

# Česká zemědělská univerzita v Praze

**Technická fakulta**

**Katedra vozidel a pozemní dopravy**



**Plynná paliva v pístových spalovacích motorech**

**Bakalářská práce**

**Vedoucí práce: Ing. Jan Hromádko, Ph.D.**

**Autor práce: Jakub Ulbrich**

**Praha 2013**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ulbrich Jakub

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Plynná paliva v pístových spalovacích motorech**

Anglický název

**Gaseous fuels in piston internal combustion engines**

### Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se problematikou plyných paliv v pístových spalovacích motorech.

### Metodika

- prostudovat základní literaturu v oblasti plyných paliv pístových spalovacích motorů
- kontaktovat významné organizace zabývající se danou problematikou
- provést globální literární rešerši v dané problematice
- vlastní rozbor problematiky plyných paliv
- návrh doporučení a předpokládaný vývoj v oblasti plyných paliv pístových spalovacích motorů

### Osnova práce

1. Úvod
2. Charakteristika jednotlivých plyných paliv
3. Vozidla na plyná paliva a jejich úpravy
4. Analýza výhod použití plyných paliv
5. Doporučení a závěr



**Rozsah textové části**

30 - 40 stran formátu A4

**Klíčová slova**

LPG, zemní plyn, vodík, bioplyn

**Doporučené zdroje informací**

1. Šebor G., Pospíšil M., Žákovec J.: Technickoekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, výzkumná zpráva vypracovaná pro Ministerstvo dopravy ČR, VŠCHT Praha, červen 2006. [http://www.mdcz.cz/cs/Strategie/Zivotni\\_prostredi/](http://www.mdcz.cz/cs/Strategie/Zivotni_prostredi/)
2. EUCAR, CONCAVE, JRC: Well to Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context [online] [cit.2009-13-3]. Dostupný z WWW: <<http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>>
3. Hromádko, J., Hromádko, J., Miler, P., Hönig, V.: Speciální spalovací motory, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011, ISBN 978-80-213-2168-7, 152 s.
4. Hromádko J., Hromádko J., Hönig, V., Miler P.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0
5. Rauscher, J.: Spalovací motory, Studijní opory, VUT FSI Brno, 2004
6. Macek, J.: Spalovací motory I, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
7. Beroun, S.: Vozidlové motory. Studijní opory, TU Liberec

**Vedoucí práce**

Hromádko Jan, Ing., Ph.D.

**Termín zadání**

listopad 2011

**Termín odevzdání**

duben 2013

**doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.**

Vedoucí katedry



V Praze dne 7.2.2012

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan fakulty

## Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma **Plynná paliva v pístových spalovacích motorech** jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Hromádka, Ph.D. a použil jsem pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu.

V Praze, duben 2013.....

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Janu Hromádkovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultace.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce na téma Plynná paliva pro pístové spalovací motory se zaměřuje na přiblížení dnes používaných plynných paliv a seznámení s jejich fyzikálními a chemickými vlastnostmi a legislativou. U jednotlivých alternativních paliv přibližuje proces výroby, od prvotní suroviny po konkrétní palivo. Bezprostředně s výrobou souvisí následné uskladnění a přeprava dle bezpečnostních norem. Práce dokumentuje i palivové systémy, využívané pro dané alternativní palivo ve voze. Další část se věnuje vozidlům, která mohou vznikat již jako tovární, jiná se řadí mezi prototypy a jejich úkolem je demonstrovat vhodnost použití ve větším měřítku a následném rozšíření na trhu s vozy. Poslední část tvoří Well to Wheel analýza, která alternativní paliva analyzuje, srovnává, vyhodnocuje a podává informace o energetické náročnosti a emisích, vznikajících od stádia výroby po spálení v motoru.

**Klíčová slova:** LPG, zemní plyn, vodík, bioplyn

## **ABSTRACT**

The theme of this bachelor thesis is Gaseous fuels for internal combustion engines focuses on characteristics of gaseous fuels used today, as well as introduces their physical and chemical properties and legislation. For each alternative fuels closer to production process, from raw materials for a specific fuel. Directly related to the production of subsequent storage and transport according to safety standards. Work documents and fuel systems, used for the alternative fuel in the car. Another part deals with vehicles that may arise as a factory already, others are among the prototypes and their task is to demonstrate the suitability of the subsequent use on a larger scale and then expand the market for cars. The last part Well to wheel analysis, alternative fuel analyzes, compares and evaluates and provides information on energy consumption and emissions resulting from the production phase after combustion in the engine.

**Key words:** LPG, naturgas, hydrogen, biogas, komposgas

# Obsah

1.	Úvod .....	1
2.	Charakteristika plynných paliv .....	3
2.1	Zkapalněný ropný plyn LPG.....	3
2.1.1	Výroba LPG.....	3
2.1.2	Zdroje LPG v ČR.....	4
2.1.3	Fyzikální a chemické vlastnosti LPG .....	4
2.1.4	Legislativa při schvalování přestaveb LPG .....	6
2.1.5	Ekologie LPG .....	6
2.1.6	Výhody a nevýhody LPG .....	7
2.2	Zemní plyn.....	8
2.2.1	Zásoby zemního plynu .....	8
2.2.2	Fyzikální a chemické vlastnosti.....	10
2.2.3	Zkapalněný zemní plyn LNG .....	11
2.2.4	Požadavky na jakost zemního plynu .....	12
2.2.5	Zásobníky CNG, LNG a jejich funkce .....	13
2.2.6	Bezpečnost.....	14
2.3	Vodík .....	14
2.3.1	Výroba vodíku .....	15
2.3.2	Fyzikální a chemické vlastnosti vodíku.....	17
2.3.3	Čerpací stanice vodíku.....	17
2.4	Bioplyn.....	19
2.4.1	Vznik a výroba bioplynu .....	19
2.4.2	Vlastnosti bioplynu.....	20
2.4.3	Systém bioplynu ve městě Linköping .....	20
3.	Vozidla na plynná paliva a jejich úpravy .....	21
3.1	Vozidla poháněná ropným plynem LPG .....	21
3.1.1	Vývoj a rozdělení LPG systémů.....	21
3.1.2	Princip a funkce systémů.....	21
3.2	Vozidla na zemní plyn .....	25
3.2.1	Vozidla na CNG .....	25

3.2.2	CNG stanice.....	26
3.2.3	Systémy vstřikování zemního plynu .....	27
3.2.4	Současně vyráběné automobily s pohonem CNG určené pro český trh.....	29
3.2.5	Shrnutí výhod a nevýhod zemního plynu CNG a LNG.....	30
3.3	Vozidla na vodík.....	31
3.3.1	Charakteristika vozidel na vodík .....	31
3.3.2	Přehled vodíkových vozidel .....	35
3.3.3	Vodík v kombinaci s jinými palivy .....	35
3.3.4	Celkové shrnutí vodíku.....	37
3.4	Vozidla na bioplyn.....	38
4.	Well to Wheel analýza.....	39
4.1	Well to Tank (WTT) .....	39
4.2	Tank to Wheel (TTW) .....	39
4.3	Porovnání energetické náročnosti fází „ životního cyklu“, které předchází spotřebě (WTT).....	40
4.4	porovnání průměrných nákladů spojených s výrobou a distribucí vybraných alternativních motorových paliv v závislosti na ceně surové ropy.....	40
4.5	Shrnutí Well to Wheel analýzy .....	41
5.	Závěr.....	42
6.	Seznam použité literatury .....	44
7.	Seznam zkratk, tabulek, obrázků .....	49
7.1	Seznam zkratk .....	49
7.2	Seznam tabulek:.....	51
7.3	Seznam obrázků:.....	52
8.	Seznam příloh.....	53



# 1. Úvod

Již v roce 1786 byl ve Francii zaznamenán první patent na motor poháněný svítiplynem. Paradoxně první motory fungovaly na plynné palivo a v pozdějších použitích se teprve došlo ke spalování kapalných paliv. Další ho následovali a postupně zdokonalovali systém spalování, zážehu a především kvalitu samotného plynu. Důležitým pojmem, spojeným s plynnými palivy je bezesporu jméno N. A. Otto, který založil roku 1869 Gasmotorenfabrik Deutz. Koncem 19. století a zejména v průběhu se dostala plynná paliva do pozadí za kapalná paliva. Nedostatek pohonných hmot plynnému palivu v polovině 20. století opět navrátil vedoucí postavení. V prvopočátku se se po silnicích pohybovaly vozy s plnými gumovými vaky na střechách. Dojezd vozidel se postupem času stával nedostatečným a vývoj se začal ubírat směrem ke stlačování plynu a přinesl tlakové zásobníky, kompresní stanice a použití vozidel v běžnějším provozu. S rozvojem souvisí i snaha o použití dalších paliv - metan a kalový plyn. Zkapalněné uhlovodíky do Evropy přichází ve 30. letech a získával se při výrobě benzínu z uhlí. V městské hromadné dopravě byl plyn využit v tramvajích, které jezdily v Drážďanech.

Nejrazantnější nástup ovšem nastal koncem 80. a začátkem 90. let. Objevovaly se městské autobusy na zemní plyn. Novinkou bylo použití zkapalněného zemního plynu. Plynná paliva pro pístové spalovací motory nachází veliké uplatnění v nynějších pohonných jednotkách. Ukazuje se i strategická výhoda těchto paliv - ekologičnost provozu, snadnější startování a levnější provoz. Z hlediska lepší přípravy směsi a snadnějšího řízení směšovacího poměru paliva a vzduchu, z toho plynoucí menší obsah škodlivých látek ve výfukových plynech, jsou oproti konvenčním kapalným palivům výhodnější. Jednou z velkých předností je fakt, že palivo nesmývá olejový film ze stěny válce a neprostupuje do olejové náplně motoru (degradace oleje, ředění). Dalším aspektem mohou být lepší antidetonační vlastnosti (schopnost paliva odolávat detonačnímu hoření).

Z hlediska vývoje plynem poháněných motorů, se pohonná látka v průběhu doby výrazně měnila. Mezi nejvýznamnější patří svítiplyn, zemní plyn, důlní plyn (metan), dřevoplyn, kalový plyn, generátorový plyn a vysokopecní plyn spolu s acetylénem. V současnosti se využívá především zkapalněný ropný plyn LPG (propan-butan), zemní plyn (stlačený CNG, zkapalněný LNG) a bioplyn. Očekávaný vývoj směřuje k využití vodíku (stlačený, zkapalněný plyn) v motorech s vnitřním spalováním, při použití v palivových článcích jako zdroj pro výrobu elektrické energie [2].

Nevýhodou, která brání masovějšímu rozšíření, je obtížné skladování a distribuce, menší energetická hustota. Proto se výrazně zvyšuje zástavbový prostor pro umístění zásobníků. Zpřísnující se emisní normy se snaží výrazně regulovat čistotu výfukových plynů a neustále snižovat obsah škodlivin. Proto se práce bude tímto směrem ubírat a snažit následující paliva přiblížit.

## 2. Charakteristika plyných paliv

### 2.1 Zkapalněný ropný plyn LPG

V počátcích experimentování v oblasti plyných paliv se označovaly zkapalněné ropné plyny C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub> (z angl. Liquefied Petroleum Gas) zkratkou LPG, dnes se směs skládá z propanu a butanu [1], [2]. Jedná se o vysoce výhřevné plyny. Zkapalnění probíhá při běžné teplotě a poměrně nízkém tlaku. Propan při 0,85 MPa a butan již při 0,23 MPa [3].

Zkapalněné plyny se získávají dvěma způsoby:

- 1) v rámci zpracování zemního plynu, tato část tvoří zhruba 60% LPG
- 2) zpracováním ropy - primární a sekundární zhruba 40% LPG

V obou případech se jedná o kondenzát podobného složení C<sub>2</sub>-C<sub>6</sub> a vlastností. S očekávanou rostoucí těžbou zemního plynu a lepší efektivitou při jeho zpracování by LPG mohlo zvýšit svůj potenciál na trhu s pohonnými hmotami [1].

#### 2.1.1 Výroba LPG

- a) **Při zpracování zemního plynu**, složeného především z metanu, dále vyšších alkanů, oxidu uhličitého (běžně 1% hm, výjimečně až 90% hm.), vodní páry, sulfanu (výjimečně 35% hm.), dusíku (do 2% hm., výjimečně 90% hm.), neonu (stopové množství) a vodíku (do 0,5% hm.). Složení zemního plynu v následující tabulce:

Technologie rafinerií se liší v závislosti na složení zpracovávaného zemního plynu. Dnešní rafinerie jsou vybavovány dalšími zařízeními, která dovolují dále zpracovávat propan, frakce C<sub>4</sub> a C<sub>5</sub>. Odloučený kondenzát se stabilizuje na ethanové koloně. Vzniklou frakci používají

Tabulka 1 Složení zemního plynu [1]

Složka	Složení zemního plynu (% hm.)					
	Chudý	Bohatý	Těžený spolu s ropou	Těžený v Le Lacq (Francie)	Kostelany (ČR)	Cliffside (USA)
Metan	98-99	75-97	20-75	70	65,9	66
Ethan	0,5	0,5-18	5,30	3	1,2	4
Propan	0,2	0,2-7	3,30	1,4	1,2	1,5
Butan	-	0,1-2	5,15	0,6	1,2	1
Pentan	-	0,1	3,10	0,5	1,2	0,5
Sulfan	+	+	+	15	-	-
Oxid uhličitý	0,3	0,1	0,1	10	0,7	-
Dusík	0,1	0,3	1,18	0,4	31,2	25,6
Helium	+	+	-	-	0,45	1,8
Argon	+	+	-	-	0,25	+

země, především USA, využívající pyrolýzní jednotky pro výrobu etylenu. V ČR Litvínov [1].

## **b) Při zpracování ropy**

Plyny  $C_1$ - $C_4$  se uvolňují při destilaci ropy, stabilizaci benzinů, termickém a katalytickém krakování ropných frakcí. 2-3% hmotnosti zpracované ropy připadnou na propan a butan (66% butan, 33% propan). Při dělení se plyny stlačí na 1,4 MPa, vedou se do absorberu, kde se za pomoci těžkého benzínu oddělí uhlovodíky  $C_3$ - $C_6$ . Metan a etan se v stripovacím segmentu absorberu odvádí vrchem přes přiváděnou horkou páru, dále se vede na odsíření. Spodem se odvádí obohacený absorbent, tedy absorpční činidlo s obsahem  $C_3$  a  $C_6$ . Následnou destilací v debutanizéru se oddělí  $C_3$  a  $C_6$  uhlovodíky, které následně kondenzují, odsíří se a jsou vháněny do depropanizéru. Zde se jako poslední článek rozdělí na butany a propany. Spodem se odvede kapalná pentanová frakce. Z ní se vydestiluje lehký benzin. Absorpční činidlo se vstříkne do absorpční kolony. Takto separované  $C_3$  a  $C_4$  uhlovodíky označujeme jako směs LPG.

Při termickém krakování (koksování) se uvolňují nenasycené uhlovodíky. FCC - fluidním katalytickým krakováním na kyselých katalyzátorech při výrobě benzínu vznikají i nasycené složky izobutan, butan a propan a nenasycené propylen, izobutan, buten. Takto vzniklé plyny ovšem nejsou přímo vhodné do směsi LPG pro pohon vozidel. Další možnost získání nasycených uhlovodíků se nazývá hydrokrakování. Při něm vznikají propan s uhlovodíky  $C_4$ . Směs se rozdělí nízkoteplotní rektifikací, ochlazuje na  $65^\circ\text{C}$ . Nevýhodou této metody je fakt, že propylen a propan v této frakci má rozdíl teplot varu pouze  $3,2^\circ\text{C}$  a plyne z toho nutnost použití kolony o 100-200 patrech [1].

### **2.1.2 Zdroje LPG v ČR**

Na našem území produkují LPG v rafineriích České rafinérské, a.s., v rafinerii PARAMO, a.s., Chemopetrol, a.s., v Litvínově - provoz pyrolýzy. LPG se vyváží např. do Polska, Rakouska a částečně spotřebovává při pyrolýze. Na tuzemský trh se dostane pouze nepatrný zlomek produkce. Mezi největší importéry LPG patří Německo, Rusko ale i Kazachstán [1].

### **2.1.3 Fyzikální a chemické vlastnosti LPG**

LPG má nižší výhřevnost [MJ/l] oproti benzínu, naopak lepší antidetonační vlastnosti, tj. charakteristika paliva daná schopností paliva odolávat detonačnímu hoření. U benzínu

je dána oktanovým číslem. Nižší výhřevnost je příčinou zvýšené spotřeby do 30%. LPG je na rozdíl od benzínu a nafty netoxické (může působit narkoticky), rychle se odpařující, s malým obsahem síry. Obsah energie lze vyjádřit rovnicí porovnávající naftu, zemní plyn a elektrickou energii.

$$1 \text{ kg LPG} = 1,14 \text{ kg motorové nafty} = 1,3 \text{ m}^3 \text{ zemního plynu} = 10,8 \text{ kWh el. energie} \quad (1)$$

LPG v kapalně fázi podléhá normě ČSN 65 0201 do 1. třídy nebezpečnosti. Páry LPG jsou těžší než vzduch a mohou se tedy vyskytovat při zemi. Jsou schopné akumulace statické elektřiny. Při úniku plynu hrozí vysoké riziko omrzlin - teploty okolo - 45°C.

Požadavky na kvalitu LPG stanovuje norma ČSN EN 589:2004. S ohledem na kvalitu LPG se využívá především oktanové číslo, které se ovšem neměří na zkušebním motoru. Stanovuje se výpočtem z obsahu LPG, zejména nenasycené uhlovodíky antidetonační vlastnosti zhoršují. Z tabulky 3 je vidět, že pokud se směs skládá z nasycených uhlovodíků, zcela splňuje normu pro minimální hodnotu OČ, tedy 89 jednotek. Hmotnostní složení 40-60% hm. propanu, 30-40% hm. n-butanu a 10-20% hm. izobutanu odpovídá OČ 93. Pokud ovšem směs obsahuje nenasycené uhlovodíky, OČ zákonitě klesá pod 89 a nevyhovuje normě.

Tabulka 2 OČ v závislosti na složení LPG [1]

Složka LPG	Faktor OČMM pro různá vyjádření složení LPG		
	% mol.	% obj.	% hm.
Propan + etan	95,4	95,9	95,6
n-Butan	89,0	88,9	88,9
Izobutan	97,2	97,1	97,1
Propen	83,9	82,8	83,1
Buteny	75,8	76,8	75,7
C <sub>3</sub> -uhlovodíky	89,0	88,9	88,9

Další parametr LPG je tlak par, ovlivněný především složením směsi. Pro využití v systémech bez palivového čerpadla je nutné, aby byl v soustavě neustále přetlak, který zajistí kontinuální dávkování paliva z nádrže dále do regulovacího a dávkovacího členu. Vhodná směs pro zejména zimní použití je obsah propanu s bodem varu -42 °C. I při teplotách okolo -20 °C dosahuje přetlaku 0,25 MPa. Naopak tlak butanu s bodem varu pod 0 °C a při nízkých teplotách, řádově pod 0 °C, je pod tlakem atmosférickým. Z tohoto důvodu se může během roku poměr propanu a butanu měnit. Z hlediska dlouhodobého využívání LPG byl stanoven obsah síry na hodnotu 50mg/kg. Evropská asociace LPG (AEGPL) avšak dále usiluje o razantnější zpřísnění obsahu znečišťujících látek k hranici 5-10mg/kg [4]. Základní vlastnosti propanu, butanu a benzínu viz tabulka:

**Tabulka 3 Vlastnosti propanu, butanu a benzínu [1]**

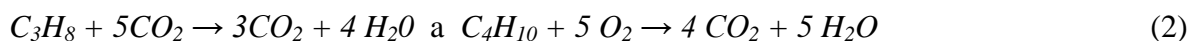
<b>Parametr</b>	<b>Propan</b>	<b>Butan</b>	<b>Benzin</b>
hustota při 15 °C [g.cm <sup>3</sup> ]	0,508	0,584	0,73-0,78
tlak par při 37 °C [kPa]	1210	260	50-90
teplota varu [°C]	-42,6	-0,6	30-225
oktanové číslo	97	89	85-97
výhřevnost hmotnostní [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	46,37	45,78	44,03
výhřevnost objemová [MJ.l <sup>-1</sup> ]	23,28	26,51	32,3

### **2.1.4 Legislativa při schvalování přestaveb LPG**

Přestavby podléhají zákonu č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, a prováděcími vyhláškami MDS č. 341/2002 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a č. 302/2001 Sb., o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. Rozdělují se na hromadné typové (schvaluje MD ČR na základě výsledků pověřených zkušeben), v malých sériích (hromadná přestavba, počet přestavěných vozidel nepřesáhne 50ks/kalendářní rok) a individuální pro jedno vozidlo. Individuální přestavbu vozidla na LPG lze provést pouze s komponenty homologované dle normy EHK 67 R 01. V ČR lze provést přestavbu prakticky všech vozidel do roku výroby 2005. Po montáži zařízení se přestavba zaznamená na dopravním inspektorátu do technického průkazu vozidla a do přílohy technického průkazu se zapisují pravidelné revize systému, které provádí autorizovaná firma [6], [7].

### **2.1.5 Ekologie LPG**

Pokud bychom porovnali hodnoty emisí naftových a benzinových vozidel s vozidly na LPG, zjistíme, že LPG ve všech ohledech vítězí. Proces spalování lze popsat rovnicemi:



Velkou předností LPG je fakt, že spalováním nevznikají tuhé emise (kouř, prach, saze), ale ani olovnaté sloučeniny. Ovšem do budoucna se stále jedná o palivo neobnovitelné.

**Tabulka 4 Emise jednotlivých typů vozidel v závislosti na druhu paliva [8]**

	CO		NO <sub>x</sub>		C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> + NO <sub>x</sub>	
	Benzin	LPG	Benzin	LPG	Benzin	LPG
Škoda Forman	56,14	33,92	5,77	5,19	11,7	11,72
Škoda 120	63,57	7,61	7,66	7,65	21,44	17,52
Opel Astra	19,00	3,82	3,50	2,45	5,00	3,78
Ford 528	84,40	17,76	4,59	2,54	15,54	4,65

### **Možné problémy plynofikovaného vozidla:**

- a) Úsady síry způsobují poškození těsnosti ventilů v regulátorech tlaku, zachycování kovových sloučenin síry na sedlech ventilů, zanášení elektrod zapalovacích svíček.
- b) Těžko odpařitelné a výše vroucí olejovité zbytky způsobují omezenou pohyblivost mechanických dílů, zmenšení průtoku a následné zhoršení emisí.
- c) Vyšší aromatické a olefinické uhlovodíky způsobují vyluhování změkčovadel - křehnutí a únava materiálů, agresivita vůči plastovým a gumovým součástím (membrány, tlakové hadice).

Plynná fáze umožňuje za každých teplot lepší promísení směsi, na rozdíl od paliv kapalných [1].

### **2.1.6 Výhody a nevýhody LPG**

#### **Výhody**

- Při stávajících cenách LPG oproti benzínu za 1 litr benzínu zaplatí koncový zákazník jako za 2 litry LPG. Automobilu sice spotřeba vzroste o 5-10%, ale stále se cena přepočtená na 1 km oproti benzínu pohybuje skoro na polovině. Pro přepočtovou názornost platí představa, že vůz se spotřebou 6 l Naturalu na 100km pojede po přestavbě za 6-7 l plynu, ale cenou by hodnota plynu odpovídala 12-14l Naturalu. Nižší produkce emisí - vozidlo na LPG vyprodukuje 120x méně rakovinotvorných látek a 20x méně NO<sub>x</sub> než srovnatelné diesellové vozidlo, o 20% méně CO<sub>2</sub> než vozidlo benzinové a o 1,8% méně než diesellové.
- Po přestavbě funguje vozidlo jako dvoupalivové. Možnost manuálně přepnout tlačítkem na zvolené palivo. Maximální dojezd se zvýší - 2 nádrže.

- Zvýšení celkové životnosti motoru - neusazují se částice karbonu a menší degradace oleje.
- Rozšířená síť čerpacích stanic.
- Podnikatelé s vozem na LPG neplatí silniční daň.

### **Nevýhody**

- Ekonomické hledisko - jedná se o nákladnou přestavbu v rozmezí 10-40 tisíc dle použitého systému.
- Spotřeba vzroste o 10-20%.
- Nutnost každý rok zrevidovat systém.
- Zákaz vjezdu do podzemních garáží.
- Snížení výkonu do 5%.
- Instalací nádrží válcovitého tvaru se zmenší zavazadlový prostor. Pokud se instaluje toroidní nádrž místo rezervního kola, plyne provozovateli stejně povinnost vozit rezervu [2], [5].

## **2.2 Zemní plyn**

Zemní plyn je směs plyných uhlovodíků, přírodního vzniku, s převážným podílem metanu a proměnlivým množstvím neuhlovodíkových plynů, především inertních. V dopravě a pro pohon spalovacích motorů je využíván ve formě stlačeného zemního plynu - CNG (Compressed Natural Gas) a ve zkapalněné formě LNG (Liquefied Natural Gas) [1], [2]. Požadavky na složení, jakost zemního plynu, prodej a výdej pohonných hmot a evidenci čerpacích stanic upravuje Zákon o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot č. 311/2006 Sb. [9].

### **2.2.1 Zásoby zemního plynu**

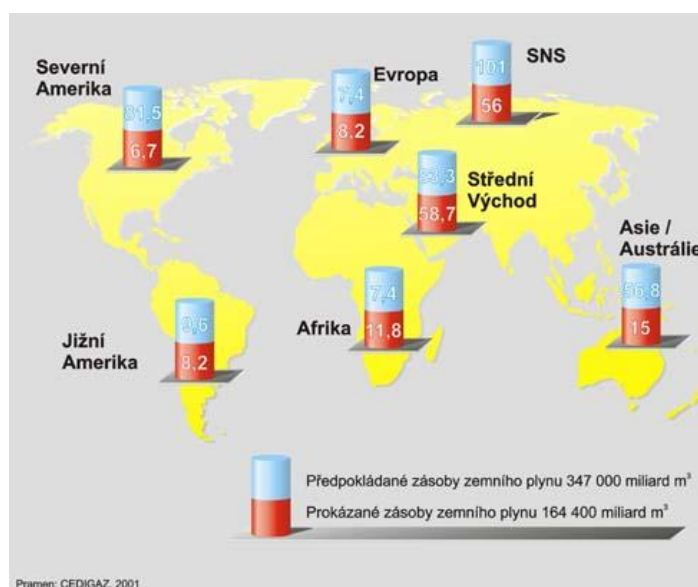
Světové zásoby zemního plynu se odhadují při nynějších spotřebách na 200 let. Odhadované množství čítá  $5,1 \cdot 10^{14}$  m<sup>3</sup>. Zásoby zemního plynu lze rozdělit na prokázané (prověřené), pravděpodobné a potenciální.

**Prokázané zásoby** zemního plynu, těžené při současné technické úrovni, dosáhly koncem 20. století objemu  $1,64 \cdot 10^{14}$  m<sup>3</sup>. Při současné těžbě měly vydržet do roku 2060. Tento objem zásob lze dále rozdělit na zásoby nacházející se na pevnině 72% a v mořských mělčinách



28%. Z hlediska dlouhodobých zásob je důležité zmínit i jejich životnost. Statická životnost je dána poměrem aktuálně uvedených zásob k aktuální těžbě-vyjádřené v letech.

**Pravděpodobné zásoby** jsou zásoby s velmi vysokou pravděpodobností, že budou vytěžitelné za technických podmínek, podobných prověřeným zásobám. Z důvodu stále se zvyšujícího objemu prokázaných zásob a jejich životnosti se přesouvá objemu těchto zásob v důsledku osvojování ložisek do kategorie prokázaných zásob. Evropa a Česká republika tak může „těžit“ ze svého geografického rozdělení obou kategorií zásob.



Obrázek 1 Předpokládané a prokázané zásoby zemního plynu [10]

**Potenciální zásoby** jsou označovány nekonvenčním zdroji zemního plynu. Řadí se mezi ně především hydráty metanu. Tvoří pevnou substanci podobnou sněhu, jenž je tvořena 20% metanu a některými vyššími uhlovodíky jako etan či propan a 80% vody za vysokého tlaku a nízké teploty. Zásoby jsou již objeveny velmi dlouho, nicméně teprve za pomoci moderních metod geologického průzkumu neustále zpřesňovány. Možné naleziště se rozprostírají v zemské kůře pod dnem oceánů. Při odhadech množství hydrátů se čísla blíží ke  $2,1 \cdot 10^{16} \text{ m}^3$ , kde jen zásoby severní polokoule jsou několikanásobně vyšší, než veškeré současně těžitelné zásoby zemního plynu v ložiscích ropy. Zásadním bodem intenzivních výzkumů hydrátů je tepelný rozklad a jejich odtlačování. Dalším zdrojem metanu je Coal Bed Methan (CBM) spojovaný se vznikem černouhelných slojí. CBM je vázán v mikroporézní struktuře uhelné hmoty. Těžba CBM se teprve celosvětově zkoumá a efektivita získání plynu závisí na stupni prouhelnění uhelné hmoty a její propustnosti. V České republice probíhá výzkum

v severomoravském regionu metodou důlní a povrchové degazace. 1 tuna uhelné hmoty naváže až 12,5 m<sup>3</sup> CBM. Zásoby se pohybují okolo 0,7-3,7.10<sup>11</sup> m<sup>3</sup> [10].

### **2.2.1.1 Zásobování České republiky zemním plynem**

Tuzemská ložiska nejsou z hlediska objemových požadavků trhu významná. Těžba na Hodonínsku (MND, a.s., Hodonín) se pohybuje pod 100 milionů m<sup>3</sup> plynu za rok, což odpovídá 1% tuzemské roční spotřeby. Patří mezi plyny H (s vyšším spalným teplem) a hlavním odběratelem je Jihomoravská plynárenská, a.s. Dále těžba probíhá na severu Moravy (DPB Paskov). Plyn, získávaný při důlní degazaci, se též spotřebovává regionálně. Kvalitou by ovšem mohl být využit v tranzitní soustavě. Jedná se miliony m<sup>3</sup> ročně.

Do ČR proudí plyn z Ruska (z Urengojské a Jamburské oblasti) typ H a z Norska (těžený v norské části Severního moře) proudící plynovody přes Německo. Nákup je realizován na základě dlouhodobých kontraktů se společností Gazexport a dalšími norskými producenty Statoil, TotalFinaElf, Norsk Hydro, Mobil Exploration Norway, Norske Conoco a Norsk Agip. Dodávky z Ruska proudí přes Slovensko. K nám se dostanou přes předávací stanici Lanžhot. Naopak dodávky norského plynu vstupují přes předávací stanici Hora Sv. Kateřiny.

Roční spotřeba ČR se v posledních letech drží na hranici 9,5.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>. Z dlouhodobého hlediska se zvětšuje rozdíl mezi zimním maximem a letním minimem, způsobený otopem v zimních měsících. Ten dosahuje hodnoty 8. Pro pokrytí nerovnoměrností odběru se využívá síť podzemních zásobníků, pokrývající čtvrtinu celkové spotřeby ČR. V evropském měřítku se jedná o hodnoty nadprůměrné. Pro zajištění rezerv v zimních měsících neklesá zásoba pod celorepublikovou spotřebu na 15 dní [1].

### **2.2.2 Fyzikální a chemické vlastnosti**

Zemní plyn je hořlavý, výbušný plyn bez zápachu, barvy a chuti. Jedná se o nejedovatý a netoxický plyn. Na rozdíl od LPG je lehčí než vzduch.

Rozdělení zemního plynu:

- Zemní plyn H (high - vysoký energetický obsah) je plyn, jehož spalné teplo dosahuje hodnot 40-46 MJ.m<sup>-3</sup> s podílem nehořlavých složek N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> do 5%.
- Zemní plyn L (low - nízký energetický obsah) je plyn, jehož spalné teplo dosahuje hodnot 33-38 MJ.m<sup>-3</sup>, s podílem nehořlavých složek vyšší než 10%.

Základní vlastnosti zemního plynu shrnuje následující tabulka:

**Tabulka 5 Vlastnosti zemního plynu [8]**

Oktanové číslo	130
Výhřevnost [ $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	34,09
Hustota [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	0,69
Bod vzplanutí [ $^{\circ}\text{C}$ ]	152
Teplota vznícení [ $^{\circ}\text{C}$ ]	537-580
Stechiometrický objem vzduchu ke spalování [ $\text{m}^{-3}$ ]	9,51

### **2.2.3 Zkapalněný zemní plyn LNG**

Surový zemní plyn se vyčistí od příměsí a nečistot. Zkapalní se ve výměnících, která tvoří soustavu zkapalňovacích kolon. Během chladících cyklů se postupně několikanásobně ochlazuje, až nastane úplné zkapalnění, které provází vysoká spotřeba energie. Po zkapalnění se kapalina označuje jako LNG (Liquefied Natural Gas) a uskladňuje se v obrovských kryogenních zásobnících. Při přepravě se využívá tankerů s kapacitou převyšující 100 tisíc tun, které zároveň tvoří zásobník LNG, uzpůsobený pro udržení teploty  $-160^{\circ}\text{C}$  a mírně většího tlaku než atmosférického. Po přijetí na přijímacím terminálu se stlačil vysokotlakými čerpadly a dál rozváděl potrubím. V dnešní době Evropa začíná s dodávkami zkapalněného plynu přímo ke spotřebitelům. Kde není síť potrubí, tam se LNG dopravuje silničními cisternami. V přijímacím terminálu se v odpařovači z kapalné fáze převede do plynného skupenství a rozvádí se dále pomocí plynovodu. Pro delší skladování se využívá izolovaných zásobníků [1].



**Obrázek 2 LNG tanker [10]**

### 2.2.3.1 Zásobování České republiky zkapalněným zemním plynem LNG

V České republice není k dispozici zdroj tohoto paliva. Nejbližší terminály LNG jsou poměrně vzdálené (Zeebrugge v Belgii, La Spezia v Itálii) a případná doprava by byla velmi finančně náročná. Po výstavbě v roce 2010 jsou nejbližšími Gdaňsk v Polsku a Wilhelmshaven v Německu nebo Muggia a Terst v Itálii. ČR by se rozhodla pro vlastní zkapalňovací stanici v případě zájmu o tento typ pohonu a množství vozidel na LNG a zkapalňovala plyn z tranzitního plynovodu, ale do té doby by byla investice příliš nákladná a nerentabilní. Proto se teprve ekonomické aspekty LNG zvažují [1].

### 2.2.3.2 Fyzikálně chemické vlastnosti zkapalněného zemního plynu LNG

Zkapalněný zemní plyn LNG je izobaricky zchlazen na  $-162^{\circ}\text{C}$  při atmosférickém tlaku. Svými vlastnostmi se jedná o namodralou, bezbarvou, nekorozivní a netoxickou kapalinu bez zápachu. LNG zabírá proti CNG 600x menší objem a hustota je  $0,4-0,42\text{ kg/m}^3$ .

*1 kg zkapalněného zemního plynu LNG má výhřevnost 54,8 MJ a 1 litr LNG pak 22,2 MJ* (3)  
[2]

### 2.2.4 Požadavky na jakost zemního plynu

Zemní plyn podléhá normě ČSN 38 6110 platné od 1.1.1992. Dle normy musí plyn splňovat a obsahovat v % objemu: minimálně 85% metanu, může obsahovat 5% etanu a 7% propanu a vyšších uhlovodíků, až 7% inertních látek a jen setiny procenta kyslíku. Sirné sloučeniny mohou být v maximálním množství  $7\text{ mg/m}^3$  sulfanu  $\text{H}_2\text{S}$  a max.  $100\text{ mg/m}^3$  síry. Samozřejmostí zůstává zbavení nečistot - mechanické a kapalné. Objemová výhřevnost musí být minimálně  $35,7\text{ MJ/m}^3$  a rosný bod při tlaku  $p = 4\text{MPa}$  maximálně  $-7^{\circ}\text{C}$ . Stanovuje se i zápalná teplota  $540^{\circ}\text{C}$  a dolní mez výbušnosti 5% objemu a horní mez 15% objemu. Běžné složení zemního plynu, který předává stanice Kapušany a Ruská v porovnání s normou ČSN 38 6110 v tab. 6 [11]:

**Tabulka 6** Kvalitativní parametry zemního plynu požadované normou ČSN 38 6110 ve srovnání s parametry tranzitního zemního plynu [1]

Parametr		ČSN 38 6110	Tranzitní zemní plyn
Výhřevnost ( $\text{MJ/m}^3$ )	min.	35,7	35,9
Složení (% obj.)			
- metan	min.	85	98
- etan	max.	5	1
- propan a vyšší CH	max.	7	< 1
- kyslík	max.	0,02	---
- inerty	max.	7	1 – 2
Obsah sulfanu ( $\text{g/m}^3$ )	max.	7	---
Obsah celkové síry ( $\text{mg/m}^3$ )	max.	100	0,2

## 2.2.5 Zásobníky CNG, LNG a jejich funkce

### a) Zásobníky CNG

Zemní plyn v zážehových motorech snižuje škodliviny ve výfukových plynech. V současnosti se uplatňuje nejvíce v autobusech městské hromadné dopravy, ale stále více a více se dostává i do běžných osobních automobilů. Řada automobilek se snaží ubírat vývoj na oblast CNG. Nevýhodou proti LPG je velký prostor pro zástavbu, hmotnost zásobníků paliva a plnicí tlak 20MPa. Plyn se stlačí v poměru 200:1, ovšem množství energie na jednotku objemu proti kapalným uhlovodíkovým palivům je 4-5x menší. Lahev, která pojme 21 kg CNG, disponuje rozměrem v průměru 316mm a délkou 975mm.

### b) Zásobníky LNG

Pro skladování LNG se využívá kryogenních nádrží. Konstrukce spočívá v dvouplášťové nerezové nádobě s minimální tloušťkou stěn 3mm v obou pláštích. Mezi nimi se využívá superizolace. Tu tvoří navinutá hliníková folie proložená sklo-vláknitým papírem a v celém prostoru mezi plášti se vytvoří vysoké vakuum. V kryogenních tlakových nádobách (max. přetlak 0,8MPa a velmi dobrá izolace) se při přetlaku 0,15 MPa, teplotě  $-162^{\circ}\text{C}$  sice objem 600x zmenší, ale vznikají značné ztráty odparem, při delším stání vozu - při nárůstu tlaku je nutné odpouštět. Výhodou paliva je jeho přepočtené oktanové číslo až 130, přepočet energie

*1,5 litru LNG odpovídá 1 litru benzínu a 1,7 litru LNG odpovídá 1 litru motorové nafty (4) [2]*

LNG disponuje vyšší zápalnou teplotou a nehrozí u něho zamrznutí v zimních měsících. Kvalita izolace ovlivňuje tzv. „dobu zádrže“, která představuje dobu, po kterou roste tlak v nádrži na maximální přípustnou hodnotu, při níž pojistný ventil odpustí z nádrže část plynné fáze. Tlak poté opět poklesne a proces se opakuje. V moderních konstrukcích bývá izolace tvořena velkým vrstvením kovové hliníkové folie, které od sebe odděluje vždy vrstva tkaniny ze skelných vláken. Kryogenní nádrže musí splňovat následující funkce:

- Zajištění dodávky plynného zemního plynu do motoru, min. přetlak 0,2MPa
- Přetlak v nádrži musí dosahovat maxima 0,8MPa, pokud dojde k překročení, musí být část odvedena z nádrže do motoru nebo zlikvidována oxidací v katalytickém reaktoru
- „doba nádrže“ musí být dlouhá, aby vyhověla požadavkům na časté využití vozu
- Rychlé a bezpečné plnění LNG [2]

## 2.2.6 Bezpečnost

Při úniku LNG nehrozí nebezpečí jako při úniku LPG. LNG se rozlije po zemi a okamžitě začne odpařovat. Nezpůsobí znečištění vodních zdrojů ani půdy. Odpařený LNG ve formě oblaku při koncentraci plynu 5-15% (odpovídající lambda 0,7-2,0) může být zapálen jiskrou s minimální energií 0,28mJ. Nehrozí vznik ohnivé koule BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). Obsluze může unikající LNG způsobit omrzliny a při styku s nekryogenními materiály způsobit zkřehnutí a praskání. V ČR zatím nejsou pro takto upravené vozy žádné předpisy, ale nádrže a příslušenství zatím podléhá homologaci dle normy EHK 67 R 01 [12].

## 2.3 Vodík

Vodík jako palivo budoucnosti. Před pár lety se hovořilo o vodíku jako o palivu, které bude šetrné k životnímu prostředí a bude ho dostatek, aby pokrylo požadavky na masové využití s cílem využití takto levného zdroje. Vodík se ovšem v přírodě téměř nevyskytuje a jeho výroba je značně nákladná. Většina dnes vyráběného vodíku pochází z fosilních paliv a nemůže se proto přímo zařadit mezi obnovitelné zdroje. Lze ho vyrábět i dalšími způsoby a pomocí energie z obnovitelných zdrojů, ale podíl touto metodou vyrobeného vodíku je zatím velmi malý. Vodík se při pohonu ve vozidlech nepoužívá jako prvotní zdroj energie, nýbrž se považuje jen za nosič energie. Možné metody využití:

- Palivo do spalovacích zážehových motorů - samotný nebo s dalším palivem (benzin, motorová nafta, metan)
- Surovina pro palivové články s procesem elektrochemické oxidace, generující elektrickou energii využitelnou pro pohon motorového vozidla

Nesporné prvenství si vodík drží v oblasti emisí. Při spalování vzniká pouze voda. Tím se stává favoritem pro použití v motorových vozidlech, ale perspektivnější se zdá být využití v palivových člancích. Účinnost článků je podstatně větší než u motorů s vnitřním spalováním [1], [17].

### 2.3.1 Výroba vodíku

Atraktivita vodíků spočívá v jeho metodách výroby, ale poté i v jeho přeměně na energie (spalovací motory, plynové turbíny, palivové články), skoro nulové emise a vysoká účinnost v místě použití. Podle nedávných studií biopaliv se ukazuje, že energetický výnos hektaru půdy je vyšší, pokud je využit k zachycení větru či solární energie. Ve srovnání s elektřinou se vodík z hlediska objemového skladování lépe hodí k uchování energie. Přestože jeho skladovací podmínky jsou lepší než u baterií, po stlačení nebo zkapalnění je jeho energetická hustota stále nízká. Při skladování však dále dochází k ztrátám. Mezi hlavní metody výroby se řadí parní reformování, elektrolyza vody, parciální oxidace zemního plynu, parciální oxidace ropných zbytků nebo zplyňování uhlí. Analýza Well to Wheel o snížení emisí skleníkových plynů u vodíku oproti uhlovodíkovým palivům mluví velmi pozitivně [18], [19].

#### 2.3.1.1 Parní reformování zemního plynu

Nejvýhodnější a energeticky nejméně náročný proces výroby vodíku se přisuzuje parnímu reformování. Parciální oxidací a zplyňováním uhlí se náklady zvednou o 36-40%. Při parním reformování při vysoké teplotě nad 800°C dochází k endotermní reakci popsanou rovnicí  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2$  a dále při nižší teplotě nad 550°C reaguje vzniklý oxid uhelnatý s vodou, resp. vodní parou exotermně dle rovnice  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{CO}_2$  [2]. Technologické procesy parního reformování tvoří:

- Odsíření pomocí adsorpce na ZnO
- Reformování metanu parou v trubkovém reaktoru s niklovým katalyzátorem při 800-870 °C a tlaku 2,2-2,9 MPa. Plyn poté obsahuje 76,7% H<sub>2</sub>, 12% CO<sub>2</sub>, 10% CO a 1,3% CH<sub>4</sub>.
- Konverze oxidu uhelnatého CO, který reaguje s vodní párou. Lze jí rozdělit na vysokoteplotní (370 °C) a nízkoteplotní (200 °C). Plyn obsahuje 77% H<sub>2</sub>, 18% CO<sub>2</sub>, 0,3% CO a 4,7% CH<sub>4</sub>.
- Vypírání oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> pomocí horkého roztoku potaše či jiných činidel jako MEA, DMEA. Výsledkem je plyn obsahující 98,2% H<sub>2</sub>, 0,01% CO<sub>2</sub>, 0,3% CO a 1,5% CH<sub>4</sub>.
- Metanizace, poslední stupeň čištění. Proces přeměny zbytků oxidů uhlíku na niklovém katalyzátoru (hydrogenace) na metan. Výstupní plyn poté obsahuje 98,2% H<sub>2</sub> a 1,8% CH<sub>4</sub> [1], [20].

### 2.3.1.2 Parciální oxidace uhlovodíků

Další z nejvíce rozšířeného typu výroby vodíku. Z primárního a sekundárního zpracování ropy se surovina začne zplyňovat vodní parou a kyslíkem. Při teplotě okolo 1300-1430 °C se bez použití katalyzátoru dají využít i těžké ropné frakce a další zbytky.

### 2.3.1.3 Zplyňování uhlí

Zplyňování je proces, který převádí uhlíkaté materiály (uhlí) na oxid uhelnatý a vodíku při vysokých teplotách (1300 °C) s kontrolovaným množstvím kyslíku. Výsledná směs plynů se nazývá syntézní plyn (složení - oxid uhelnatý, vodík, oxid uhličitý a další plyny pocházející z nečistot - sulfan H<sub>2</sub>S). Zplyňování je velmi účinná metoda pro získávání energie z mnoha různých druhů organických materiálů.

Vyčištění syntézního plynu se provádí aminem (MEA - Monoethanolamin) od H<sub>2</sub>S a od zbytku CO<sub>2</sub>. Zachycení těchto sloučenin probíhá při nízké teplotě (35 °C), proto se syntézní plyn musí chladit průchodem chladičem. Po vyčištění musí být amin regenerován prostřednictvím páry v opačném proudu, při kterém se plyny uvolní. MEA může být čištěn přímo v zařízení [21], [22].

### 2.3.1.4 Výroba vodíku elektrolýzou

Elektrolýza je proces, při kterém stejnosměrný proud prochází dvěma kovovými elektrodami a dochází ke štěpení vody (disociaci) dle rovnice:

$$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2 \quad (5)$$

Elektrolýza probíhá při pokojové teplotě. Běžně se používá vodný elektrolyt kyseliny sírové a platinové elektrody, které s ní reagují. Tento proces je ekologicky šetrný, protože se netvoří žádné skleníkové plyny, ale tato metoda je velice energeticky náročná. Energetická účinnost elektrolýzy vody (chemická energie získaná / elektrická energie dodaná) v praxi dosahuje 50-70% [23].

### 2.3.1.5 Výroba z biomasy

Biomasa je k dispozici z mnoha zdrojů, jako živočišných odpadů, komunálního odpadu, zbytků zemědělských plodin, dřevin, zemědělských odpadů, pilin, vodních rostlin, trávy, starého papíru, kukuřice a další. Aktuální technologie zpracování biomasy: zplyňování, pyrolýza, zkapalňování, hydrolýza, reformace a biologická produkce vodíku [20].



### 2.3.1.6 Výroba s využitím energie získané z alternativních zdrojů

Pro výrobu jsou zdrojem energie obnovitelné zdroje - voda, vítr, slunce a jaderná energie. Liší se jen metodou získání primární energie na další výrobu. Metody zpracování jsou shodné s již uvedenými [20], [23].

### 2.3.2 Fyzikální a chemické vlastnosti vodíku

Tabulka 7 Vlastnosti vodíku v porovnání s metanem, iso-oktanem [24]

Vlastnost	Vodík	Metan	Iso-oktan
Molekulová hmotnost (g / mol)	2,016	16,043	114.236
Hustota (kg / m <sup>3</sup> )	0.08	0.65	692
Hmotnost vodivosti ve vzduchu (cm <sup>2</sup> / s)	0.61	0.16	~ 0,07
Minimální energie zapálení (mJ)	0.02	0.28	0.28
Limity hořlavosti na vzduchu (% obj)	4-75	5-15	1.1-6
Výhřevnost (MJ / kg)	142	55.5	47.8

### 2.3.3 Čerpací stanice vodíku

První vodíková čerpací stanice v Norsku byla otevřena 23. srpna 2006 ve městě Forus ve Stavangeru. Čerpací stanice nabízí stlačený vodík s tlakem 35-70MPa a taktéž dodává i Natural Hy (Hythane - směs vodíku a zemního plynu). Čerpací stanice je součástí národního projektu HyNor: Vodík na silnici spojující Stavanger a Oslo. HyNor je společným partnerstvím spojující významný průmysl a energetické společnosti, dopravní podniky, regionální a národní orgány veřejné správy, výzkumné ústavy a environmentální organizace, aby bylo možné prokázat skutečnou možnost zavedení vodíku podél komunikace dlouhé 580 km. Projekt zahrnuje všechny kroky potřebné k vytvoření infrastruktury a zahrnuje různé



Obrázek 3 1. vodíková čerpací stanice v Stavangeru [25]

technologie výroby vodíku a využití vodíku s adaptací na místní podmínky podél komunikace.

Plán pro Stavanger byl původně výroba vodíku ze zemního plynu se zachycováním a ukládáním uhlíku. Pro projekt byla zcela speciálně navržená technologie. V současnosti přešla k výrobě vodíku z bioplynu. K dispozici je šest čerpacích stanic, které jsou spojené s různými výrobními technologiemi a zdroji, tj. biomasa, solární, vodní energie. Druhá nejdéle fungující čerpací stanice byla otevřena v Grónsku 12. června 2007. V rámci projektu jezdí 16 vodíkových vozidel Toyota Prius se spalovacím motorem, ale každým rokem se vozový park razantně rozrůstá. Lokální projekt skupiny ve Stavangeru a národní skupiny HyNor pracuje na dalším rozšíření infrastruktury a vozidlového parku a sítě čerpacích stanic. Ministerstvo dopravy prostřednictvím Norské rady pro výzkum podpořilo projekt HyNor a v roce 2006 se projekt stal součástí skandinávského Hydrogen Highway Partnership (SHHP), kde cílem je usnadnit "zřízení vodíkové infrastruktury" roku 2012, který by zde umožnil provoz vodíkem poháněných vozidel a jejich doplňování" v Norsku, Švédsku a Dánsku. Dále by se vybudovaná síť měla propojit se zbytkem Evropy. V roce 2007 HyNor a SHHP také zahájila spolupráci s podobným projektem v Britské Kolumbii a Kanadě. Kromě sdílení zkušeností, budou partnerství spolupracovat na pomoci při pořízení vodíkových vozidel, což je v současné době největším problémem všech projektů [25].

V České republice se využívá vodík zatím jen na čerpací stanici v Neratovicích. Zde se uchovává ve 4 tlakových zásobnících 4 x 600 l H<sub>2</sub> při tlaku 2,5MPa. Při plnění autobusu se stlačí kompresorem na tlak 25-30MPa a je plněn do zásobníků autobusu. Plnicí kapacita stojanu se pohybuje od 1 do 3 kg H<sub>2</sub>/min [26].



Obrázek 4 Čerpací stanice vodíku v Neratovicích [26]

## 2.4 Bioplyn

Kvašením metanogenních látek (obvykle chlévská mrva, odpady z čistíren, prasečí kejda) se získává bioplyn. Skládá se obvykle z 55-75% metanu, 25-40% oxidu uhličitého a 1-3% ostatních plynů (vodík, dusík, sirovodík) [1], [2]. Bioplynu lze současný název dle současné technické praxe přiřknout výlučně pro plynný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek, též pod pojmy anaerobní digesce, biometanizace, biogasifikace či vyhnívání (u čistírenských kalů). Od 70. let minulého století se objevují synonyma jako kalový či čistírenský plyn, v Německu pak výraz Klärgas [53].

### 2.4.1 Vznik a výroba bioplynu

Anaerobní mikroorganismy, produkující metan, patří mezi nejstarší živočichy Země. Kyslík je pro ně smrtelným jedem. Bioplyn vzniká rozložením a přeměnou organických látek za nepřístupu vzduchu (anaerobní digesce) nejčastěji v bioplynových stanicích, ale i na skládkách (odlišné jímání plynu). Mezi plyny řadíme dle definice přírodní plyny bahenní, plyny vznikající biometanizačními procesy v reaktorech nebo ve skládkách odpadů či biomasy. První využití bioplynu se objevovalo od konce 19. století, kdy se využívalo jeho vlastností k vytápění a svícení v čistírenských odpadních vod. V roce 1907 byla patentována „vyhnívací“ nádrž s dvěma patry, oddělovacími vyhnívací prostor od usazenin. První provozně úspěšný reaktor pro anaerobní vyhnívání byl vybudován v Essenu v roce 1924. K vyhřívání nádrže se používal vznikající bioplyn. Díky ohřevu se proces fermentace kalu urychlil a začal se mnohem více rozšiřovat. Ve 30. letech se používal bioplyn k pohonu motorgenerátorů a pohonu vozidel. Při skládkování však naopak došlo k odhalení možného nebezpečí vlivem neřízeného vzniku bioplynu. V dalším stádiu vývoje se již bioplyn cíleně vytváří z energetické biomasy (kukuřice, obilí, kapusta, hyacint vodní) a dřevní biomasy [53].

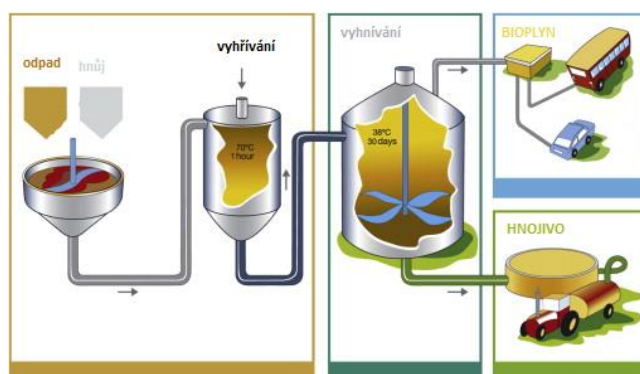
Pro výrobu plynu se musí fermentor udržovat nejlépe okolo 40 °C. V zimních obdobích je nutné částí vyrobeného tepla fermentor vyhřívát, tím se snižuje množství vyprodukovaného plynu. Při výrobě bioplynu (příloha 1) záleží především na zpracovávaném odpadu, kterému se vždy musí přizpůsobit proces udržení jednotlivých parametrů (pH, anaerobní prostředí, složení substrátu). Zhruba 50% suroviny odchází po procesu jako sušina bez zápachu. Využívá se především jako organické hnojivo [1].

## 2.4.2 Vlastnosti bioplynu

Po vyčištění bioplynu se jeho parametry dají srovnat se zemním plynem. V převážné většině evropských zemí se v dnešní době využívá pro přímé spalování nebo v kogeneračních jednotkách. V rámci ojedinělých projektů se začíná využívat pro dopravu ve Švédsku, Švýcarsku, Francii a na Islandu. Čištění bioplynu se z hlediska energií posuzuje jako velmi nákladné a ekologičtější řešení nabízí výměna spalovacích motorů s přímým spalováním za Stirlingovy motory v rámci kogeneračních jednotek. Hlavní výhodou Stirlingova motoru je vnější spalování a tudíž se dává pro pohon využít vzniklý plyn bez čištění. Spalování probíhá mimo pracovní válec, který tvoří náplň helia. Americká firma STM Power, Inc. vyvíjí kogenerační jednotku právě na bázi Stirlingova motoru, určenou pro plynné palivo a dosahující elektrického výkonu 55 kW a účinnosti až 30%, při servisním intervalu 10 000 hodin [2].

## 2.4.3 Systém bioplynu ve městě Linköping

Ve švédském Linköpingu, páté největší město Švédska, jezdí všechny autobusy a popelářské vozy na bioplyn. Vyrábí se v zařízení na výrobu bioplynu a čističe odpadních vod v Linköpingu. Organický odpad se převede na bioplyn a odpadní hmoty se zpracují na hnojivo. Výrobou se zpracovává především odpady z různých potravinářských výrob (odpady tuku, rostlinný odpad), odpady z jatek (krev, bachor) a hnůj z místních farem. Materiál se míchá do homogenní suspenze v přijímací nádrži, poté se po dobu 1 hodiny pasterizuje při teplotě 70 °C, aby došlo k likvidaci bakterií. Po ochlazení se materiál přečerpává do vyhnívacích nádrží a dále se uchovává v anaerobním prostředí při 38 °C. Usazená sušina po procesu se z fermentoru odstraňuje a zemědělci jí využívají jako biohnojivo (po procesu fermentace je zbaveno charakteristického zápachu). Zjednodušený pohled na bioplynový proces zařízení a výrobu bioplynu v Linköpingu je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 5 Výroba bioplynu Linköping [29]

## 3. Vozidla na plynná paliva a jejich úpravy

### 3.1 Vozidla poháněná ropným plynem LPG

#### 3.1.1 Vývoj a rozdělení LPG systémů

Při vývoji spalovacích motorů se souběžně začaly vyvíjet i systémy, které by tyto motory mohly pohánět plynem LPG. Z počátku ovšem řešila nedostatečná úroveň těchto systémů s porovnáním k rozvinutějším motorům. LPG lze konstrukčně využít jak v zážehových, tak i vznětových pístových motorech. Při využití ve vznětových motorech se systémy realizují jako dvoupalivové. Plynné palivo zde plní hlavní funkci a kapalné pomocnou vzněcovací. Ovšem jejich využití z hlediska ekologie nevyhovuje a proto se používá jen ve stacionárních aplikacích.

Nejběžnější přestavbu tvoří plynové zážehové motory. Využívají dvoupalivového systému s možností přepínání mezi LPG a benzinem. Za konstrukčně složitější se považují přestavby vznětových motorů na zážehové plynové motory.

Z hlediska součinitele přebytku vzduchu  $\lambda$  rozdělujeme:

a)  $\lambda = 1$  (stechiometrický poměr) ve všech provozních režimech

Řízení a regulaci bohatosti zajišťuje elektronický systém, dosahuje se velmi nízké hodnoty emisí díky TWV katalyzátorům na výfukovém potrubí. Pro vozidla s mechanickým karburátorem řeší regulaci bohatosti mechanickou cestou založenou na podtlaku v sacím potrubí. Tento způsob lze využít u nepřepřlňovaných, ale i přepřlňovaných motorů.

b)  $\lambda > 1$  provoz na chudou až velmi chudou směs, závislou na zatížení motoru

Součinitel přebytku vzduchu při volnoběhu  $\lambda = 1,15$  a při plném zatížení  $\lambda = 1,45-1,55$ . Využívá se při přestavbách přepřlňovaných vznětových motorů. Oxidační katalyzátor na výfukovém potrubí snižuje emise HC a CO [1].

#### 3.1.2 Princip a funkce systémů

Komponenty pohonu LPG pracující při tlaku 0,08 MPa podléhají homologačnímu schvalování dle EHK 67 R 01.

Zkapalněné LPG se do systému tankuje přes přípojku dálkového plnění, které proudí vysokotlakým potrubím do tlakové nádrže. Zde se rozdělují na tři Evropou používané

systemy - italský, holandský, belgický. Víceúčelový ventil, umístěný na tlakové nádrži, zajišťuje funkce bezpečnosti a provozu:

a) bezpečnost

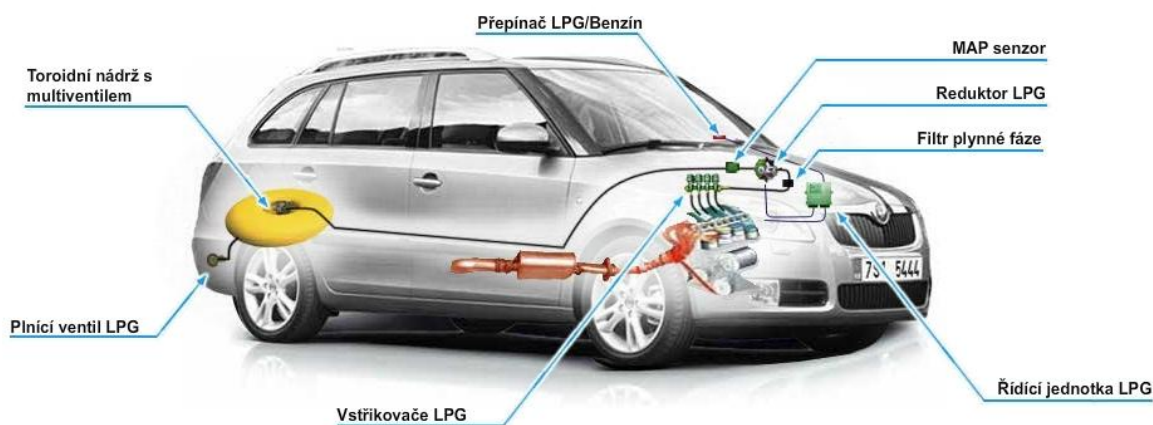
- při vypnutém zapalování ventil uzavře nádrž
- zaručuje naplnění nádrže do 80% jejího obsahu, vypouštění při přetlaku 0,27MPa
- obsahuje ruční ventil a tepelnou pojistku, která v případě požáru zajistí včasné vypuštění plynu z nádrže
- zastavuje přísun plynu, pokud průtok paliva přesáhne 6 dm<sup>3</sup>/min

b) provoz

- plní funkci ukazatele stavu paliva v nádrži
- realizuje odběr plynného paliva [5]

### 3.1.2.1 Tlakové nádrže LPG

Tlakové nádrže se rozdělují dle tvaru a použitých materiálů na válcové, toroidní, ocelové a kompozitní [2]. Uložení víceúčelového ventilu zajišťuje plynotěsná schránka se soustavou odvětrávacích hadic. V případě poruchy či požáru odvádí palivo mimo prostor vozidla.



Obrázek 6 Schéma LPG systému Škoda Fabia [5]

Z nádrže se stále kapalný propan-butan dopravuje vysokotlakým, nejčastěji Cu potrubí s plastovým pláštěm, do regulátoru tlaku. Označuje se jako výparník a vyhřívá ho horkovodní okruh motoru. Zde dochází k transformaci kapalné fáze vlivem odpařování na fázi plynnou. V zimních měsících hrozí po startu jeho zamrznutí. Plynná fáze se přivádí do směšovače, ve které se mísí s nasávaným vzduchem od filtru. Vzniklá směs se dle systému přivádí rovnou do sacího prostoru motoru nebo ke vstřikovačům, umístěným v blízkosti vstřikovačů benzinových [5].

### 3.1.2.2 Regulace směsi

Regulace bohatosti směsi se provádí:

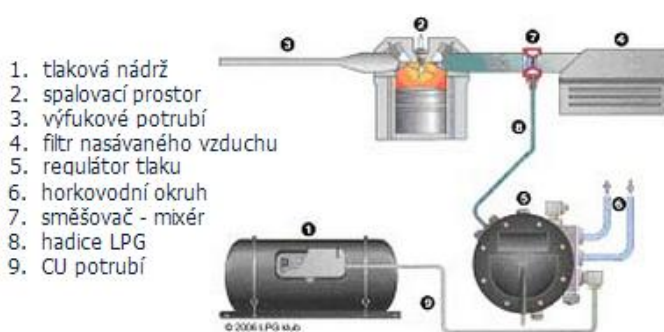
- škrtícím šroubem (karburátorová vozidla) se nastaví optimální poloha z hlediska emisních limitů, která je nastavena pro volnoběžné otáčky motoru. Při zatížení se tato poloha nemění.
- Řídící jednotkou, resp. servomotorem (pro vozidla se vstřikováním paliva). Samostatná jednotka LPG vyhodnocuje a řídí dle signálů z motoru - otáčky, průtok a hmotnost nasátého vzduchu, lambda sonda.
- Elektrickými vstřikovači, které ovládá samostatná řídicí jednotka (vozidla na benzinové a plynné palivo). Důležité je především zajistit bezchybnou funkci benzinové řídicí jednotky. Pokud se jedná o paralelní systémy, řídí se servomotorem [5].

### 3.1.2.3 Rozdělení systémů vhodných pro přestavbu na LPG

#### a) Systém mechanicky řízený s centrálním směšovačem a podtlakovou regulací

Automobily s karburátorem využívající směšovacího zařízení pro přípravu směsi. Systém pracuje s membránovou regulací bohatosti na základě podtlaku v sacím potrubí. Přepínačem lze volit mezi provozem

na benzin či LPG. V ČR jsou homologovány následující: BRC, Lovato, Lovtec, Marini, Tartarini.

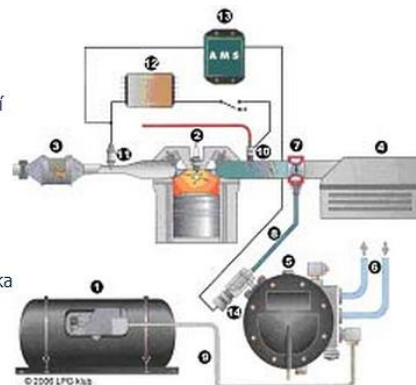


Obrázek 7 Centrální směšovač a podtlaková regulace [5]

b) Automobily se vstřikováním benzínu.

Například vozy ŠKODA Felicia 1.3 BMM, 1.3 MPi. Cena přestavby se pohybuje okolo 18 tisíc Kč. V ČR jsou homologovány: Lovato, Lovtec, Tartarini, Emmegas, BRC.

1. tlaková nádrž
2. spalovací prostor
3. katalyzátor
4. filtr nasávaného potrubí
5. regulátor tlaku
6. horkovodní okruh
7. směšovač - mixér
8. hadice LPG
9. CU potrubí
10. benzínový vstřikovač
11. lambda sonda
12. benzínová řídicí jednotka
13. plynová řídicí jednotka
14. krokový motorek

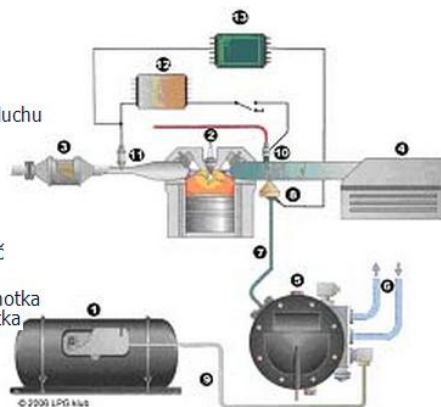


Obrázek 8 Jednobodé směřování LPG [5]

c) Automobily se vstřikováním benzínu, nepodporující palubní diagnostiku EOBD a OBD II.

Jedná se o vozy s paralelním vstřikováním plynného paliva do roku výroby 2001. Homologované systémy pro ČR jsou: AG Autogas systems, BRC, Landi Renzo, Lovato, Lovtec, Tartarini. Ceny přestavby okolo 28 tisíc Kč.

1. tlaková nádrž
2. spalovací prostor
3. katalyzátor
4. filtr nasávaného vzduchu
5. regulátor tlaku
6. horkovodní okruh
7. hadice LPG
8. vstřikovač LPG
9. CU potrubí
10. benzínový vstřikovač
11. lambda sonda
12. benzínová řídicí jednotka
13. plynová řídicí jednotka

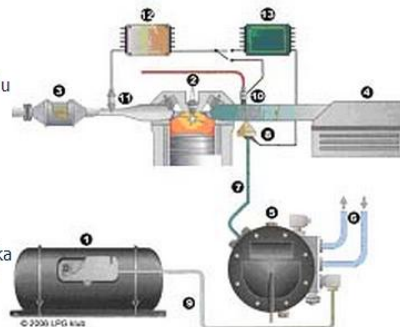


Obrázek 9 Sekvenční vstřikování LPG bez EOBD a OBD II

d) Automobily se vstřikováním benzínu, vybavené systémem palubní diagnostiky EOBD nebo OBD II.

Využívají sériově vstřikování benzinového paliva. Homologované systémy jsou: Lovato, AG Autogas systems, BRC, KME, Landi Renzo, Tartarini.

1. tlaková nádrž
2. spalovací prostor
3. katalyzátor
4. filtr nasávaného vzduchu
5. regulátor tlaku
6. horkovodní okruh
8. vstřikovač LPG
9. CU potrubí
10. benzínový vstřikovač
11. lambda sonda
12. benzínová řídicí jednotka
13. plynová řídicí jednotka

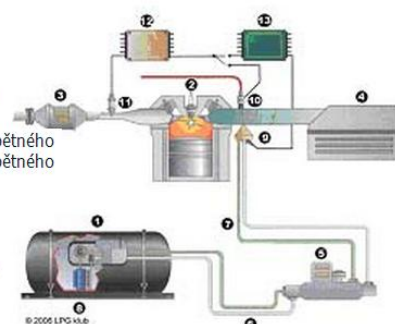


Obrázek 10 Sekvenční vstřikování LPG s EOBD A OBD II [5]



e) Automobily se vstřikem kapalné fáze plynu. Propanbutanové palivo se zde neodpařuje. Kapalná fáze propanbutanu se přímo vstřikuje do válce [5].

1. tlaková nádrž
2. spalovací prostor
3. katalyzátor
4. filtr nasávaného vzduchu
5. regulátor tlaku
6. tlakové potrubí, včetně zpětného
7. tlakové potrubí, včetně zpětného
8. čerpadlo v nádrži
9. vstřikovač LPG
10. benzínový vstřikovač
11. lambda sonda
12. benzínová řídicí jednotka
13. plynová řídicí jednotka



Obrázek 11 Vstřikování kapalné fáze LPG [5]

## 3.2 Vozidla na zemní plyn

Zemní plyn může být využit ve vozidlech benzinových, ale i vznětových. Vlivem vyššího oktanového čísla zemního plynu (až 130) dosahují motory většiny sériových vozů na CNG lepších výkonostních parametrů. Díky tomu je možné zvýšit celkovou účinnost přeměny energie motoru, za použití zvýšeného kompresního poměru, sníženého objemu motoru a využít přeplňování ve vyšší míře než doposud na kapalná ropná paliva. Rozdíly motorů spočívají především v konstrukci pístů a zvětšeném kompresním poměru [2].

### 3.2.1 Vozidla na CNG

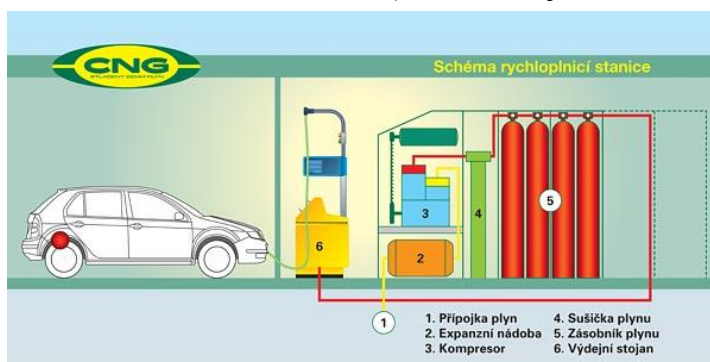
Při použití CNG se používá zásobníků s plnicím tlakem 20 MPa. Plnicí stanice přivádí obvykle s tlakem 20-30 MPa a při plnění vozidla zemním plynem se využívá přepouštění prostřednictvím plnicího ventilu. Zemní plyn se dostává do tlakových nádob, obvykle ocelových, ovšem častěji se již vyskytují i kompozitní. Při použití v osobních vozech se nádrž umístí do zavazadlového prostoru vozidla. Autobusy mívají nádoby umístěné v zavazadlovém prostoru nebo na střeše. Z nádob se dostává CNG do vysokotlakého regulátoru, který redukuje vysoký tlak na tlak provozní. Aktuální potřebné množství plynu se vyreguluje pomocí krokového motoru, a tím zajistí optimální výkon, spotřeba a množství emisí. Směšovač zde plní funkci podobnou karburátoru. O automatický provoz se stará řídicí jednotka a emulátor, který přerušuje vstřikování benzínu a dávkuje plyn. Pro indikaci množství plynu v zásobnících je na přístrojové desce umístěn ukazatel a přepínač benzin-plyn [1]. Provoz CNG vozidel je upraven Vyhláškou č. 341/2002 Sb. (§ 19). Dle předpisu EHK 110 se schvaluje typ konstrukčních částí motorových vozidel používajících CNG a typ vozidel z hlediska montáže homologovaných konstrukčních částí k jejich pohonu na CNG [13], [14].

### 3.2.2 CNG stanice

Z plynovodní sítě se stlačuje zemní plyn na tlak 20-30 MPa. Takto stlačený plyn CNG se skladuje v navzájem propojených tlakových zásobnících. Plnění nádoby ve vozidle funguje na principu přepouštění stlačeného plynu. Výdejní stojan obsahuje hadici s rychloupínacím systémem pro plnicí ventil vozidla [1]. Stanice podléhají od 1.2.2009 pravidlům TDG 982 03: Plnicí zařízení pro motorová vozidla s pohonným systémem CNG. Podle rychlosti plnění se používají dva typy plnicích stanic:

#### 3.2.2.1 Stanice rychlého plnění

Plnicí stanice obsahuje kompresor, který odebírá zemní plyn z plynovodní přípojky a po vyčištění plynu (odloučení možného kondenzátu a nečistot) ho stlačuje v několika stupních až na tlak 30MPa. Následně se zemní plyn uchovává ve vysokotlakých zásobnících. Pro optimální využití zásobníků se dělí na vysokotlakou, středotlakou a nízkotlakou sekci. Pro pohodlnou

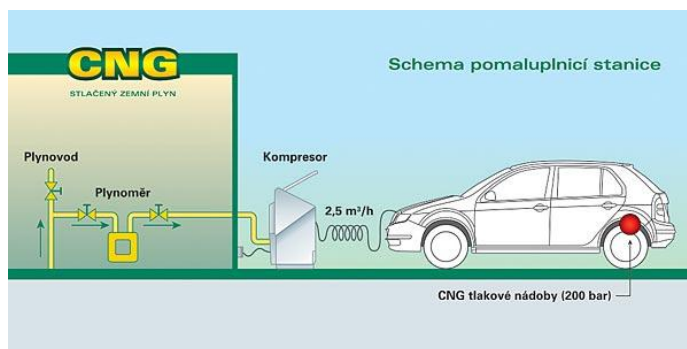


obsahuje kompresor, který odebírá zemní plyn z plynovodní přípojky a po vyčištění plynu (odloučení možného kondenzátu a nečistot) ho stlačuje v několika stupních až na tlak 30MPa. Následně se zemní plyn uchovává ve vysokotlakých zásobnících. Pro optimální využití zásobníků se dělí na vysokotlakou, středotlakou a nízkotlakou sekci. Pro pohodlnou obsluhu a bezpečnost se plnicí konektor, vycházející z výdejního stojanu, připojí na plnicí ventil vozu. Proces přepouštění zemního plynu se tím nastartuje. Moderní stojany jsou samoobslužné, s karetním platebním terminálem nebo čipovým systémem platby. Displej ukazuje hmotnostní měřený průtok, měřenou teplotu a tlak. Aby tlak po naplnění nádob nepřesáhl 20-22MPa, vybavuje se stojan elektronickým řízením tlaku. Délka plnění závisí na velikosti nádob, průměrně 3-5 minut [13].

Obrázek 12 Schéma rychloplnicí stanice [15]

#### 3.2.2.2 Stanice pomalého plnění

Zařízení, umožňující pomalé plnění plynu, nese oficiální mezinárodní název VRA - Vehicle Refuelling Appliance (zařízení pro plnění vozidel). Dominantním výrobcem na trhu s těmito zařízeními je kanadská



Obrázek 13 Schéma pomaluplnicí stanice [15]

firma FuelMaker. Zařízení by se tedy dalo nazvat „ domácí plničkou plynu“. Pomaluplnící zařízení definuje norma jako přístroj, jehož hlavní součástí je kompresor zemního plynu a současně neobsahuje zásobník plynu. Limitovaný výkon představuje 20 m<sup>3</sup>/h a maximální plnicí tlak 26MPa a kapacitou zásobníku nepřekračující 0,5 m<sup>3</sup> [13].

#### **Výhody lze shrnout v následujících bodech:**

- a) jednoduchá instalace - lze nainstalovat všude u přípojky plynu a elektřiny
- b) plně automatický provoz - automatické vypnutí při dosažení maximálního tlaku v závislosti na okolní teplotě
- c) snadná obsluha - nasazení plnicího konektoru, stisk START, minimum servisních zásahů
- d) bezpečnost - automatické vypnutí v případě úniku
- e) nízká hlučnost
- f) nezávislost uživatele - plnění z pohodlí domova, kdykoliv plná nádrž, možnost plnit až 2 vozidla
- g) silniční daň - vozidla nad 3,5 t jsou osvobozena ze zákona č. 16/1993 Sb., o dani silniční

#### **Nevýhody:**

- a) pořizovací cena - finanční nákladnost zařízení (vstupní investice)
- b) delší čas plnění - zpravidla několik hodin v době, kdy vůz není v provozu [13]

### **3.2.3 Systémy vstřikování zemního plynu**

#### **3.2.3.1 Přímé vstřikování zemního plynu**

Zemní plyn se na rozdíl od nepřímého vstřiku do sacích kanálů vstřikuje přímo do spalovacího prostoru. Přímé vstřikování převládá u vozidel nákladních, u osobních se v největší míře využívá nepřímého vstřiku. Teplota vznícení zemního plynu 550°C je o 250°C vyšší než motorové nafty. Zvýšení kompresního poměru pro samotné vznícení nedostačuje. Používají se 3 základní systémy vstřikování:

##### **a) Přímý vstřík do válce s klasickou zapalovací svíčkou**

Jedná se o nízkotlaké vstřikování tlakem 2 MPa, který se speciálním kompresorem zemního plynu přivádí před vstřikovač. Zemní plyn se vstříkne během komprese pístu. Jeho přesný okamžik však závisí na zatížení a provozním stavu motoru. Při vývoji vstřikovačů se kvůli dokonalému promíchání směsi manipulovalo s vstřikovacím úhlem. Vlivem vysokého

oktanového čísla se kompresní poměry zážehových motorů dostávají až na 14:1. Tento systém vstřiku produkuje méně emisí  $\text{CO}_2$ , zvýší účinnost spalování o 20% oproti nepřímému vstřikování a dojde i ke zvýšení točivého momentu v celém rozsahu otáček, zejména pak v otáčkách nízkých [2].

#### **b) Přímý vstřík do válce se žhavicí svíčkou**

Princip přímého vstřiku do vznětového motoru se podobá systému common rail. Kompresní poměr motoru je 16-18:1. Před koncem komprese se tlakem 20 MPa vstříkne do spalovacího prostoru zemní plyn, ovšem aby se směs vznítla, musí se použít žhavicí svíčka. Systém tvoří centrální rozdělovací systém, elektro-hydraulické nebo elektro-magnetické vstřikovací ventily a vysokotlaký kompresor. Ten dodává do systému konstantní tlak. Vysoká účinnost souvisí především s využitím vysokého stupně komprese. Koncepce stávajícího motoru Common Rail zůstává zachována, jen je systém vysokotlakého vstřiku nafty nahrazen vysokotlakým vstřikem zemního plynu a žhavicím systémem. Jednodušším se stal systém z pohledu konstrukce, kdy se plnicí tlak snížil desetkrát v porovnání s naftou. Systém zvyšuje účinnost o 20%, přináší úsporu paliva 15-25%, produkuje málo emisí  $\text{NO}_x$ , snižuje produkci  $\text{CO}_2$  o 20-25% a téměř neprodukuje pevné částice.

#### **c) Přímý vstřík do válce s pilotním předvstřikem motorové nafty**

V předchozích dvou systémech se jednalo o jednopalivový systém, zde se vstříkne současně zemní plyn i nafta prostřednictvím speciálně vyvinutého vstřikovače. Nejprve se vstříkne motorová nafta a poté zemní plyn (hlavní pohonná hmota) v poměru 3:7. Předvstřikem motorové nafty se zvýší teplota spalovacího prostoru, která vyvolá vznícení zemního plynu. Změnou palivové soustavy končí úpravy, konstrukce motoru i jeho energeticky výhodnější bilance se zachová. Se systémem se provádí další vývoj a cílem této koncepce je snížit procento dodané naftou na minimum. Velkým úspěchem je zachování výkonu vznětového motoru, poklesu spotřeby paliva 10-15%, pokles produkce emisí  $\text{NO}_x$  až o 40%, pevných částic o 60% a  $\text{CO}_2$  o 20% [2].

### 3.2.4 Současně vyráběné automobily s pohonem CNG určené pro český trh

Automobilka **Škoda** se začala ubírat cestou směrem k alternativním palivům a pro nadcházející léto připravuje vůz Škoda Octavie III. generace s motorem 1.4 TSi CNG, která v sobě dle automobilky spojuje cenu, užité vlastnosti spolu s nízkými náklady a šetrností k životnímu prostředí. Díky 100 l zásobníku plynu a 50 l v benzinové nádrži slibuje rekordní dojezd až 1300 km (400km CNG; 900km benzin). Parametry se jedná o objem motoru 1390 cm<sup>3</sup>, výkon 81 kW a spotřebu CNG 3,6 kg/ 100 km a emisemi CO<sub>2</sub> jen 99g/km [16].



Obrázek 14 Octavia 1.4 TSi CNG [16]

Tabulka 8 Srovnání spotřeby ŠKODA Octavia III [16]

Srovnání modelů ŠKODA Octavia III	Spotřeba [l/100km]	Náklady Kč na km
Benzinová verze	5	<b>1,47</b>
Naftová verze	4	<b>1,2</b>
CNG/ benzin verze	3,6 kg	<b>0,75</b>
Úspora oproti benzínu		49%
Úspora oproti naftě		37%
<b>Návratnost cenového rozdílu</b>		1,5-2 roky

Automobilka **Volvo** s její vlajkovou lodí modelem V70 prodává tento model s benzinovým turbomotorem o objemu 2521 cm<sup>3</sup>, úctyhodným výkonem 150 kW a kombinovanou spotřebou CNG 4,8 kg/100 km. Dojezd uvádí výrobce 1000 km, v poměru 300 km CNG a 700 km benzin. Objem palivové nádrže CNG 14kg a množství emisí CO<sub>2</sub> 157g/km [16].



Obrázek 15 Volvo V70 CNG [16]

**Fiat** připravil pro segment menších vozů dvouválcový turbo motor Fiat 0.9 TwinAir, který využívá spolu s palivem CNG ve voze FIAT PANDA 0.9 CNG. Vývojáři se dostali na objem pouhých 875 cm<sup>3</sup>, ale výkonem na 59-77 kW a max. rychlost vozu dosahuje 170km/h. Kombinovaná spotřeba činí 3,1 kg CNG/ 100km. Objem palivové nádrže je 12 kg, na který výrobce uvádí dojezd 800 km, z poloviny jej tvoří právě CNG [16].



Obrázek 16 Fiat Panda 0.9 CNG s agregátem Fiat 0.9 TwinAir [16]

### 3.2.5 Shrnutí výhod a nevýhod zemního plynu CNG a LNG

Již při samotném spalování CNG můžeme pozorovat výhody tohoto paliva. Jako při použití ostatních paliv se i při provozu na CNG uklidní chod, motor se stane kultivovanější. Palivo nepůsobí takovou míru opotřebení jako u kapalného paliva. Do oleje neprostupují provozem nespálené částice, tím se prodlouží interval výměny oleje. Pro ekologičnost tohoto paliva hovoří mnoho argumentů:

- snižuje tvorbu ozonu v atmosféře, neethanových, aromatických a polyaromatických uhlovodíků
- snižuje emise NO<sub>x</sub> a CO<sub>2</sub>, spaliny neobsahují oxid siřičitý
- zemní plyn neobsahuje aditiva a karcinogenní látky
- není možné kontaminovat půdu a vodní zdroje-odpar
- motor provozovaný na CNG splňuje normu EURO V

Při úniku či havárii nehrozí prakticky žádné zatížení životního prostředí. Úniky zemního plynu z puklin země nejsou ničím neobvyklým a jedná se o přírodní produkt [1], [2].

### 3.3 Vozidla na vodík

Spalovací motory, určené ke spalování vodíku, poskytují rovnocenné jízdní vlastnosti a bezpečnost jako při pohonu konvenčním palivem. Při využití sice hrozí zhoršené skladování, ovšem dlouholeté znalosti ve výrobě motorů, jejich trvanlivost, schopnost



**Obrázek 17 Musashi 1 Datsun: Nissan Sunny poháněný zkapalněným vodíkem [55]**

spalovat více typů paliv, hovoří jasně pro využití. Jedná se o použití od jednostopých vozidel po osobní automobily, off-road vozy, či nákladní automobily a autobusy. Následující část bude věnována vybraným vozům s vnitřním spalováním. Pojem spalovací motor na vodík je téměř stejně starý jako spalovací motor sám. V roce 1807, Francois Isaac de Rivaz ze Švýcarska vynalezl spalovací motor, jenž používal jako palivo směs vodíku a kyslíku. Navrhl i vozidlo, které tento motor bude pohánět. Jean Joseph Etienne Lenoir v roce 1860 vytvořil plynový dvoudobý motor s horizontálním uspořádáním. Byl poháněn vodíkem vzniklým elektrolýzou vody [27].

V roce 1974 představil Musashi japonské vodíkem poháněné vozidlo MUSASHI 1, které poháněl čtyřválec a představil vysokotlaké skladování vodíku. V roce 1975 vyjel vůz MUSASHI 2, vybaven vstřikováním vodíku, který skladoval ve zkapalněném stavu [28]. V roce 1977 vznikl MUSASHI 3, který poháněl dvoutaktní motor s vodíkovým přímým vstřikem [29].

#### 3.3.1 Charakteristika vozidel na vodík

Vnitřní spalování vodíku se využívá u výrobcem přestavěných nebo u vozidel speciálních. Od výrobce jsou již vozidla s vodíkovým pohonem speciálně navržena a vyrobena pro provoz. Mohou být platformou jako jednopalivové, ale i dvoupalivové. Podle systému

skladování se vodík uchovává stlačený nebo v kryogenních nádržích. Vodík se využívá jak do pístových, tak i do rotačních motorů. Následující kapitoly poskytují stručný přehled vybraných vodíkových vozidel [30].

### 3.3.1.1 Přestavěná vozidla

Příkladem konverze vozu na stlačený vodík je ETEC H2ICE pick-up. Úpravy vozu zajistil Chevrolet / GMC Truck Silverado / Sierra 1500HD Crew Cab 2WD LS a převedl vůz na vodíkový pohon. Pick-up je poháněn motorem o objemu 6 litrů, 8 válců s vstřikem vodíku. Pro zvýšení výkonu se využívá v kombinaci s mezichladičem kompresor. Vodík je uložen ve třech 150 litrových (hliníkových, uhlíkovými vlákny zesílených) nádržích s tlakem až 35 MPa, které pojmu 10,5 kg paliva. Vozidlo má odhadovanou pohotovostní



Obrázek 18 ETEC H2ICE pick-up GMC Silverado [30]

hmotnost 3000 kg [29]. Výkon, emise a spotřeba paliva tohoto vozu v různých poměrech paliva ukázala čísla mezi 4,1 a 4,5 kg vodíku na 100 km, což je energeticky ekvivalentní 15,5-17 l benzínu na 100 km. Emisemi NO<sub>x</sub> se vůz pohybuje na úrovni Ultra Low Emissions Vehicle (ULEV-ultra nízké emise) a Super Ultra Low Emissions Vehicle (SULEV-super ultra nízké emise) [30].

Firma Quantum Tecstar přestavěla 30 vozidel Toyota Prius na vodíkový hybridní vůz. Dvě stávající benzinové nádrže nahradila zásobníky vodíku. Vnitřní prostory vozu zůstaly zachovány. Motor byl opatřen turbodmychadlem, aby se zvýšil výkon v provozu na vodík. Jízdními vlastnostmi se Quantum Hydrogen Prius podobá benzinové verzi. Dojezd výrobce uvádí 100-130 km se splněním normy SULEV [31].

### 3.3.1.2 Dvoupalivová (Bi-fuel) vozidla

Od roku 1979 BMW představilo šest generací vodíkových vozů vnitřním spalování. Nejnovější generací je BMW Hydrogen 7 bi-fuel, luxusní sedan poháněný 6 litrovým



12 válcovým motorem. BMW Hydrogen 7 vozidlo úspěšně dokončilo proces sériového vývoje, což znamená, že vozidlo a jeho všechny komponenty prošly stejným návrhem designu, výroby a procesem řízení kvality, jako každé jiné vozidlo BMW. Souběžně s ostatními modely série BMW 7, 6 a 5, pochází pohonná jednotka BMW Hydrogen 7, jako všechny dvanáctiválcové motory z produkce BMW závodu v Mnichově (Německo). Motor je vybaven dvěma samostatnými palivovými systémy umožňující provoz na benzin i vodík. Benzín se vstříkuje přímo do spalovacího prostoru, vodík je vstříkován do sacího potrubí za přeplňování motoru [32]. Vozidlo je vybaveno kryogenními nádržemi umístěnými v kufru vozidla, benzinové pod vozem. Nádrž pojme asi 8 kg tekutého vodíku, který umožňuje odhadovaný dojezd 200 km na vodík a dalších 480 km na benzin. Přibližně bylo postaveno 100 BMW Hydrogen 7 bi-fuel [33].

Mazda od roku 1991 vyvinula několik generací vozidel s Wanklovým motorem. Mazda RX-8 Hydrogen RE je poslední z nich, představená v roce 2003. Vodíková verze s motorem RENESIS je vybavena elektrickým pohonem pomocného turbodmychadla, který se používá k maximalizaci účinnosti v celém rozsahu otáček motoru [34]. Poslední generace je vybavena dvěma nádržemi stlačeného vodíku s provozním tlakem až 35 MPa. Vůz dojede 100 km na vodík a dalších 550 km na benzin. Kombinace jednoduchého a stechiometrického provozu spalování vede k 23% zlepšení spotřeby ve srovnání s benzinem. Výkon vozidla se pro splnění ostrých japonských norem SULEV snižuje ze 154 kW (benzín) na 80 kW (vodík) [35].

### 3.3.1.3 Jednopalivová vozidla na vodíkový pohon

**BMW Hydrogen 7 Mono-Fuel** vozidlo bylo postaveno na základě BMW Hydrogen 7 bi-fuel (dvoupalivového automobilu) pro demonstraci možností snížení emisí u vozidla poháněného vodíkem. Výrobce odstranil benzinový systém včetně vstřikovačů paliva, palivových vedení,



Obrázek 19 BMW Hydrogen 7 a upravený motor V12 [56]

palivového filtru, vysokotlakých čerpadel, které zvyšovaly nežádoucí ztráty. Benzinová nádrž ve vozidle zůstala, protože se jedná o konstrukční prvek. Vůz je vybaven zdokonalenými katalyzátory. Výsledky nezávislých testů prokázaly, že vozy na tento druh paliva dosáhnou emisní hodnoty, které jsou jen zlomkem SULEV normy pro emise  $\text{NO}_x$  a CO. Spotřeba pohonných hmot na FTP-75 zkušebního cyklu činila 3,7 kg vodíku na 100 km, což odpovídá spotřebě benzínu 13,8 l na 100 km. Na dálnici byla stanovena na 2,1 kg vodíku na 100 km, což odpovídá 7,8 litru benzínu na 100 km [36].

**Ford Motor Company** v roce 2001 představil vodíkem poháněný prototyp P2000, první severoamerický. Sedan pro pět cestujících byl vybaven vysoce optimalizovaným vstřikováním vodíku, kompresním poměrem 14.5:1, 2 litrovým motorem, plynným přívodem vodíku s provozním tlakem 25 MPa. Bezpečnostní systém se skládal ze snímače unikajícího plynu, stejně tak i z prvků aktivní a pasivní bezpečnosti. P2000 splňovalo SULEV normu



Obrázek 20 Mikrobus Ford E450 na vodík [47]

pro HC a CO a emise  $\text{NO}_x$  s hodnotami od 0,37 do 0,74 g / km. Zlepšení oproti spalování benzínu představovalo 17,9%. [39]. Aby Ford ukázal komerční životaschopnost vodíku jako paliva, začal pohánět 30 mikrobusů pro 8-12 osob motorem E-450. Jedná se o první sériově vyráběný motor, určený zejména pro mikrobusy. Desetiválec do V po 90° s objemem 6571  $\text{cm}^3$  dosahuje nízkých emisí a velké účinnosti. U motoru proběhla řada úprav, mimo jiné vytvrzení ventilových sedel, nová vstřikovací soustava, sací potrubí a přeplňování. Rozvor mikrobusů je 4,5 m, celková hmotnost 6373 kg. Nádoby až na 29,6 kg vodíku při tlaku 35MPa a dojezd se pohybuje mezi 240-320 km. Cílem bylo uspokojení nadcházejících připravovaných emisních norem [38], [39].

### 3.3.2 Přehled vodíkových vozidel

Následující tabulka shrnuje nejdůležitější informace o vozidlech s vodíkovým pohonem, které byly podrobně popsány v předchozí kapitole. Shrnutí zahrnuje technologické aspekty, jako je typ použitého motoru nebo systém uchovávání vodíku, dojezd a počet vyrobených kusů.

**Tabulka 9 Přehled vozidel poháněných vodíkem [52]**

Název	Rok výroby	Motor	Nádrž	Objem nádrže	Dojezd	Počet vyrobených kusů
Rivaz	1807	1 válec	Stlačený			Prototyp
Lenoir	1860	1 válec	Elektrolýza vody			Prototyp
Norsk Hydro	1933		Amoniaková reformace			Prototyp
Musashi 1	1974		Stlačený			Prototyp
Musashi 2	1975		Zkapalněný	230 litrů		Prototyp
Musashi 3	1977	dvoutakt	Zkapalněný	65 litrů		Prototyp
BMW	1979	3,5 l	Zkapalněný		300 km	
Ford P2000	2001	2 L V4	Stlačený	1,5 kg	100 km	
BMW Hydrogen 7	2003	6 L V12	Zkapalněný	8 kg	200 + 480 km	~100
Mazda RX-8 Hydrogen RE	2003	2 × 654 cm <sup>3</sup>	Stlačený	2,4 kg	100 + 550 km	>30
Ford Shuttle Bus	2004	6,8 L V10	Stlačený	29,6 kg	240-320 km	
ETEC Silverado	2004	6 L V8	Stlačený	10,5 kg	335 km	~20
Quantum Prius	2005	1,5 L V4	Stlačený	1,6 kg	100-130 km	>30

### 3.3.3 Vodík v kombinaci s jinými palivy

Vlastnosti vodíku, zejména jeho veliké meze hořlavosti, ho předurčují ke kombinaci s dalšími palivy a tím zlepšuje vlastnosti hoření. Na základě strategie složení směsi lze rozlišovat mezi provozní směsí a dvoupalivovým provozem. Dvoupalivová směs je směs vodíku s dalším z plynných paliv. Obvykle se již ve formě směsi uchovává a do motoru se v této podobě dopravuje pomocí karburátoru nebo vstřikovací soustavy. Vodík se často používá ke zlepšení chudé směsi při provozu na zemní plyn. Naopak dvoupalivový provoz znamená jakákoliv kombinace vodíku a kapalného paliva. Používá se několik zařízení pro přípravu směsi. Tyto systémy využívají oddělené skladování pro různá paliva a někdy se dokonce může vodík generovat přímo na palubě vozu [52].

### **Směsi se složkou vodíku**

Vodík má rychlost hoření, která je několikanásobně vyšší než metanu. Bylo ověřeno celkově lepší spalování s přidáním vodíku k zemnímu plynu. I v širokém rozsahu provozních podmínek (lambda, kompresní poměr, atd.) se ukazují výhody ve formě vyšší účinnosti, nižší produkce CO<sub>2</sub> a emisí [40], [41], [42]. S přidavkem vodíku do zemního plynu se dosáhne velmi nízké úrovně emisí, které odpovídají vozu s nulovými emisemi (EZEV) [40]. Studie na přeplňovaném zážehovém motoru provozovaného na zemní plyn, poté na směsi vodíku a zemního plynu (20/80 a 30/70 H<sub>2</sub>/% obj. zemní plyn), prokázal, že je možné dosáhnout nižších emisí NO<sub>x</sub> a uhlovodíků bez ztráty krouticího momentu a změny spotřeby paliva [43]. Hythane ® je registrované palivo ze směsi 20% objemu H<sub>2</sub> a 80% objemu metanu, s ochrannou známkou je majetkem Eden Innovations Ltd Hythane Denver. Projekt v roce 1991 ukázal více než 75% snížení emisí CO a NO<sub>x</sub> při provozu na Hythane [44].

#### **3.3.3.1 Vodík jako dominantní směs**

Přidáním metanu k vodíku se výrazně zlepšuje skladovaná hustota energie. Mícháním vodíku s 5% obj. metanu se zvyšuje energetický obsah o 11%, ovšem při 20% obj. směsi metanu s vodíkem již o 46% ve srovnání s čistým vodíkem [45]. Testy provedené na jednoválcovém zkušebním motoru, který spaluje čistý vodík, ale i směsi 5 a 20% obj. příměsi metanu ukázal mírné snížení emisí NO<sub>x</sub>, ale zároveň se zvýšeným obsahem metanu se při nízkých zatíženích snížila efektivnost [48]. Vůz Mercedes Benz E 200 NGT (dvoupalivový benzín - zemní plyn) byl upraven k provozu na benzín, zemní plyn, vodík a jakýkoliv poměr vodíku / zemního plynu. Na motorové brzdě se ukázalo až 3% zlepšení tepelné účinnosti při provozu s vodíkem než s benzinem [48].

#### **3.3.3.2 Směs vodíku, motorové nafty, bionafty**

General Motors testoval přeplňovaný naftový motor 1.3, Common Rail, 53-66kW, na směs 20% bionafty, 80% motorové nafty a až 10% obj. vodíku. Bylo naměřeno mírné snížení emisí NO<sub>x</sub> a zvýšení teploty výfukových plynů bez dopadu na spotřebu, efektivnost a jízdní vlastnosti motoru [47]. Použitím vodíku v sání se prokázalo spojitě snížení kouřivosti, emisí CO a uhlovodíků HC [49].

### 3.3.3.3 Směs vodíku, benzínu, ethanolu

Zkušební výsledky na vozu GMC Sierra 2500 při provozu 40/60 obj.% vodíku/benzínu prokázaly snížení spotřeby o 3% v městském provozu a o 4% mimo. Průměrná míra substituce 40-50% vodíku vedla ke snížení emisí CO, NO<sub>x</sub> a HC o 20-28% [50].

Zkoušky, provedené na jednoválcovém zkušebním motoru s proměnným kompresním poměrem 7:1, 9:1 a 11:1 a směsí 0, 20, 40, 60 a 80% obj. vodíku s ethanolem, ukázaly rostoucí tepelnou účinnost až 4% se zvýšeným kompresním poměrem, stejně jako při 60% obj. vodíku. Nicméně důsledkem nízké energetické hustoty vodíku se výkon snížil o 10% při porovnání s čistým ethanolem [51].

### 3.3.4 Celkové shrnutí vodíku

Vodík se zdá být ideálním alternativním palivem pro spalovací motory, zejména pokud by se rozšířila síť čerpacích stanic. V ČR byla první postavena v roce 2009 v Neratovicích. Čerpají z ní stlačený vodík autobusy, jezdící na lince Praha-Mělník. Ačkoliv je vodík nejrozšířenějším prvkem ve vesmíru, není bohužel volně k dispozici v molekulární formě a musí být vyroben pomocí jiných zdrojů (větrné elektrárny, vodní elektrárny, fotovoltaické elektrárny). Je proto považován za nosič energie, než jako zdroj energie. Aby se rozšířil vývoj a prodej vozů na vodík a projekt auta na vodík byl komerčně realizovatelný, musela by se vyřešit jeho distribuce a metody skladování. Jedinečné vlastnosti vodíku ve srovnání s konvenčními kapalnými palivy jako je benzín, ale i plynnými palivy, jako je metan, se jeví slibně pro použití ve spalovacích motorech. Velkou pozornost vyžadují zejména nízká energetická hustota 0,08 kg/m<sup>3</sup> při 300 K a 0,1 MPa, široké rozsahy hořlavosti v rozmezí 4-75% obj. vodíku ve vzduchu a nízké minimální zápalné energie 0,02 mJ. Faktor rychlosti laminárního hoření při stechiometrických podmínkách (360 K) je přibližně 290 cm/s, což je 6x více než u benzínu či metanu. Přímé vícebodové vstřikování vodíku vede ke snížení emisí NO<sub>x</sub> až o 95%. Vodík vyžaduje naprosto specifické požadavky na bezpečnost, především pro neviditelnost hořících plamenů a tímto směrem se ubírá vývoj kamer. Vnitřní spalování vodíku v motorech má za sebou dlouhou historii, sahající až do roku 1807. Významný rozvoj byl proveden Musashi Institute of Technology, BMW, stejně tak i Ford Motor Company. Moderní H2ICE vozidla ukázaly emisní hodnoty, které jsou jen zlomkem z nejpřísnějších norem. Na rozdíl od použití vodíku jako čistého paliva, je vodík také považován za spalovací stimulant (čínidlo) plynných paliv a dvoupalivových aplikací s benzínem a naftou. Spousta témat ohledně vodíku zůstává stále otevřených [52].

### 3.4 Vozidla na bioplyn

Ve Švédsku se bioplyn využívá mnoho let, největším dodavatelem jsou čistírny odpadních vod a kofermentační bioplynové stanice, zpracovávající nejrůznější organické odpady a suroviny. 60% se vyrobí z čistírenských kalů a 30% potom ze skládek, zbytek z průmyslových odpadních vod. Před naplněním do vozu projde při výrobě nasycením



Obrázek 21 Stání autobusů Volvo s plněním bioplynu [29]

ze 45-75% metanu na 95% metanu. Vzniklý plyn lze spalovat ve vozech používající systém na provoz CNG. Získaný bioplyn se využívá pro provoz více než 5300 vozů, z nichž 3500 je osobních. Nejvíce z nich jezdí v Linköpingu a jsou z hlediska osvobození od daně perspektivnější. Bioplyn se dopravuje potrubím při tlaku 0,4 Mpa na autobusové nádraží ve městě Gumpekulla. Před plněním do vozidla se stlačí na 20 MPa. Autobus se plní automaticky přes noc prostřednictvím pomalé čerpací stanice. Vozovna autobusů je vybavena též nádržemi kapalného zemního plynu (LNG). Bioplyn se může smíchat se zemním plynem při nedostatečné produkci. Pokud je ovšem poptávka po bioplynu nízká, uchovává se v nádržích. Bioplynových stanic na území Švédska je již v dnešní době přes 60. Výrobní náklady na bioplyn se pohybují v rozpětí 1,5-2,5 centu/m<sup>3</sup>. Prodejní cena se pohybuje okolo 86 centů / m<sup>3</sup>. Bioplyn získaný z odpadu je cenově výhodnější, neboť se část hradí z prodeje odpadu. Mapu čerpacích stanic obsahuje příloha 2., kde je možné vidět počty stanic ve velkých městech Švédska [52].

Ve Francii se získává bioplyn z čistírny odpadních vod na předměstí Lille. Miliony m<sup>3</sup> bioplynu se využívají pro pohon místních autobusů. Město propaguje čistou energii a snaží se upoutat pozornost dalších měst a podnítit tím snahu o další rozšíření tohoto druhu využití organických odpadů [53]. Ve Švýcarsku se bioplyn nazývá komposgas, upravuje se na kvalitu zemního plynu a dále se distribuje do veřejných bioplynových čerpacích stanic [2].

## 4. Well to Wheel analýza

Alternativní paliva se z hlediska udržitelného rozvoje analyzují a hledají odpovědi na otázku, které z nich je nejlepší. Nejvíce používanou a nejlépe vypovídající se jeví Well to Wheel analýza. Ta stanovuje pro jednotlivé pohony produkci oxidu uhličitého v gramech na 100 ujetých kilometrů dle jízdního cyklu NEDC. Analýza vychází z analýzy životního cyklu paliva, tzn. od výroby po spalení v motoru. Metoda se skládá ze dvou základních metod:

1. **WELL TO TANK (od zdroje do nádrže)**
2. **TANK TO WHEEL (z nádrže ke kolům)**

[54]

### Analýza nejběžnějších alternativních pohonů a paliv

Analýza si stanovuje cíl, stanovit spotřebu fosilní energie v MJ/ 100 km a produkci CO<sub>2ek</sub>. CO<sub>2ek</sub> označuje všechny složky podílející se na tvorbě skleníkového efektu, přepočtenou na CO<sub>2</sub>. Pro Evropu se mezi nejvýznamnější řadí Well to Wheel analýza motorových paliv (Well to Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context), kterou vypracovává EUCAR (the European Council for Automotive R&D), CONCAVE (the Oil Companies European Association for Environment, Health and Safety in Refining and Distribution) a JRC (the Joint Research Centre of the EU Commission). Analýza zohledňuje technickou vyspělost spalovacích motorů, která odpovídá roku 2002 a předpokládá pro rok 2010 [1], [2].

#### 4.1 Well to Tank (WTT)

Posuzování energetické náročnosti a produkce emisí skleníkových plynů při fázích výroby paliva. U fosilních paliv (zemní plyn) se jedná o těžbu suroviny, dopravu do rafinerie, výrobu paliva a její následnou distribuci. U biopaliv se zkoumá druh použité půdy, způsob jakým se obdělává, druh a množství aplikovaných hnojiv, sklizeň a přeprava ke zpracování, zpracování a distribuce k čerpacím stanicím [1].

#### 4.2 Tank to Wheel (TTW)

Metoda navazuje na předchozí. Nazývá se „od nádrže ke kolům“. Cílem metody je posouzení energetické náročnosti a produkce emisí skleníkových plynů při spalování ve spalovacím

motoru. Bere v úvahu kvalitu jednotlivých paliv a možnost jeho spalování (účinnost spalování) [1].

### **4.3 Porovnání energetické náročnosti fází „životního cyklu“, které předchází spotřebě (WTT)**

V grafech v příloze 4 jsou uvedeny hodnoty energie WTT, které se vztahují na využitelný obsah paliva z hlediska energie. Obecně lze říci, že u většiny alternativních paliv, s výjimkou zemního plynu a LPG, se fáze před spotřebou paliva jeví značně výrobně a energeticky náročná. V lepším případě se rovná energeticky využitelný obsah paliva spotřebě energie na jeho výrobu, tedy ve fázi WTT - např. vodík vyrobený ze ZP nebo biomasy. Ovšem ve většině uvedených možností energetický obsah několikrát překračuje (1,5-5 krát) - např. elektrolyticky vyrobený vodík. Dále se ukazuje, že biomasa a přírodní zdroje obsahují energii málo koncentrovanou. Z tohoto aspektu plyne fakt, že velká část energetického potenciálu zdroje paliva se spotřebuje na výrobu alternativního paliva. Tím se snižuje využitelnost v konečné fázi spotřeby.

Grafy dále prezentují zastoupení fosilních zdrojů ( $WTW_{fos}$ ), které připadá na jednotku alternativního paliva, která se spotřebuje pro pohon vozidla (TTW). Data prezentují fakt, že při výrobě alternativních paliv se větší či menší měrou podílí na výrobě energie získaná z neobnovitelných zdrojů (elektrická energie, motorové palivo v dopravě a zemědělství). Naopak minimální spotřebu energie z neobnovitelných zdrojů tvoří využití biomasy v kogeneračních jednotkách [54], [1].

### **4.4 porovnání průměrných nákladů spojených s výrobou a distribucí vybraných alternativních motorových paliv v závislosti na ceně surové ropy**

Sloupcové grafy v příloze 5 ukazují průměrné náklady s výrobou a distribucí alternativních paliv v závislosti na ceně ropy (surové). Data prezentují, že konvenční kapalná paliva z ropy jsou oproti alternativním levnější. Jedinou výjimku tvoří zemní plyn a stlačený vodík, vzniklý zplyňováním dřevní hmoty. Naopak nejdražším se ukazuje elektrolyticky vyrobený vodík. Ovšem je nutno dodat, že se vzrůstající cenou ropy za barel, se stávají alternativní paliva více konkurenceschopná.



Velmi důležité kritérium představuje celková produkce GHG plynů (přepočtených na CO<sub>2</sub>), vztažených na jednotku spotřebované energie. Hodnoty prezentují grafy z přílohy 6. Plyne z nich, že výrazně snižují emise skleníkových plynů. Dokonce v případě výroby bioplynu fermentací z exkrementů hospodářských zvířat nebo etanolu (energii pro provoz zajistí kogenerační jednotka spalující slámu ve formě odpadu) vychází emise záporně. Důvod je zřetelný - efektivní využití materiálu. V případě ponechání by se samovolně uvolňovalo nezanedbatelné množství skleníkových plynů [1].

## 4.5 Shrnutí Well to Wheel analýzy

Graf v příloze 7 prezentuje produkci GHG plynu za celou dobu výroby paliva, distribuci a spotřebu alternativních paliv. Vyplývá finanční náročnost v úspoře skleníkových plynů, pokud se srovnají s konvenčními fosilními palivy. V nejlépe hodnoceném se nachází minimum alternativních paliv - zemní plyn. S nárůstem ceny ropy se budou stávat výhodnější další plynná paliva a stanou se tak více konkurenceschopné. Nejdále od nejlepšího hodnocení se stále nachází elektrolyticky vyráběný vodík.

Graf z přílohy 8 vztahuje do souvislosti úspory CO<sub>2</sub>, který tvoří hlavní skleníkový plyn, s navýšením provozních nákladů pro osobní automobil různé úrovně a vzdálenost 100km.

Ukazuje se, že využití palivových článků v horizontu do r. 2020 je zcela pro ekonomické důvody nevýhodné. Dominantní postavení si jistě udrží spalovací motory.

Z pohledu celkové analýzy WTW jsou celkové emise při použití CNG nižší, než konvenční benzin či nafta. Faktorem, ovlivňující tuto bilanci, se stává těžba a doprava zemního plynu (průměrná vzdálenost dopravy do Evropy činí 4 000 km).

LPG prakticky nepřináší snížení skleníkových emisí (GHG) v porovnání s benzinem a naftou, ovšem významně redukuje emise polutantů, zejména u starších vozů. Zdroje se váží na zemní plyn, proto se jedná o palivo střednědobého horizontu. Naopak pro hovoří snadná dostupnost na trhu. U vodíku se bilance odvíjí od způsobu výroby. Emise se výrazně sníží jen při použití v palivových člancích. Pokud se vodík spaluje v motorech s vnitřním spalováním, je spotřebovaná energie vyšší než konvenčních paliv, ovšem cena motoru výrazně nižší než palivových článků. Přijatelným zdrojem je zemní plyn - kapacita, náklady, nízká produkce WTW emisí. Elektrolytický vodík zatěžuje životní prostředí výrobou daleko více. Obnovitelné zdroje je tak lepší využít pro výrobu elektrické energie, než jí transformovat na palivo [1], [54].

## 5. Závěr

Bakalářská práce si klade za cíl přiblížit alternativní plynná paliva. V první části se zaměřuje na jednotlivá plynná paliva, která se dnes využívají a na jejich vlastnosti, možnosti výroby, přepravy a skladování. Následně se věnuje použití alternativních paliv ve vozidlech. Zde se hovoří o systémech, které plyn regulují a dodávají do sání motoru. Vybrané vozy z výrobních závodů nebo vozy, které prošly přestavbou či prototypy, které testovaly či testují vhodnost alternativního paliva a dávají tak i náměty k dalšímu vývoji a zlepšování.

V poslední analytické části se práce zabývá Well to Wheel analýzou. Jedná se o nejvíce využívanou metodu analýzy v oblasti výroby a vzniklých nákladů a emisí skleníkových plynů při výrobě alternativního plynného paliva. Ta analyzuje a hledá odpověď z hlediska udržitelného rozvoje na otázku, které alternativní palivo je nejvýhodnější. Stanovuje pro jednotlivé pohonné plyny produkci CO<sub>2</sub> v gramech na 100 ujetých kilometrů dle definovaného jízdního cyklu. Velikou předností analýzy je posouzení životního cyklu paliva. Cyklem paliva se rozumí - od výroby až po spálení v motoru.

Pokud bude člověk hledět do budoucnosti, alternativní paliva se do jisté míry mohou stát plnocennou náhradou konvenčních kapalných ropných paliv. Je ovšem důležité, aby se alternativní palivo nejen co nejvíce přiblížilo vlastnostmi palivu konvenčnímu, ba dokonce aby ho předčilo.

Stále se zpřísnující emisní normy ovšem hovoří jasně. Emise se neustále musí snižovat a bránit se tak globálnímu oteplování. Velkým problémem se stává produkce vysokého podílu pevných částic, zejména u vznětových motorů. Ukázalo se, že vývojem stále jemnějšího vstříkávání motorové nafty vychází z motoru stále menší a menší částice, které se stávají neviditelnou hrozbou, představující především riziko vzniku rakovinového bujení a nádorových onemocnění.

Plynná paliva přináší úsporu produkce skleníkových plynů, neprodukují prakticky žádné pevné částice. Výhodu přináší jejich složení. Jednoduché uhlovodíky se lépe spalují a nevznikají tak uhlovodíky nespálené. Lépe se udržuje i stechiometrický poměr vzduchu a plynu.

Využití nachází v osobní dopravě při přepravě jednotlivců, ale hodí se pro veřejnou dopravu. Fungující systémy plynem poháněných flotil se nachází v mnoha evropských městech.

Nemusíme chodit daleko, i u nás funguje řada přepravců, kteří provozují autobusy na zemní plyn. Dokonce v roce 2009 vznikla první stanice stlačeného vodíku v České republice. Nachází se v Neratovicích a vodík z ní čerpá autobus, který se pohybuje po trase Mělník-Praha.

Mezi perspektivní projekty se určitě řadí Švédsko, které se zapojilo do projektu bioplynu. Primární projekt vznikl ve městě Linköping a dnes se již rozrůstá po okolních městech a slaví úspěchy. Zpracování odpadu a využití vzniklého plynu ve vozidlech odlehčí skládkám odpadů a druhotně poslouží i pro zemědělské účely ve formě vzniklého hnojiva.

Plynná paliva patří rozhodně mezi alternativy, které by se měly stát tématy výzkumů a dalších bádání v oblasti pohonu spalovacích motorů.

## 6. Seznam použité literatury

- [1] ŠEBOR, G. - POSPÍŠIL, M. - ŽÁKOVEC, J. Technicko - ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě [online]. Publikováno 6.2006[cit. 2012-3-15]. Dostupné z: <http://mdcr.cz>
- [2] HROMÁDKO, J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony. 1.vydání. Praha:Grada Publishing, a.s., 2012. s.160 ISBN 978-80-247-4455-1.
- [3] LOGANATHAN, M. - RAMESH, A. Study on manifold injection of LPG in two stroke SI engine, *Elsevier, J Energ Inst* 80 (2007), s. 3168-3174.
- [4] EUROPEAN LPG ASOCIATION. AEGPL [online]. Publikováno: 2010 [cit. 2013-2-3]. Dostupné z: <http://www.aegpl.eu/>.
- [5] Zkapalněný ropný plyn - LPG [online]. Publikováno: 2007 [cit. 2013-2-4]. Dostupné z: [http://lpg.cz/lpgsystemy/lpgsystemy\\_popis.php](http://lpg.cz/lpgsystemy/lpgsystemy_popis.php).
- [6] Zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích.
- [7] EHK 067R01. Dodatek 66. Zařízení pro pohon zkapalněným ropným plynem. 2007. Evropská hospodářská komise Organizace spojených národů. s.112.
- [8] VLK, F. Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vyd. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2004. s.226 ISBN 80-239-1602-5.
- [9] Zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot
- [10] GAS s.r.o.. Zemní plyn [online]. Publikováno: 2007 [cit. 2013-2-12]. Dostupné z: <http://zemniplyn.cz/doprava/default.html>.
- [11] ČSN 38 6110 Zemní plyn- standartní referenční podmínky.
- [12] LAURIN, J.: Zkapalněný zemní plyn jako motorové palivo. PLYN, 81, 2001, 8-9. Český plynárenský a naftový svaz Praha. Praha 2001. ISSN 0032-1761.
- [13] CNG4YOU.CZ [online]. Publikováno: 2011 [cit. 2013-2-15] Dostupné z: <http://cng4you.cz>.
- [14] vyhláška 341/2002 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích.
- [15] RWE.CZ. [online]. Publikováno:2011 [cit. 2013-2-16]. Dostupné z: <http://cng.cz>.
- [16] CNGPLUS.CZ [online]. Publikováno: 2010 [cit. 2013-2-18]. Dostupné z: <http://cngplus.cz>.
- [17] BALAJKA, J.:Vodík a jiné nosiče energie [Hydrogen and others energy carriers], Praha: Alfa, 1982. s.312 ISBN: 63-28-82.

- [18]SCHELEF, M.- KUKKONEN, C.A. Prospects of hydrogen-fueled vehicles, *Prog Energy Combust, Elsevier, Sci* 20 (1994), s. 139-148.
- [19]WEINDORF, W.- ALTMANN, M.: Yield of biofuels versus hydrogen from photovoltaics and wind power, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, 2007.
- [20]SPATH, P. - MANN, M.: Life cycle assessment of hydrogen production via natural gas steam reforming, National Renewable Energy Laboratory, US Department of Energy Laboratory, Contract No, DE-AC36.
- [21]BIANCHI, A.: Impact assessment of three hydrogen production process over the life cycle assessment methodology, LCA STAGE, (2007).
- [22]BP Statistical Review of World Energy [online], 2011. [cit. 2013-2-25]. Dostupné z: <http://bp.com>
- [23]GLASSMAN, I.: COMBUSTION, *Elsevier, Academic Press*, 1987.
- [24]HOLLADAY, J.D. - HU, J. - KING, D.L. - WANG, Y.: An overview of hydrogen production technologies, *Elsevier, Catalysis Today*, Volume 139, Issue 4, (2009), s. 244-260, ISSN 0920-586.
- [25]H<sub>2</sub>BUS [online], 2009. [cit. 2009-02-04]. Dostupný z: <http://www.h2bus.cz/vyrobavodiku> .
- [26]FAIRBANKS, J.W.: Engine maturity, efficiency and potential improvements, Elsevier, Diesel Emission Reduction Conference, (2004).
- [27]FUHURAMA, S.: Problems of forecasting the future of advanced engines and engine characteristics of the hydrogen injection with LH<sub>2</sub> tank and pump *Trans, Elsevier, ASME Journal Eng Gas Turbines Power* 119 (1982), s. 227-242.
- [28]FUHURAMA, S. - KOBAYASHI, Y.: A liquid hydrogen car with a two-stroke direct injection engine and LH<sub>2</sub>-pump, *Elsevier, Int Journal Hydrogen Energy* 7 (1982), s. 809-820.
- [29]VERHELST, S.- MAESSCHALCK, P. -ROMBAUT, N.-SIERENS, R. Increasing the power of hydrogen internal combustion engines by means of supercharging and exhaust gas recirculation, *Elsevier, Int Journal Hydrogen Energy* 34 (2009), s. 4406-4412.
- [30]LOHSE, H.A.- WALLNER, T. - FLEMING, J. Transient efficiency, performance, and emissions analysis of a hydrogen internal combustion engine pick-up truck. SAE Paper No. 2006-01-3430 (2006).
- [31]ABELE AR. Quantum hydrogen prius. ARB ZEV Technology Symposium (Sacramento, California, 2006).

- [32] KIESGEN, G. - KLÜTING, M. - BOCK, C. - FISCHER, C. The new 12-cylinder hydrogen engine in the 7 series. The H2 ICE age has begun. SAE Paper No. 2006-01-0431 (2006).
- [33] KLUGESCHEID, A. BMW introduces world's first hydrogen-drive luxury performance car - the BMW HYDROGEN 7. Press release BMW of North America, LLC (2006).
- [34] MAZDA. Mazda Renesis hydrogen rotary engine (2003).
- [35] WAKAYAMA, N. - MORIMOTO, K. - KASHIWAGI, A. - SAITO, T. Development of hydrogen rotary engine vehicle. 16th World Hydrogen Energy Conference (Lyon, France, 2006).
- [36] WALNNER, T. - LOHSE-BUSCH, H. - GURSKI, S. - DUOBA, M. - THIEL, W. - MARTIN, D. Fuel economy and emissions evaluation of a BMW hydrogen 7 mono-fuel demonstration vehicle, *Elsevier, Int Journal Hydrogen Energy* 33 (2008), s. 7607-7618
- [37] SZWABOWSKI, S. - STOCKHAUSE, W. - NATKIN, R. - REAMS, L. - KABAT, D. - POTTS, C. Ford hydrogen engine powered P2000 vehicle. SAE Paper No. 2002-01-0243 (2002).
- [38] NATKIN, R. - DENLINGER, A. - YOUNKINS, M. - WEIMER, A. - HASHEMI, S. - VAUGHT, A. Ford 6.8l hydrogen IC engine for the E-450 shuttle van. SAE Paper No. 2007-01-4096 (2007).
- [39] RICHARDSON, A. - GOPALAKRISHNAN, R. - CHHAYA, T. - DEASY, S. - KOHN, J. Design considerations for hydrogen management system on Ford hydrogen fueled E-450 shuttle bus. SAE Paper No. 2009-01-1422 (2009).
- [40] SIERENS, R. - ROSSEEL, E. Variable composition hydrogen/natural gas mixtures for increased engine efficiency and decreased emissions, *Elsevier, Journal Eng Gas Turbines Power* 122 (2000), s. 135-140.
- [41] BAUER, C.G. Forest Effect of hydrogen addition on the performance of methane-fueled vehicles. Part I: effect on S.I. engine performance, *Elsevier, Int Journal Hydrogen Energy* 26 (2001), s. 55-70.
- [42] BAUER, C.G. Forest Effect of hydrogen addition on the performance of methane-fueled vehicles. Part II: driving cycle simulations, *Elsevier, Int J Hydrogen Energy* 26 (2001), s. 71-90.

- [43] MUNSHI, S. Medium/heavy duty hydrogen enriched natural gas spark ignition IC engine operation. Proceedings 1st international symposium on hydrogen internal combustion engines. s. 71-82 (Graz, Austria, 2006).
- [44] ORTENZI, F. - CHIESA, M. - SCARCELLI, R. - PEDE, G. Experimental tests of blends of hydrogen and natural gas in light-duty vehicles, *Elsevier*, Int Journal Hydrogen Energy 33 (2008), s. 3225-3229.
- [45] WALLNER, T. - LOHNSE-BUSCH, H. - NG, H. - PETERS, R.W. Results of research engine and vehicle drive cycle testing during blended hydrogen/methane operation. Proceedings National Hydrogen Association Annual Conference (San Antonio, Texas, 2007).
- [46] WALLNER, T. - NG, H. - PETERS, R.W.: The effects of blending hydrogen with methane on engine operation, efficiency and emission. SAE Paper No. 2007-01-0474 (2007).
- [47] EICHLSEDER, H. - KLELL, M. - SARTORY, M. - SCHAFFER, K. - LEINER, D. Potential of synergies in a vehicle for variable mixtures of CNG and hydrogen. SAE Paper No. 2009-01-1420 (2009).
- [48] SHIRK, M.G. - McGUIRE, T.P. - NEAL, G.L. - HAWORTH, D.C. Investigation of a hydrogen-assisted combustion system for a light-duty diesel vehicle, *Elsevier*, Int Journal Hydrogen Energy 33 (2008), s. 7237-7244.
- [49] KUMAR, M.S. - RAMESH, A. - NAGALINGAM, B. Use of hydrogen to enhance the performance of a vegetable oil fuelled compression ignition engine, *Elsevier*, Int Journal Hydrogen Energy 28 (2003), s. 1143-1154.
- [50] SULATISKY, M. - HILL, S. - LUNG, B. Dual-fuel hydrogen pickup trucks. 16th World Hydrogen Energy Conference (Lyon, France, 2006).
- [51] YOUSUFUDDIN, S. - MEHDI, S.N. - MASOOD, M. Performance and combustion characteristics of a hydrogen-ethanol-fuelled engine, *Elsevier*, Int Journal Energy Fuels 22 (2008), s. 3355-3362.
- [52] SHANAZ, A. - HENNIG, D. - KARLSSON, B.G. Simulation and introduction of a CHP plant in a Swedish biogas system, *Elsevier*, Renewable Energy 49, (2013), s. 242-249.
- [53] ENVIWEB [online] Publikováno: 2012 [cit. 2013-3-1] Dostupné z: [http:// enviweb.cz](http://enviweb.cz)

- [54] EUCAR, CONCAVE, JRC: Well to Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context [online]. Publikováno: 2007 [cit. 2013-3-18]  
Dostupné z: [http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTW\\_Report\\_010307.pdf](http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTW_Report_010307.pdf)
- [55] JAPANESE NOSTALGIC CAR [online]. Publikováno: 2013 [cit. 2013-3-21]  
Dostupné z: <http://japanesenostalgicar.com>
- [56] BMW [online]. Publikováno: 2013 [cit. 2013-3-18] Dostupné z: <http://bmw.com>



## 7. Seznam zkratek, tabulek, obrázků

### 7.1 Seznam zkratek

$\lambda$	-	součinitel přebytku vzduchu
LPG	-	zkapalněný ropný plyn
CNG	-	stlačený zemní plyn
LNG	-	zkapalněný zemní plyn
H <sub>2</sub>	-	vodík
MPa	-	megapascal
AEGPL	-	European LPG Association
ČSN	-	Česká státní norma
MDS	-	Ministerstvo dopravy a spojů
EHK	-	Ekonomická komise OSN pro Evropu
NO <sub>x</sub>	-	oxidy dusíku
CBM	-	Coal Bed Methan
H <sub>2</sub> S	-	sulfan
BLEVE	-	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion
MEA	-	Monoethanolamin
DMEA	-	Dimethylethanolamin
SHHP	-	Scandinavian Hydrogen Highway Partnership
TSi	-	Turbo Stratified Injection
MPi	-	Multi Point Injection
VRA	-	Vehicle Refuelling Appliance
SULEV	-	Super Ultra Low Emmissions Vehicle
BMW	-	Bayerische Motoren Werke
FIAT	-	Fabrica Italiana Automobili Torino
FTP-75	-	Federal Test Procedure

EZEV	-	Equivalent Zero Emission Vehicle
HC	-	směs uhlovodíků
NEDC	-	New European Driving Cycle
EUCAR	-	European Council for Automotive R & D
CONCAVE	-	the Oil Companies European Association for Environment, Health and Safety in Refining and Distribution
JRC	-	Joint Research Centre
WTT	-	Well to Tank
TTW	-	Tank to Wheel
GHG	-	Greenhouse Gas

## 7.2 Seznam tabulek:

Tabulka 1 Složení zemního plynu [1].....	3
Tabulka 2 OČ v závislosti na složení LPG [1].....	5
Tabulka 3 Vlastnosti propanu, butanu a benzínu [1].....	6
Tabulka 4 Emise jednotlivých typů vozidel v závislosti na druhu paliva [8].....	7
Tabulka 5 Vlastnosti zemního plynu [8] .....	11
Tabulka 6 Kvalitativní parametry zemního plynu požadované normou ČSN 38 6110 ve srovnání s parametry tranzitního zemního plynu [1].....	12
Tabulka 7 Vlastnosti vodíku v porovnání s metanem, iso-oktanem [24].....	17
Tabulka 8 Srovnání spotřeby ŠKODA Octavia III [16].....	29
Tabulka 9 Přehled vozidel poháněných vodíkem [54] .....	35

### 7.3 Seznam obrázků:

Obrázek 1 Předpokládané a prokázané zásoby zemního plynu [10] .....	9
Obrázek 2 LNG tanker [10].....	11
Obrázek 3 1. vodíková čerpací stanice v Stavangeru [25] .....	17
Obrázek 4 Čerpací stanice vodíku v Neratovicích [26].....	18
Obrázek 5 Výroba bioplynu Linköping [31] .....	20
Obrázek 6 Schéma LPG systému Škoda Fabia [5].....	22
Obrázek 7 Centrální směšovač a podtlaková regulace [5] .....	23
Obrázek 8 Jednobodé směšování LPG [5] .....	24
Obrázek 9 Sekvenční vstřikování LPG bez EOBD a OBD II .....	24
Obrázek 10 Sekvenční vstřikování LPG s EOBD A OBD II [5] .....	24
Obrázek 11 Vstřikování kapalně fáze LPG [5] .....	25
Obrázek 12 Schéma rychloplnicí stanice [15].....	26
Obrázek 13 Schéma pomaluplnicí stanice [15] .....	26
Obrázek 14 Octavia 1.4 TSi CNG [16] .....	29
Obrázek 15 Volvo V70 CNG [16].....	29
Obrázek 16 Fiat Panda 0.9 CNG s agregátem Fiat 0.9 TwinAir [16] .....	30
Obrázek 17 Musashi 1 Datsun: Nissan Sunny poháněný zkapalněným vodíkem [57].....	31
Obrázek 18 ETEC H2ICE pick-up GMC Silverado [32].....	32
Obrázek 19 BMW Hydrogen 7 a upravený motor V12 [58].....	33
Obrázek 20 Mikrobus Ford E450 na vodík [49].....	34
Obrázek 21 Stání autobusů Volvo s plněním bioplynu [31] .....	38

## **8. Seznam příloh**

**Příloha 1.** Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů a biomasy

**Příloha 2.** Schéma vzniku bioplynu fermentací

**Příloha 3.** Bioplynové stanice na území Švédska

**Příloha 4.** Porovnání vybraných plyných paliv a způsoby jejich výroby

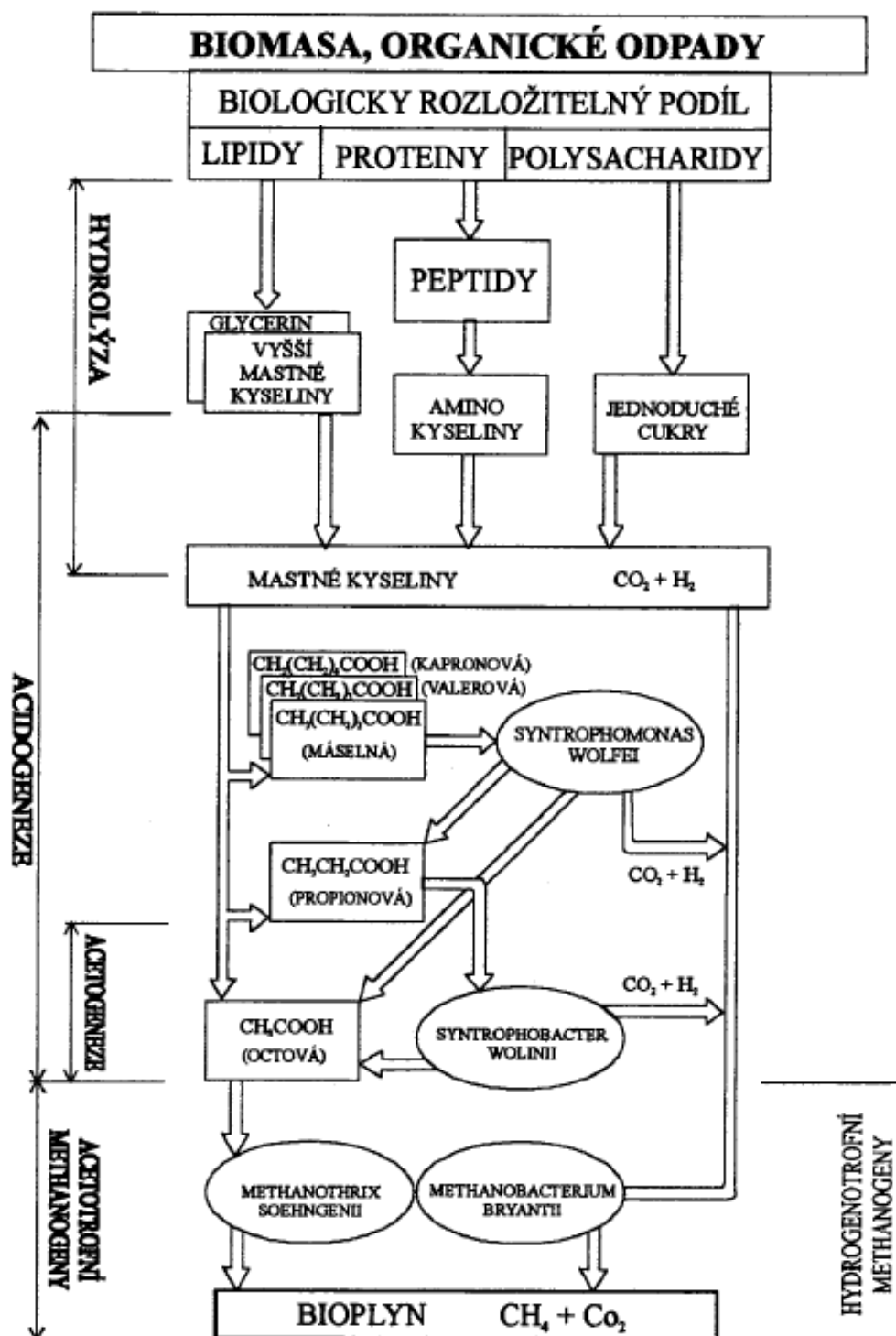
**Příloha 5.** Porovnání vybraných nákladů pro alternativní plyná paliva a různé způsoby výroby

**Příloha 6.** Celkové emise CO<sub>2</sub>

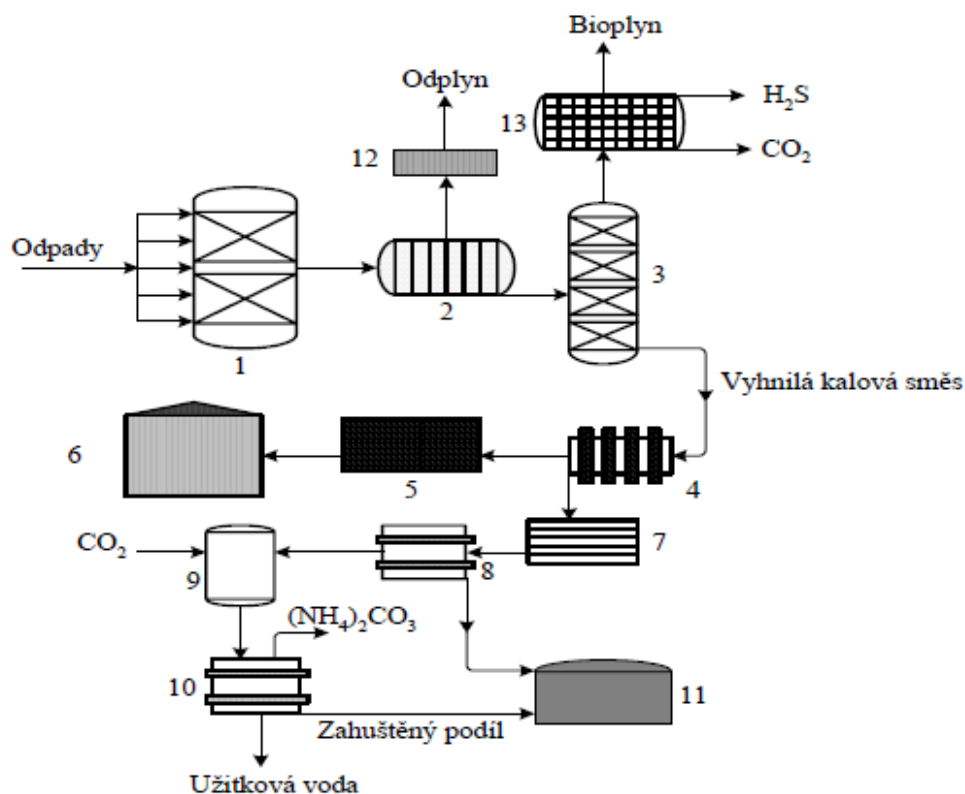
**Příloha 7.** Porovnání výrobní ceny alternativních paliv a emisí GHG plynů při jejich použití jako motorových paliv (situace odpovídající ceně ropy 60 USD/barel)

**Příloha 8.** Porovnání alternativních paliv z hlediska navýšení provozních nákladů a úspory GHG plynů při jejich spotřebě v motorových vozidlech různé technické úrovně

Příloha 1. Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů a biomasy [1]

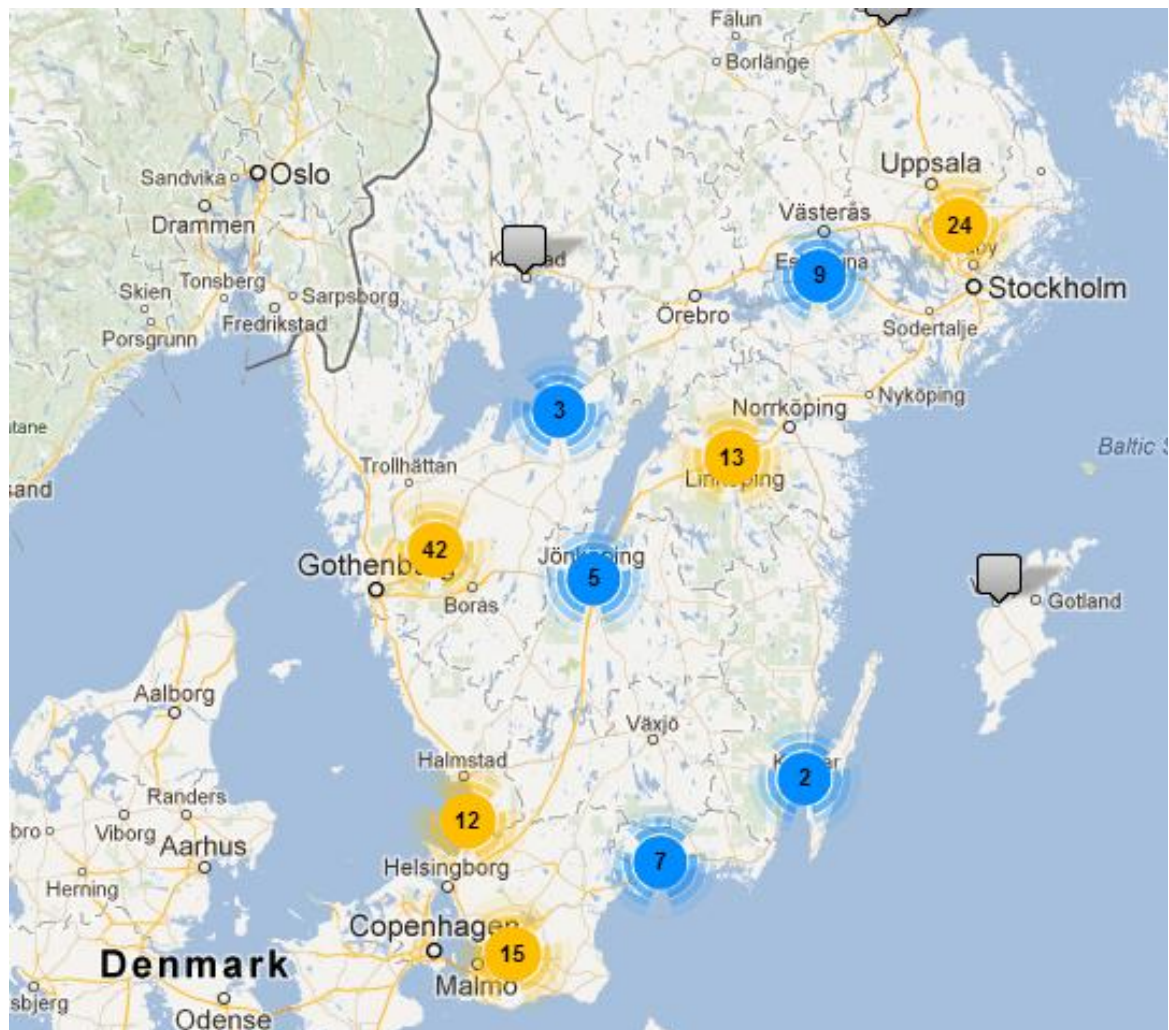


**Příloha 2.** Schéma vzniku bioplynu fermentací [1]



(1 - homogenizace odpadů, 2 - pasterizace, 3 - fermentační reaktor, 4 - separace vlákniny, 5 - zpracování vlákniny, 6 - výroba kompostu, 7 - oddělení suspenze filtrací, 8 - reverzní osmóza, 9 - separace amoniaku, 10 - reverzní osmóza, 11 - zásobník hnojivého koncentrátu, 12 - biofiltr, 13 - čišění bioplynu)

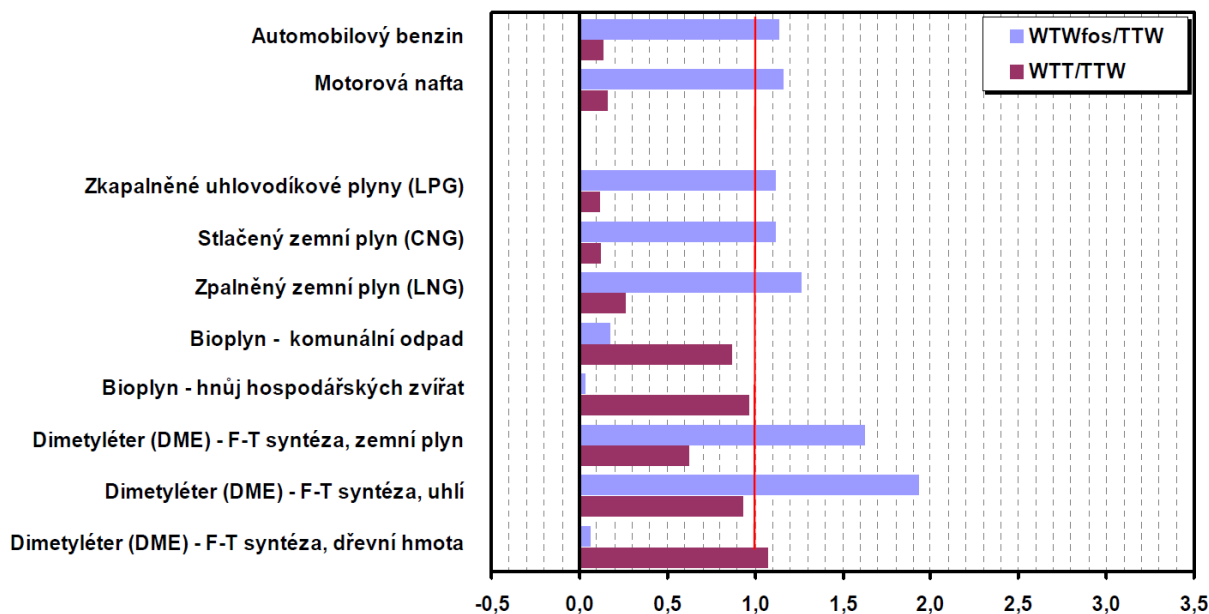
**Příloha 3.** Bioplynové stanice na území Švédska [52]



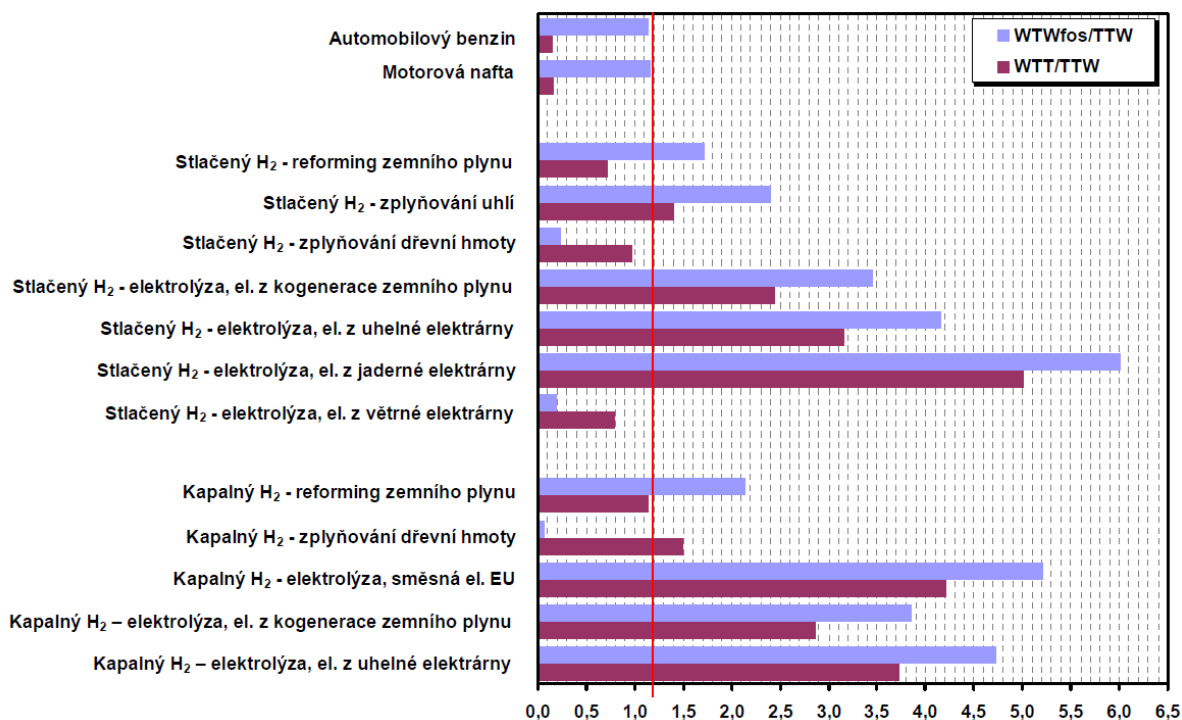


#### Příloha 4. Porovnání vybraných plynných paliv a způsoby jejich výroby [1]

**Graf 1.** Porovnání vybraných plynných alternativních paliv a způsobů jejich výroby z hlediska rel. spotřeby energie ve fázi jejich výroba distribuce (WTT) a celkové spotřeby energie z fosilních zdrojů ( $WTW_{fos}$ ) -vztaženo na využitelný obsah energie při spotřebě (TTW)

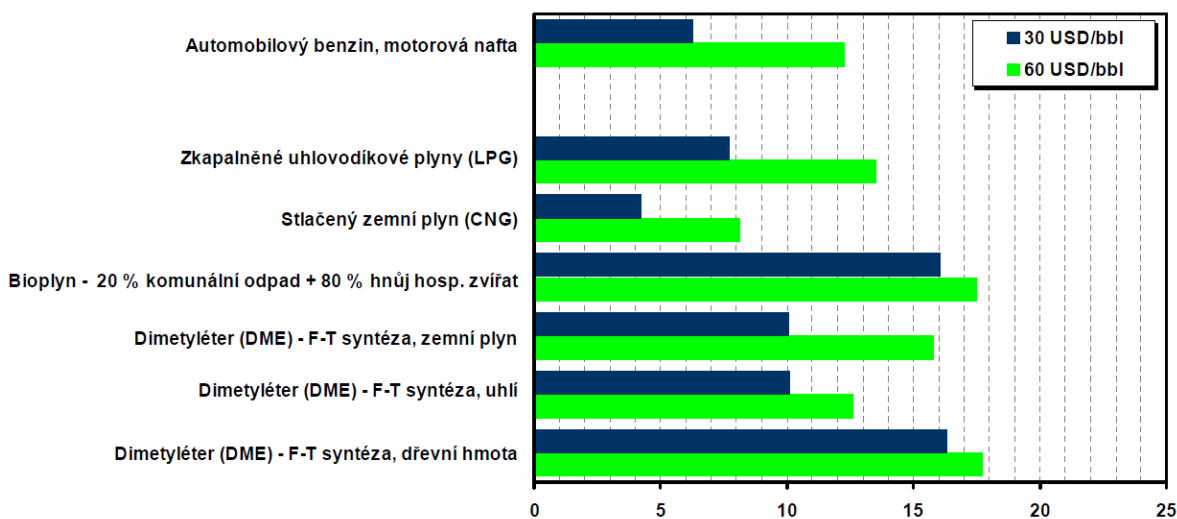


**Graf 2.** Porovnání vybraných způsobů výroby vodíku z hlediska relativní spotřeby energie ve fázi výroby a distribuce (WTT) a celkové spotřeby energie z fosilních zdrojů ( $WTW_{fos}$ ) -vztaženo na využitelný obsah energie při spotřebě (TTW)

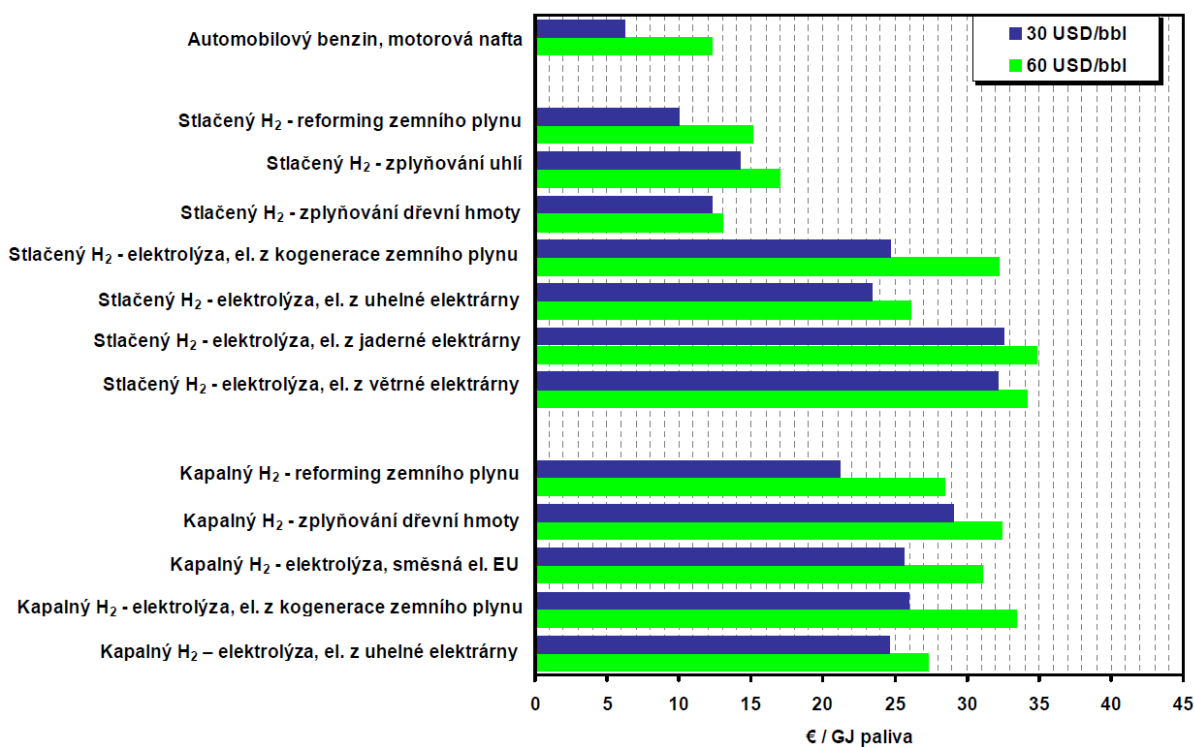


**Příloha 5.** Porovnání vybraných nákladů pro alternativní plynná paliva a různé způsoby výroby [1]

**Graf 3.** Porovnání výrobních nákladů pro různá alternativní plynná paliva a různé způsoby jejich výroby v závislosti na ceně ropy

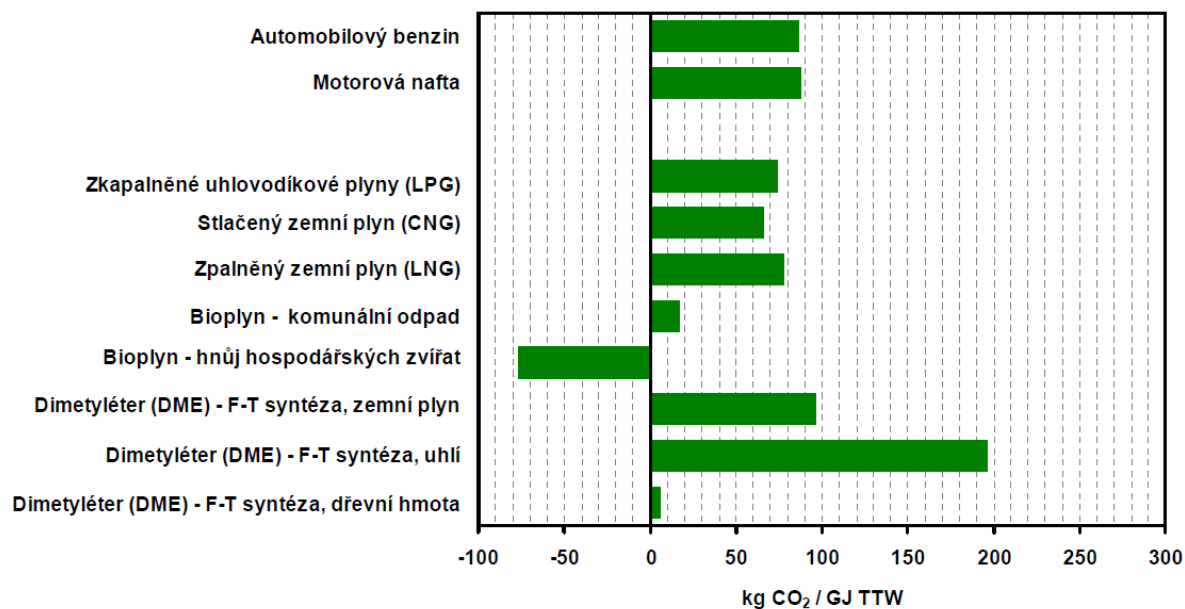


**Graf 4.** Porovnání výrobních nákladů pro různé způsoby výroby vodíku v závislosti na ceně ropy

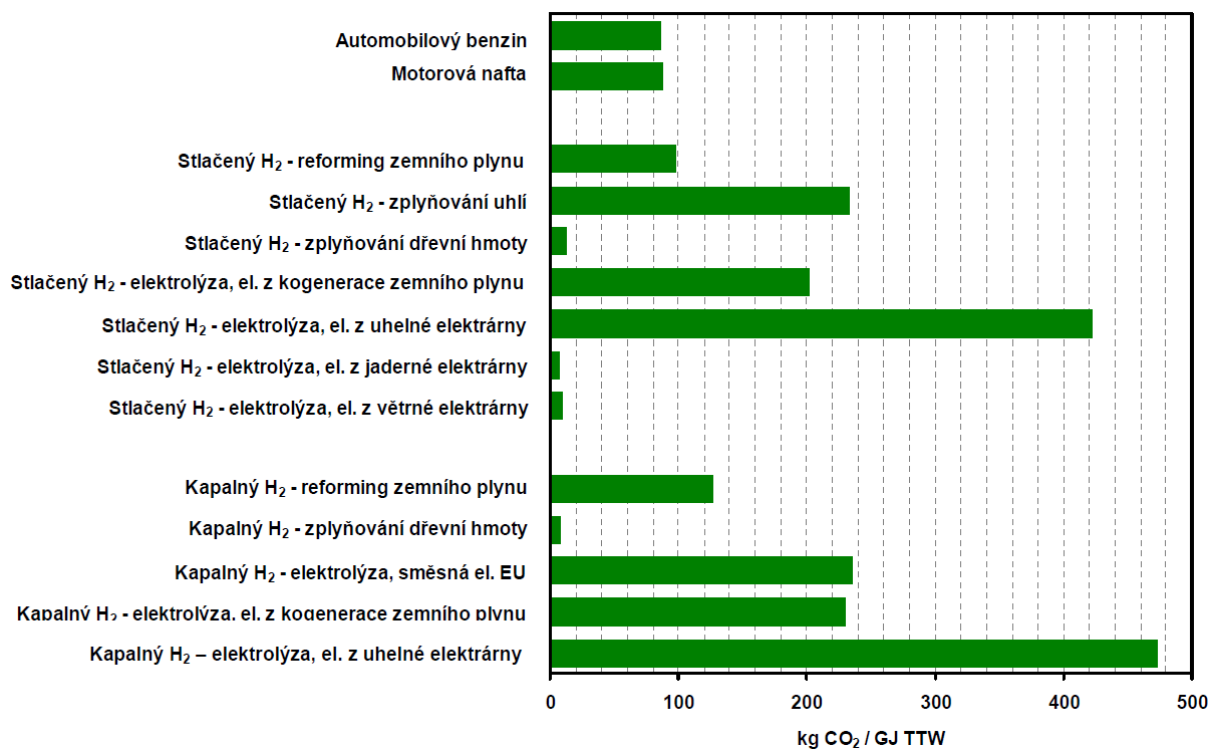


## Příloha 6. Celkové emise CO<sub>2</sub> [1]

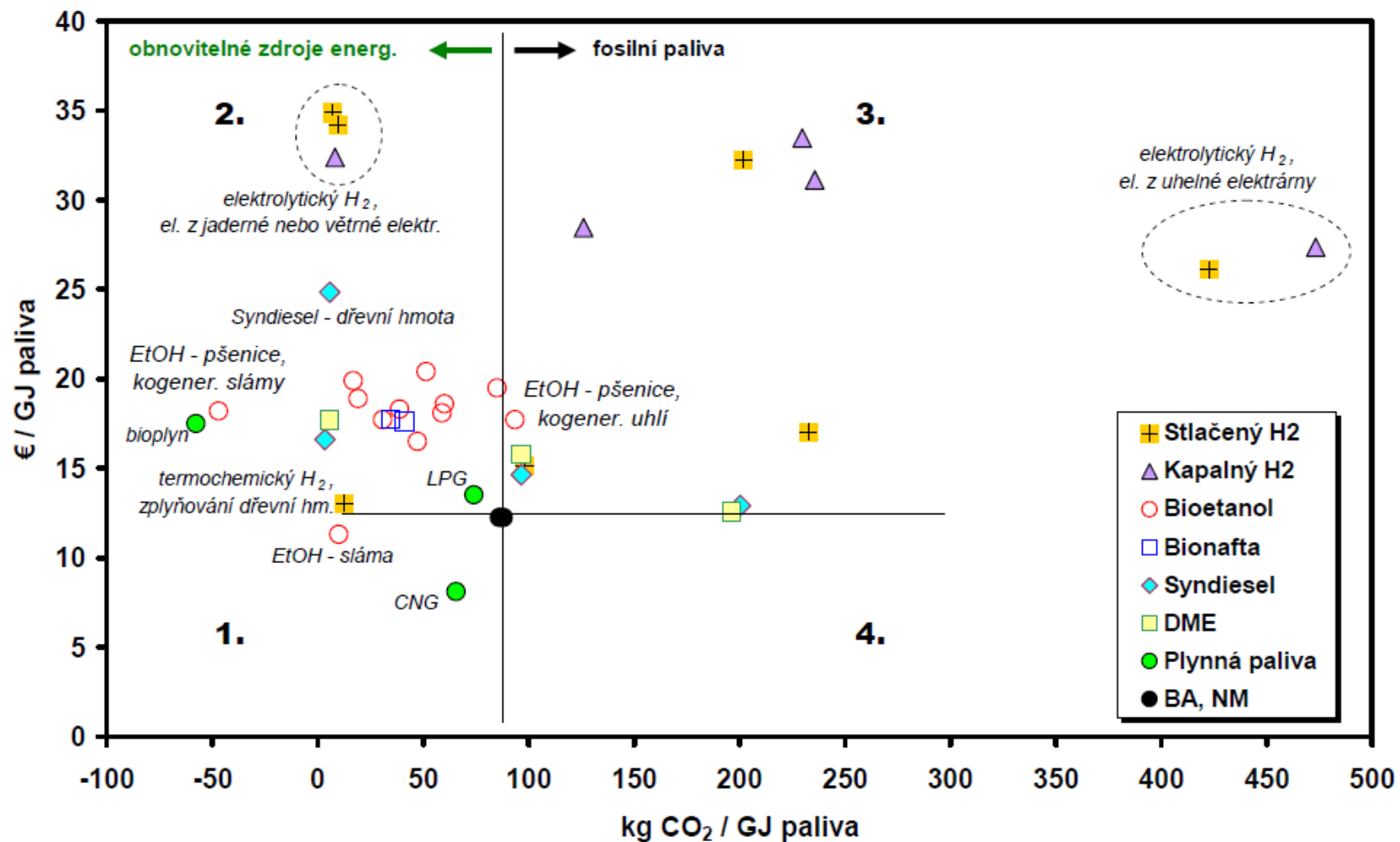
**Graf 5.** Celkové emise CO<sub>2</sub> spojené s výrobou a spotřebou plyných paliv vztažené na využitelný energetický obsah



**Graf 6.** Celkové emise CO<sub>2</sub> spojené s výrobou a spotřebou vodíku vztažené na využitelný energetický obsah



**Příloha 7.** Porovnání výrobní ceny alternativních paliv a emisí GHG plynů při jejich použití jako motorových paliv (situace odpovídající ceně ropy 60 USD/barel) [1]



**Příloha 8.** Porovnání alternativních paliv z hlediska navýšení provozních nákladů a úspory GHG plynů při jejich spotřebě v motorových vozidlech různé technické úrovně [1]

