 2014) paliv u čerpacích stanic v ČR přepočtená na 1 kWh energie obsažené v palivu.

Parametr	Benzin	Motorová 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 (VM)	95		125	100	93 (při λ=1,5)
Cena energie (Kč.kWh ⁻¹)	4,14	3,71	1,95 (CNG)	2,53	7,50*)

*) cena u plnicí stanice v Neratovicích

Zemní plyn může být použit i pro vznětové motory, kdy se pod vysokým tlakem vstříkuje přímo do válců motoru a zapaluje se vstříkem 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.

Při vývoji vozidel s pohonem na plynná paliva se podobně jako v případě vývoje plynových motorů vychází z původní konstrukce vozidla. Těžištěm potřebných úprav vozidla je instalace palivových nádrží. Nádrže na CNG bývají dimenzovány zpravidla na pracovní tlaky 20 až 35 MPa. LNG se při teplotě přibližně -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 je zemní plyn v porovnání s benzinem a s tekutými rafinerními 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 těžšími palivovými nádržemi a v případě CNG kratší dojezd, v ČR řídkou sítí plnicích stanic a zákaz parkování vozidel na CNG 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. Prokazatelně ekonomicky těžitelné světové zásoby zemního plynu mají mít životnost přibližně 55 let [1], pravděpodobně zásoby až 130 let [2-5]. Dalšími zdroji metanu mohou být hydráty nacházející se pod dny oceánů a plyn získávaný z břidlic.

3. 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. Po dlouhé přestávce začal být v osmdesátých letech minulého století používán pro pohon vozidel CNG z plnicí stanice v Horní Suché u Havířova. V současné době je v ČR 55 veřejných plnicích stanic CNG a v provozu na CNG více než 7 tis. vozidel, z tohoto počtu přibližně 500 autobusů. V Evropě je dnes na CNG provozováno přibližně 1,85 milionů vozidel a je zde více než 4 tisíce plnicích stanic [6].

Podle návrhu směrnice Evropského parlamentu a Rady o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva 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 [7].

Většina zejména osobních vozidel na CNG vznikla dodatečnou úpravou vozidel s původně benzinovými

motory. Vozidla pro provoz na CNG a benzin vyrábí řada automobilek. K nejvýznamnějším v Evropě patří Volkswagen, Daimler (Mercedes-Benz), Fiat, Opel, Iveco a Renault [8]. Škoda Auto dodává na trh od roku 2013 osobní automobil Citigo CNG s tříválcovým motorem na CNG, objem válců 1 litr, výkon 50 kW, emise oxidu uhličitého 79 g.km⁻¹, nádrž na 12 kg CNG a nádrž na 10 litrů benzínu, spotřeba zemního plynu 4,4 m³.100 km⁻¹, dojezd 340 km na CNG a 220 km na benzin [9]. 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, kombinovaná spotřeba CNG je 3,5 kg/100 km, dojezd na CNG 410 km a 920 km na benzin [10].

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

4. 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 nichž 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. U většiny plynových motorů vybavených běžným plynovým palivovým příslušenstvím je potřebné přivádět k motoru zemní plyn o určitém minimálním tlaku.

V ČR byl koncem minulého století ve spolupráci Výzkumného ústavu zemědělské techniky Praha, ATEKO, s.r.o., Hradec Králové a Technické univerzity v Liberci vyroben funkční vzorek traktoru Zetor s pohonem LNG. V současné době není v ČR žádný zdroj paliva LNG. Na LNG jezdí v Evropě pouze několik set vozidel, převážně těžkých nákladních automobilů tahačů nebo autobusů ve Velké Británii, Norsku, Rusku, Španělsku a Švédsku. V polském městě Walbrzych je v provozu několik autobusů Solcity 12 NG s motory na LNG, vyrobených polskou firmou Fabryka Autobusów Solbus, další autobusy Solbus provozují dopravní podniky ve Varšavě a Olsztynu.

Problematické je využití LNG jak pro vysokou energetickou náročnost zkapaňování, tak skladování za velmi nízkých teplot. Zemní plyn je v některých místech těžby zkapaňován a loděmi dopravován do přijímacích terminálů, odkud je možná jeho doprava k plnicím stanicím ve vnitrozemí zpravidla po silnici nebo po železnici. Podle návrhu směrnice Evropského parlamentu a Rady [7] 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 plynových stanic.

5. Zkapalněné ropné plyny

Zkapalněné ropné plyny - LPG, použitelné jako automobilová paliva, jsou uhlovodíky, hlavně propan a butan, s malým podílem dalších uhlovodíků, např. ethanu, 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. Přestavby vznětových motorů pro provoz na LPG byly v minulosti prováděny nejčastěji u autobusů.

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. Např. při teplotě 20 °C je tlak nasycených par LPG složení 50 % propanu a 50 % butanu přibližně 570 kPa. 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. Při expanzi kapalného LPG do atmosféry dochází k silnému ochlazení par až na hodnoty minus 40 °C.

Vozidla na LPG bývají získávána obvykle dodatečnou přestavbou automobilů s benzinovými motory. Evropská výroba automobilů vozidla na LPG sériově nevyrábějí. V roce 2001 bylo ve 12 evropských zemích provozováno 1400 autobusů poháněných LPG. Největším provozovatelem městských autobusů na LPG byl vídeňský dopravní podnik, který měl 450 autobusů na LPG, ale vzhledem k tomu, že se autobusy na LPG již v Evropě nevyrábějí, přešel zpět na autobusy s naftovými motory. V ČR byl zaveden provoz městských autobusů na LPG v devadesátých letech minulého století v dopravním podniku měst Mostu a Litvínova. Z původních 89 autobusů KAROSA s motory na LPG je jich nyní v provozu jen 22 a dopravce přechází na autobusy s naftovými motory.

Zdroje LPG připadající v úvahu v podmínkách ČR zahrnují nejen produkci tuzemských rafinerských a petrochemických výroby, ale i dovozy ze zahraničí.

6. 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 elektrolyzou vody. Výchozí surovinou při petrochemických postupech a zplyňování mohou být ropa, zemní plyn, uhlí, biomasa.

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

Pohon vozidla může být uskutečněn 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. Pro snížení oxidů dusíku redukcí pomocí redukčního katalyzátoru není ve výfukových plynech potřebný uhlík.

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

K uložení vodíku 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, např. v hydridu FeTiH_2 nebo Mg_2NiH_4 ,
- 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 [14]. Konsorciem pod vedením ÚJV Řež, a.s., byl v letech 2007 až 2009 vyvinut a vyroben městský autobus s pohonem vodíkovými palivovými články TriHyBus, který je nyní využit k městské hromadné dopravě v Neratovicích, kde byla vybudována první vodíková plnicí stanice v ČR [15]. Do konce roku 2020 by podle směrnice Evropského parlamentu a Rady o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva [7] 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.

7. Závěr

Zdá se být pravděpodobné, že s budoucím výraznějším snížením 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 plyných paliv v silniční dopravě v ČR do roku 2030, nezohledňující vliv budoucích nepředvídaných politických rozhodnutí, představují údaje v tabulkách 2 a 3.

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

Palivo	2010	2015	2020	2025	2030
LPG	250 tis.	250 tis.	250 tis.	240 tis.	230 tis.
CNG	2,5 tis.	10 tis.	28 tis.	55 tis.	85 tis.
LNG	0	5	20	80	200
Vodík	1	1	20	170	450

Tabulka 2 uvádí počty vozidel a tabulka 3 počty plnicích stanic v ČR v roce 2010 a počty očekávané v letech 2015 – 2030.

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

Palivo	2010	2015	2020	2025	2030
LPG	816	850	750	700	650
CNG	32	90	160	200	230
LNG	0	0	3	6	8
Vodík	1	1	4	6	15

Literatura

1. BP Statistical Review of World Energy 2013. Dostupné na: http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statisticalreview/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf, staženo 22. 7. 2014.
2. RWE. Zásoby zemního plynu. Dostupné na: <http://www.rwe.cz/cs/ozemnimplynu/zasoby-a-tezba-zp/>, staženo 22. 7. 2014.
3. Šebor, G., Pospíšil, M., Žákovec, J.: Technicko-ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě. Studie. VŠCHT Ústav technologie ropy a petrochemie. Praha, červen 2006.
4. Ungerman, J.: Trh se zemním plynem a hospodářská krize. Slovgas. 6/2010, s. 7.
5. Weis, I.: Zemní plyn – naša energia. Slovgas, 1/2013, s. 7.
6. Český plynárenský svaz. Statistika. Dostupné na: <https://www.cgoa.cz/>, staženo 22. 7. 2014.
7. Legislativní usnesení Evropského parlamentu ze dne 15. dubna 2014 o návrhu směrnice Evropského parlamentu a Rady o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. Dostupné na: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P7-TA-2014-0352+0+DOC+XML+V0//CS#top>, staženo 24. 6. 2014.
8. Užitéková auta CNG. Erdgas mobil. Nutzfahrzeuge. Dostupné na: <http://www.erdgas-mobil.de/flottenkunden/vielseitig/>, staženo 22. 7. 2014
9. Hrdlička, M.: CNG a Škoda-Auto. AUTOSYMPO 2013, Roztoky u Prahy, 30. - 31. říjen 2013 CD ROM.
10. Octavia G-TEC: Čistý pohon na CNG. Dostupné na: <http://www.skoda-auto.cz/news/2014-03-05-octavia-g-tec-cena>, staženo 22. 7. 2014.
11. Chrz, V. : Zavádění dopravy na zkapalněný zemní plyn (LNG). Trendy evropské dopravy . Praha 6. 6. 2013. Dostupné na: http://www.top-expo.cz/-domain/top-expo/files/ted-2013/prednasky-ted-2013/chrz_vaclav.pdf, staženo 22. 7. 2014.
12. Autobusy LNG w MPK Wałbrzych. Dostupné na: <http://gazeo.pl/cng-Ing/samochody-cng-Ing/autobusy-cng-Ing/Autobusy-LNG-w-MPK-Walbrzych,artykul,5686.html>, 22. 7. 2014.

13. Gazprom a Solbus uvádí autobusy na LNG do Varšavy a Olsztyna (Tisková zpráva z 8. 11. 2013). PLYN, 2014, s. 46.
14. TÜV SÜD: Wasserstoff-Fahrzeuge. Dostupné na: <http://www.netinform.de/H2/H2Mobility/Default.aspx>, staženo 22. 5. 2014.
15. TriHyBus - Vodíkový autobus s palivovými články. Dostupné na: <http://www.h2bus.cz/>, staženo 22. 7. 2014.

Summary

Josef Laurin

*Katedra vozidel a motorů, Technická univerzita
v Liberci. Studentská 2, 461 17 Liberec,*

Gaseous Motor Fuels for Road Vehicles in the Czech Republic

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.