

Palivo LNG pro vozidlové motory

Josef Laurin

Laboratoř výzkumného centra spalovacích motorů
a automobilů Josefa Božka
Technická univerzita v Liberci, 461 17 Liberec, ČR,
e-mail: josef.laurin@vslib.cz

Abstrakt

Mezi alternativní motorová plynná paliva patří též zkvalněný zemní plyn (LNG). Předložený článek informuje o problematice a podmínkách použití LNG k pohonu silničních vozidel se zaměřením na autobusy městské hromadné dopravy. Uvádí výsledky významnějších evropských projektů využití LNG v dopravě a všeobecné zkušenosti vyplývající z realizovaných projektů. Popsána jsou základní koncepční řešení zážehových motorů na zemní plyn a jejich konstrukční a provozní parametry. Charakterizovány jsou kryogenní palivové nádrže na LNG. Lze konstatovat, že pro širší uplatnění LNG jako motorového paliva je nutné mít k dispozici vhodné zdroje LNG za přijatelné ceny.

Klíčová slova: LNG, alternativní motorová plynná paliva

Abstract

Among alternative engine fuels belongs also liquified natural gas (LNG). The paper deals with problems and conditions of use LNG as vehicle motor fuel and is focused on city buses. Results of major european projects of LNG use in transportation and overall experiences from realized projects are stated. Basic conceptual solutions of natural gas spark ignition engines are described together with their construction and operating parameters. LNG cryogenic fuel tanks are characterized. For broader application of LNG as motor fuel, it is necessary to have LNG fueling stations and LNG sources for acceptable prices.

Key words: LNG, alternative gaseous motor fuels

ÚVOD

Vzhledem k současnému stavu světových zdrojů ropy lze očekávat, že ropné produkty motorová nafta a automobilový benzin budou alespoň do poloviny 21. století nejvýznamnějšími a převládajícími palivy pro vozidlové motory. Přesto bývají pro motory používána v některých případech i jiná, alternativní paliva, a to hlavně paliva plynná.

Z alternativních paliv použitelných pro vozidlové spalovací motory nacházejí nejčastější použití tekuté rafinérské plyny, označované jako LPG (liquefied natural gas), a stlačený zemní plyn, označovaný CNG (compressed natural gas). V malé míře bývá jako motorové palivo využíván zkvalněný zemní plyn - LNG (liquefied natural gas). Použití LNG u vozidlových motorů má v porovnání s CNG některé přednosti, zejména menší objem i hmotnost nádrží pro uskladnění stejného množství NG. Předpokladem využití LNG k pohonu vozidel je získání vhodného zdroje LNG a vhodný způsob jeho uskladnění na vozidle.

MOTOROVÉ PALIVO LNG

LNG je bezbarvá kapalina, která má při atmosférickém tlaku teplotu -160 až -162°C a zaujímá zhruba 570 krát menší objem než zemní plyn (dále NG) v plynné fázi, což je významná výhoda pro jeho uskladnění. Fyzikální vlastnosti LNG závisí na jeho složení. NG obsahuje podle místa těžby 80 až 99 % metanu, další uhlovodíky, dusík, oxid uhličitý, vodu a sloučeniny síry. Tabulka 1 uvádí fyzikální vlastnosti zkvalněného metanu. Zemní plyn dodávaný do ČR s.p. ČPP - Transgas obsahuje již delší dobu více než 98 % metanu. V tabulce jsou též parametry důležité z hlediska spalování metanu v zážehovém motoru, jako je stechiometrické množství vzduchu, teplota zapálení, rozmezí zápalnosti směsi paliva se vzduchem (dále palivové směsi) a antidetonační odolnost. Rozmezí zápalnosti palivové směsi je vymezeno hodnotami součinitele přebytku vzduchu palivové směsi pro její zapálení elektrickou jiskrou ve válci motoru. Antidetonační odolnost je vyjádřena oktánovým číslem zjišťovaným výzkumnou metodou.

Před zkvalněním musí být z NG odstraněny nežádoucí příměsi tak, aby jejich maximální množství nepřekračovalo hodnoty uvedené v tabulce 2.

MOTORY NA NG

Jako motory na LNG mohou být použity motory shodné s motory na CNG. Nejčastěji se používá zážehových motorů vybavených elektrickým zapalováním palivové směsi, která se vytváří ve směšovači před vstupem do válců motoru a je odměřována škrtkicí klapkou. Ke snížení množství škodlivých výfukových emisí slouží katalyzátor.

Konstrukce plynových vozidlových motorů bývají odvozeny od konstrukcí motorů původně naftových nebo benzinových. Při rekonstrukci přeplňovaného naftového motoru na motor plynový zážehový je nutné provést též konstrukční úpravy, které se dotknou hlavně hlav válců, pístů a sacího a výfukového traktu:

- hlava válců - původní otvory pro vstříkovače se upraví pro instalaci zapalovacích svíček,
- písty - za účelem snížení kompresního poměru a dosažení vhodného průběhu spalování se upraví spalovací prostor v pístech,
- sací trakt - upraví se pro instalaci směšovače, škrtkicí klapky, případně i chladiče plnicího vzduchu,
- výfukový trakt - do výfukového potrubí se instaluje katalyzátor.

Z hlediska bohatosti palivové směsi jsou v současné době používané motory přizpůsobeny pro spalování buď stechiometrických směsí, nebo chudých palivových směsí.

PALIVOVÁ SMĚS

Mezi důležité vlastnosti palivové směsi patří její bohatost a s ní úzce související další vlastnosti, tj. zápalnost, výhřevnost a antidetonační odolnost. Bohatost palivové směsi výrazně ovlivňuje průběh pracovního cyklu motoru a bývá vyjadřována pomocí součinitele přebytku vzduchu (λ).

NG lze v zážehových motorech spalovat v širokém rozmezí bohatostí palivových směsí, jako orientační hodnoty lze uvést $\lambda = 0,7$ až $1,7$. Volba bohatosti palivové směsi pro určitý motor se provádí s ohledem na správný průběh spalování v motoru (spalovací tlaky, detonační spalování) a na požadované provozní parametry motoru (výkon, úroveň škodlivých výfukových emisí, spotřeba paliva). Musí jí odpovídat některé konstrukční parametry motoru (zejména kompresní poměr, odolnost dílů vůči tepelnému zatížení) a jeho příslušenství (palivové příslušenství, elektrické zapalování, chladič soustava, turbodmychadlo, katalyzátor).

Tabulka 1.
Vlastnosti zkapalněného metanu

Parametr	Jednotka	Hodnota
Měrná hmotnost při bodu varu	kg.m ⁻³	415
Teplota bodu varu při 101,3 kPa	° C	- 161,4
Teplota bodu tuhnutí	° C	- 182,5
Výhřevnost stechiometrické směsi	MJ. kg ⁻¹	49,9
Plynová konstanta	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	518,8
Stechiometrické množství vzduchu	kg. kg ⁻¹	17,2
Zápalná teplota stechiometrické palivové směsi	° C	520
Rozmezí zápalnosti palivové směsi - lambda		0,7 až 1,9
Oktanové číslo - výzkumná metoda		130

Tabulka 2.
Přípustné množství nečistot v LNG

Příměsí	Jednotka	Množství
Voda	ppm obj.	1
Oxid uhličitý	ppm obj.	1000
Sloučeniny síry	mg.Nm ⁻³	30
Rtuť	mg.Nm ⁻³	10
Aromat. uhlovodíky	ppm obj	10

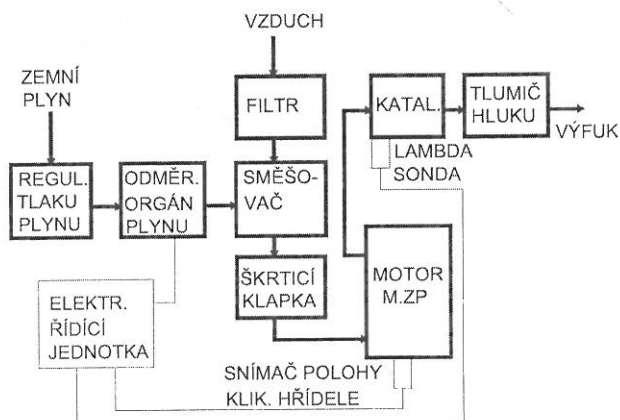
Vznik škodlivých výfukových emisí je významně ovlivněn mj. bohatostí palivové směsi. Při spalování směsi s vysokým přebytkem vzduchu, lambda vyšší než 1,4, jsou relativně nízké koncentrace NOx. Této skutečnosti využívá koncepce velmi chudých palivových směsí při většině provozních režimů chodu motoru. Jiný způsob, který se nabízí k výraznému snížení obsahu plyných škodlivin ve výfukových plynech, je spalování stechiometrické palivové směsi a oxidace CO a CH a redukce NOx v tříložkovém katalyzátoru.

Obě základní koncepce motorů, tj. motor spalující stechiometrickou palivovou směs a motor spalující chudou palivovou směs, budou ukázány na motorech Škoda Liaz, jejichž konstrukce vychází z původního naftového motoru Škoda Liaz ML 636.

MOTORY SPALUJÍCÍ STECHIOMETRICKOU PALIVOU SMĚS

Uspořádání nepřepřehovaného motoru spalujícího stechiometrickou palivovou směs je na obr. 1. NG přichází do regulátoru tlaku plynu a dále do směšovače, kde se tvoří palivová směs. Její množství přiváděné do motoru se ovládá škrticí klapkou. Prostřednictvím odměrného orgánu plynu se reguluje stechiometrická palivová směs při všech režimech chodu motoru. Ve výfukovém potrubí je instalován tříložkový katalyzátor. Udržování stechiometrické palivové směsi zajišťuje elektronická řídicí jednotka regulující množství plynu přiváděného do směšovače. Informaci o bohatosti palivové směsi dodává řídicí jednotce lambda-sonda měřící koncentraci kyslíku ve výfukových plynech. Elektrické napětí z lambda-sondy je funkcí koncentrace kyslíku ve výfukových plynech.

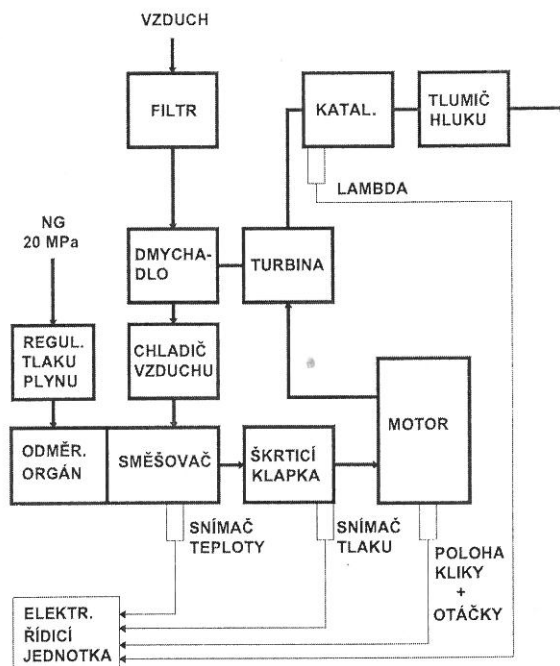
Pro dosažení vysoké účinnosti tříložkového katalyzátoru musí být palivová směs udržována v úzkém rozmezí součini-


Obr. 1. Nepřepřehovaný plynový zážehový motor spalující stechiometrickou palivovou směs.

tele přebytku vzduchu lambda = 0,995 až 0,999. V tomto rozmezí katalyzátor působením katalytického účinku platiny palladia a rhodia snižuje obsah plyných škodlivin ve výfukových plynech oxidací CO a CH a redukce NOx.

Motory spalující velmi chudou palivovou směs

Motory pracující s chudou palivovou směsí (lambda = 1,4 až 1,5) bývají pro dosažení dostatečného výkonu přeplňovány turbodmychadlem a vybaveny chladičem vzduchu, směšovač je umístěn za chladičem vzduchu. Schematické uspořádání motoru je na obr. 2. NG přichází do regulátoru tlaku plynu a dále do směšovače umístěného za chladičem plnicího vzduchu, kde se tvoří palivová směs. Její množství přiváděné do motoru se ovládá škrticí klapkou. Elektronická řídicí jednotka s regulátorem bohatosti palivové směsi udržuje prostřednictvím odměrného orgánu plynu potřebnou bohatost palivové směsi ve všech pracovních režimech motoru podle dat vložených do paměti mikropočítače. Ve výfukovém potrubí je instalován oxidační katalyzátor snižující koncentrace CO a nespálených HC ve výfukových plynech.


Obr. 2. Plynový zážehový motor přeplňovaný turbodmychadlem spalující chudou palivovou směs

KONSTRUKČNÍ A PROVOZNÍ PARAMETRY MOTORŮ NA NG

Motory spalující stechiometrickou palivovou směs bývají zpravidla nepřepřítňované a oproti motorům spalujícím chudou palivovou směs jsou často vybaveny pouze velmi jednoduchým a levným elektronickým řídicím systémem. Nevýhodou těchto motorů jsou poněkud vyšší teploty výfukových plynů a nižší celková účinnost.

Motory spalující chudou palivovou směs, zpravidla přepřítňované turbodmyčadlem, mohou dosáhnout vyšších výkonů než motory na stechiometrickou směs. Jejich nevýhodou je nutnost použití složitějšího elektronického řídicího systému, ale také vyšší obsah NO_x ve výfukových plynech než u motorů pracujících se stechiometrickou směsí. V tabulce 3 jsou uvedeny hlavní parametry autobusových motorů MAN, RENAULT a LIAZ.

Obsah plynných škodlivin, ale i obsah částic ve výfukových plynech motorů na NG je velmi nízký, což dokumentují údaje o motorech LIAZ v tabulce 4, ve které jsou též maximální přípustné hodnoty výfukových škodlivin podle předpisu EHK 49 (EURO 2) a hodnoty výfukových škodlivin srovnatelného naftového motoru.

PALIVOVÉ NÁDRŽE

Pro uskladnění LNG na vozidlech se používají kryogenní nádrže, ve kterých se LNG přechovává při teplotě v rozmezí -160 až -150° C. Nádrže bývají konstruovány na maximální provozní přetlak do 0,6 až 0,8 MPa a musí mít velmi dobrou tepelnou izolaci. Kvalita izolace je rozhodující pro množství odpařeného NG, a tedy i pro tzv. „dobu zádrže“, za kterou vzroste tlak v nádrži na max. přípustnou hodnotu, při níž pojistný ventil vypustí z nádrže část plynné fáze NG a tlak poklesne. U moderních konstrukcí nádrží může být „doba zádrže“ delší než týden. Izolace nádrží bývá tvořena velkým množstvím vrstev kovové folie, obvykle hliníkové. Jednotlivé vrstvy jsou od sebe odděleny např. tkaninou ze skelných vláken. Prostor s izolací je evakuován na tlak 10⁻² Pa. U většiny plynových motorů vybavených běžným plynovým palivovým příslušenstvím je potřebné přivádět k motoru plyn NG o určitém minimálním tlaku.

Kryogenní nádrže musí být vybaveny příslušenstvím, které je schopno plnit následující základní funkce:

- dodávku plynného NG do palivového příslušenství motoru o min. přetlaku, např. 0,2 MPa,
- přetlak v nádrži nesmí překročit maximální přípustnou hodnotu, např. 0,8 MPa,
- v případě vzrůstu přetlaku v nádrži na max. přípustnou hodnotu musí být část plynného NG z nádrže odvedena buď do motoru, nebo vhodně zlikvidována, např. oxidací v katalytickém reaktoru,
- doba zádrže musí být dostatečně dlouhá, aby vyhovovala časovému využití vozidla,
- bezproblémové a dostatečně rychlé plnění nádrží LNG.

Uvedené funkce zajišťují tepelný výměník (výparník), tlakové spínače, elektromagnetické ventily. V tabulce 5 jsou porovnány hmotnosti nádrže na naftu, kryogenní nádrže na LNG a tlakových nádrží na CNG jednak ocelových, jednak kompozitových pro běžný autobus MHD s motorem o výkonu 160 kW. Obsahy jednotlivých paliv v nádržích umožní dojezdy autobusů uvedené v tabulce.

Palivové nádrže se v autobusu umísťují zpravidla pod podlahu, u nízkopodlažních autobusů na střeche autobusu. Připevnění nádrží na CNG a na LPG k vozidlu musí splňovat podmínky stanovené předpisem EHK č. 67. Podmínky při-

Tabulka 3.

Hlavní parametry autobusových motorů (1, 11, 14, 16)

Motor		MAN E 2866 UH	Renault GDR A491 GAZ H	Liaz ML636 NGS	Liaz ML637 NG
Vrtání vál.	mm	128	120	130	130
Zdvih pístů	mm	155	145	150	150
Počet vál.		6	6	6	6
Obsah vál.	litr	11,97	9,84	11,94	11,94
Přepřítňování		-	TBD	-	TBD
Pal. směs		stechio	chudá	stechio	chudá
Jmen. ot.	min ⁻¹	2200	2100	2000	2000
Jmen.výkon	kW	170	186	166	175

Tabulka 4.

Výfukové škodliviny podle předpisu EHK 49 (EURO 2), výfukové škodliviny naftového motoru Liaz a motorů Liaz provozovaných na NG (1,2)

	Jednotky	Přípustné hodnoty dle EHK 49 E2	Motor na naftu	Motor na NG chudá sm.	Motor na NG stech. sm.
CH	g.kWh ⁻¹	1,1	0,4	0,8	0,3
CO	g.kWh ⁻¹	4	1,6	0,2	0,9
NO _x	g.kWh ⁻¹	7	6,6	4,2	0,03
Částice	g.kWh ⁻¹	0,15	0,15	0,02	0,03

Tabulka 5.

Hmotnosti nádrží na naftu, LNG a CNG (tlak 20 MPa) a dojezd autobusu (8, 9, 13, 15)

Nádrž	Hmotnost prázdných nádrží (kg)	Hmotnost paliva (kg)	Dojezd autob. (km)	Hmotnost nádrží s palivem (kg)
Nádrž na naftu obsah 240 l	40	247	750	287
Kryogenní nádrže LNG Chart	165	97,1	285	262
Nádrže CNG 20 MPa Faber (ocelové)	860	97	288	957
Nádrže CNG 20 MPa Lincoln Co. (komposit)	338	102	300	422

pevnění nádrží s LNG předpis EHK neuvádí, vyhovovat by mohlo připevnění obdobné připevnění nádrží s CNG podle předpisu EHK č. 67. Podle posledního znění tohoto předpisu nesmí dojít k porušení pevnosti spojení nádrže s vozidlem kategorie M3 (autobus MHD patří do této kategorie) při působení síly v těžišti nádrže vyvolané zrychlením hodnoty 6,6 g v přímém směru jízdy a zrychlením 5 g v rovině kolmé na směr jízdy vozidla.

VOZIDLA S MOTORY NA NG

Při stavbě autobusů poháněných motory na CNG i na LNG se vychází z provedení autobusů s naftovými motory. Na autobus se instalují palivové nádrže na plyné palivo s příslušenstvím, palivová instalace a plynový zážehový motor.

Podle údajů získaných z ENGVA (European Natural Gas Vehicle Association) bylo v roce 1999 provozováno v evropských zemích více než 1200 autobusů na CNG. Z tohoto počtu lze uvést následující přibližné počty autobusů, např.: 400 v Německu, 310 ve Švédsku, 115 v Itálii, 110 ve Francii, 60 ve Španělsku, 80 v ČR a 8 ve SR.

Většina výrobců autobusů s naftovými motory dodává též autobusy přizpůsobené k provozu na CNG. Dostupné údaje o autobusech na CNG výrobců Mercedes a Renault jsou v tabulce 6, která obsahuje též údaje o autobusech Karosa upravených v pro provoz na CNG.

Použití LNG pro pohon autobusů nenalezlo v Evropě dosud uplatnění a je ve fázi vývoje, respektive demonstračních projektů /3,4/, jako např. autobus s motorem Volvo B10R o výkonu 185 kW, provozovaný v norském Rondeheimu. Autobus je vybaven dvěma kryogenními nádržemi o obsahu LNG, umožňujícím dojezd 250 km. Nejvíce projektů se realizuje v Německu a k významnějším patří např.:

- Osobní vozidlo kombi BMW, původně provozované na benzin, upravené k alternativnímu provozu na benzin a LNG firmou Messer a vybavené chladícím výměníkem. Vozidlo má kryogenní nádrž s vícevrstvou vakuovou izolací, doba do zvýšení tlaku v nádrži na přípustnou maximální hodnotu je delší než týden, dojezd vozidla 700 km.
- Osobní vozy BMW 316 s 80 l nádrží postavené ve spolupráci s firmou Messer.
- Posunovací lokomotiva s osmiválcovým V-motorem Caterpillar TA 3508 pracujícím s chudou palivovou směsí, provozovaná Deutsche Bahn v Mnichově. Nádrž na LNG má obsah 700 l.
- Vysokozdvíhací vozík Clark vybavený LNG příslušenstvím firmou Messer. Motor pro provoz na LNG je stejný jako motor na CNG, s jednou náplní nádrží může být ale provozován podstatně delší dobu než na CNG.
- Nákladní vozidla Mercedes-Benz pro sběr komunálního odpadu, upravená pro provoz na LNG firmou Messer.

Řada projektů s využitím LNG byla realizována i v dalších evropských zemích: ve Velké Británii deset těžkých nákladních automobilů s motory Perkins o obsahu 12 l s nádržemi 400 l LNG umožňujícími dojezd 600 km, dále speciální automobily pro sběr odpadu Iveco s motory Iveco 8469 o obsahu válce 9,5 l, výkon 161 kW s nádrží o obsahu 400 l a dobou zádrže 2 týdny. Ve Finsku je v provozu 9 nákladních automobilů Sisu s šestiválcovým motorem, obsah válce 7,4 l a výkon 130 kW. V Norsku je LNG použit k pohonu lodního trajektu. V Holandsku byl realizován projekt využití LNG k pohonu 10 posunovacích lokomotiv, ve Španělsku jsou provozovány nákladní automobily Iveco.

Na základě výsledků projektů realizovaných v Evropě, které lze považovat za pozitivní, lze podle /3/ konstatovat:

1. Technickým i organizačním problémům, které se vyskytly během realizace projektů, je možno mnohdy předejít předem dohodnutou úzkou spoluprací řešitele projektu s výrobcem automobilu, s výrobcem příslušenství LNG, s dodavatelem LNG a budoucím provozovatelem vozidel. Tým řešitelů musí být interdisciplinární, kompetentní a motivovaný. Důležitá je úroveň vedení týmu.

2. Předpisy pro schvalování palivového příslušenství vozidel na LNG s pracovním tlakem do 0,6 až 0,8 MPa jsou v jednotlivých evropských státech odlišné, např. v Německu jsou pro LNG stanovena méně přísná pravidla než pro palivové příslušenství vozidel na CNG s tlakem 20 MPa. Bylo by potřebné provést harmonizaci pravidel např. předpisem EHK.

3. Motory na LNG s vhodně dimenzovanými palivovými nádržemi umožňují dosažení stejného dojezdu vozidel jako motory benzinové nebo naftové, tzn. až 800 km.

4. Doby do dosažení maximálního přípustného tlaku v nádrži (doba zádrže) mohou být u moderních nádrží delší než týden.

5. Doby plnění nádrží LNG jsou delší než v případě nafty a kratší než u CNG.

6. Použití paliva LNG přináší v porovnání s CNG výhody:

- pro velký dojezd vozidla jsou kryogenní nádrže na LNG levnější než tlakové nádrže na CNG,
- palivový systém vozidla na LNG má při stejném dojezdu vozidla menší hmotnost a rozměry než palivový systém CNG,
- palivo LNG obsahuje méně nežádoucích příměsí a je kvalitnější než CNG,
- palivo LNG je vhodné též pro některá speciální vozidla, např. pro chladicí vozy (využití výparného tepla) nebo pro dopravní vozíky.

7. Pro volbu paliva CNG nebo LNG budou rozhodující nejen obvyklé ekonomické ukazatele, nutno vzít v úvahu i specifické aspekty, např. využití CNG k chlazení nebo pro klimatizaci.

8. Některé výhody provozu vozidel na LNG mohou vyvážit současné vyšší náklady na jejich pořízení a provoz. Pro rozšíření použití LNG bude ale nutné, aby se tyto náklady přiblížily nákladům obvyklým u vozidel na jiná paliva.

9. Významným přínosem současných projektů s použitím LNG k pohonu vozidel je získání zkušeností částečně použitelných v budoucnosti při zavádění pohonu zkvapalněným vodíkem.

V ČR byl koncem 80. let ve spolupráci Výzkumného ústavu zemědělské techniky Praha, Ateko, s.r.o., Hradec Králové a Technické univerzity v Liberci realizován projekt použití LNG k pohonu zemědělského traktoru. V současné době není v ČR provozován žádný prototyp ani funkční vzorek vozidla na LNG.

BEZPEČNOST PROVOZU

V případě úniku paliva z palivového systému je LNG méně nebezpečný než LPG, rozlije se po zemi, okamžitě se odpařuje a nezpůsobuje znečištění půdy ani vod. Páry LNG se vzduchem zředí, vzniká oblak, v němž zkondenzovaly vodní páry. Páry do teploty cca -100°C mají větší měrnou hmotnost než vzduch. Chování oblaku se řídí současně stupněm jeho rozředění, oteplováním a množstvím kondenzované vody. Oblak se chová jako těžký plyn do okamžiku, kdy se jeho měrná hmotnost přiblíží měrné hmotnosti vzduchu, pak je ovládán pohybem atmosféry jako okolní vzduch.

Tabulka 6.

Technické údaje o autobusech s plynovými motory (2, 11, 14)

Výrobce autobusu		Mercedes	Renault	Karosa	Karosa
Autobus typ		O 405 A	Agora	B731HAL	B 731SPP
Délka	mm	11 795	11 991	11 347	11 347
Šířka	mm	2 500	2 500	2 500	2 500
Výška	mm	3 413	3 371	3 165	3 165
Celk. hmot. autobusu	kg	19 600	19 600	17 000	17 000
Průměr a délka nádrže	mm			273/1943	356/1025
Tlak plynu v nádržích	MPa	20	20	20	20
Obsah 1 nádrže	litr			92	80
Počet nádrží		5		6	10
Využitelný obsah CNG v nádržích	Nm ³	160	221	105	152
Spotřeba paliva na 100 km	Nm ³	55	65	50	52
Dojezd autobusu	km	290	340	210	290

Vznícení oblaku může nastat při koncentraci NG ve vzduchu 5% až 15% (tj. lambda 0,7 až 2,0). Velmi snadno může dojít k zapálení např. jiskrou (minimální energie potřebná k zapálení směsi o obsahu 9% NG - lambda = 1,1 jiskrou je nízká - 0,28 mJ). Ke vznícení při styku s teplými místy dochází méně snadno, teplota musí být vyšší než 520 °C. Při vznícení oblaku par NG může dojít k výbuchu, nikoli k detonaci, přetlak vznikající ve volném prostředí je tedy relativně nízký. Hořící oblak vydává záření a okolní objekty jsou vystaveny vysokým teplotám. U LNG neexistuje na rozdíl od LPG při protržení nádrže s únikem zkapalněného plynu nebezpečí vzniku požáru ve formě nebezpečné a velmi ničivé ohnivé koule, tj. vzniku tzv. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).

Při úniku LNG je ohrožen obsluhující personál, kterému může LNG způsobit omrzliny. LNG může při styku s nekryogenními materiály způsobit jejich zkrhnutí a praskání.

V ČR nejsou pro vozidla s motory na LNG k dispozici žádné předpisy zabývající se provozem vozidel za jízdy, stání, parkování, bezpečností při plnění nádrží, při vypouštění plynu z palivové instalace, při údržbě a opravách vozidla. Nejsou předpisy pro kontroly kryogenních palivových nádrží ani plynového palivového příslušenství vozidel.

ZÁVĚR

LNG patří mezi doposud málo využívaná alternativní plyná paliva. V USA je na LNG provozováno přibližně 1200 vozidel a k zásobování těchto vozidel slouží 45 veřejných plnicích stanic. V Evropě používá paliva LNG přibližně 100 vozidel.

V porovnání s palivem CNG má LNG výhody spočívající v nižší hmotnosti a objemu nádrží na vozidlech, nevýhodou je růst tlaku nasycených par NG v nádržích. Předpokladem pro širší uplatnění LNG jako motorového paliva bude získání vhodných zdrojů LNG.

Příspěvek byl zpracován s podporou projektu MŠMTČR LN 00B073.

LITERATURA

- [1.] Bartoníček, L – Laurin, J. – Myška, M.: Výzkum a vývoj plynového motoru ML 636 NGS. (Výzkumná zpráva.) TU v Liberci, Liberec 1999.
- [2.] Beroun, S.: Ekologické přínosy plynofikace automobilové dopravy. (Technická zpráva) SM 353/98. TU v Liberci, Liberec 1999.
- [3.] Bünger, U. – Loerbroks, A.: First results from demonstration Activities with LNC/LCNC as vehicle fuel in Europe. Ludwig-Bölkow-Systemtechnik, Ottobunn, 1998.
- [4.] Bünger, U.: Neue Entwicklungen der LH₂ – und LNG-Kryogentechnik für den Einsatz in Kraftfahrzeugen. VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 1999.
- [5.] Dale, B. – Tiller, P.E.: Evolution of CNG bus fuel Systems. Lincoln composites, Lincoln 1998.
- [6.] Dalmine, Milan, Italy: Katalog tlakových nádob. 2000
- [7.] OSN: Předpis EHK č. 67.01, Ženeva 1999.
- [8.] ENGVA News, leden 1998 až březen 2000, www.engva.org
- [9.] Faber Industrie S.p.A., Italy: Faber cylinders. 2000
- [10.] Impco Technologies, Inc., Cerritos, California USA: Master catalog.
- [11.] Irisbus France, S.A. Lyon: Agora autobus Renault. 1999
- [12.] Karosa, a.s., Vysoké Mýto: Technické údaje o autobusech. 2000.
- [13.] Lincoln Composites, Lincoln, Nebraska, USA: Technical products
- [14.] Laurin, J.: Autobus s palivovým systémem LNG. (Studie) TU v Liberci, Liberec 2000.
- [15.] MVE Inc., Burnsville Minnesota USA: Liquefied natural gas. CD. 1999.
- [16.] Škoda motory, a.s., Jablonec n.N.: Technická dokumentace motorů Liaz.