



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# ALTERNATIVNÍ PALIVA PRO PÍSTOVÉ SPALOVACÍ MOTORY

ALTERNATIVE FUELS FOR COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN VOPAŘIL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUBOR ZHÁŇAL

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jan Vopařil

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

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

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Alternativní paliva pro pístové spalovací motory**

v anglickém jazyce:

### **Alternative fuels for combustion engines**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní bakalářské práce je vypracování přehledu alternativních paliv a zhodnocení jejich ekonomicko-technologické využitelnosti v budoucnosti.

Cíle bakalářské práce:

- vypracování přehledu alternativních paliv
- zhodnocení ekologických dopadů
- porovnání sledovaných parametrů motorů pro jednotlivá paliva
- zhodnocení možností budoucí uplatnitelnosti

Seznam odborné literatury:

- RAUSCHER,J. Spalovací motory. VUT Brno, 1996 (elektronický text).
- KOŠŤÁL,J.-SUK,B.: Pístové spalovací motory. SNTL Praha 1973.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubor Zháňal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 27.11.2008

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá souhrnem alternativních paliv pro pístové spalovací motory, uvádí jejich charakteristické vlastnosti určující další možné využití v budoucnosti.

## **Klíčová slova**

Alternativní paliva, LPG, CNG, spalování vodíku

## **ABSTRACT**

This thesis features a survey of alternative fuels for combustion engines, it deals with their characteristic properties which are determinate for possibly uses in future.

## **Key words**

Alternative fuels, LPG, CNG, hydrogen combustion.

## **Bibliografická citace**

VOPAŘIL, J. Alternativní paliva pro pístové spalovací motory. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 64 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lubor Zháňal.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím uvedených zdrojů.

V Brně, dne 29. 5. 2009

.....

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat Ing. Luboru Zháňalovi za vstřícný přístup a věcné připomínky při tvorbě práce a svým rodičům, že mi umožnili studovat na vysoké škole.

## **OBSAH**

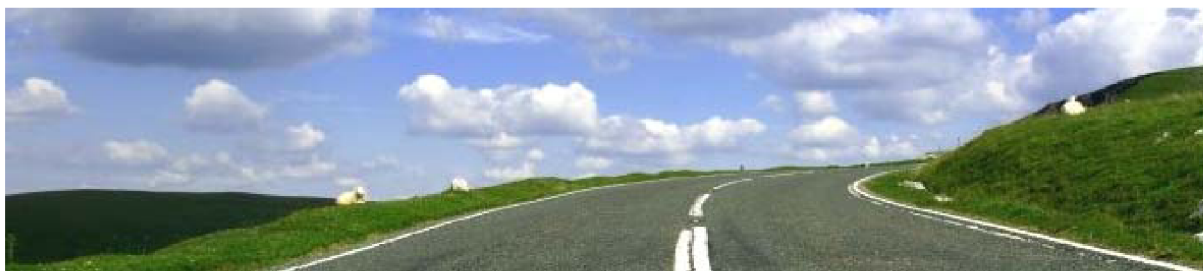
1. ÚVOD.....	10
2. PŘEHLED ALTERNATIVNÍCH PALIV .....	12
2.1 ALKOHOLY .....	12
2.1.1 Metanol.....	14
2.1.2 Etanol .....	15
2.2 LPG.....	19
2.2.1 Plynové systémy.....	21
2.2.2 Legislativa a postup schvalování přestaveb .....	26
2.2.3 LPG a ekologie .....	26
2.3 BIOPLYN .....	27
2.3.1 Výroba bioplynu .....	28
2.3.2 Perspektiva využití bioplynu .....	30
2.4 BIONAFTA .....	31
2.4.1 Bionafta a ekologie .....	32
2.4.2 Bionafta první generace .....	34
2.4.3 Bionafta druhé generace.....	34
2.5 ZEMNÍ PLYN .....	35
2.5.1 Zásobování trhu zemním plynem .....	37
2.5.2 Zkapalněný zemní plyn (Liquefied Natural Gas).....	38
2.5.3 Stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas) .....	40
2.6 VODÍK.....	43
2.6.1 Výroba vodíku .....	44
2.6.2 Vodíkové hospodářství.....	45
2.6.3 Skladování a přeprava vodíku .....	46
2.6.4 Spalování vodíku.....	47
3. CNG- ALTERNATIVNÍ PALIVO BLÍZKÉ BUDOUCNOSTI .....	50
3.1 SPALOVÁNÍ CNG.....	50
3.2 KONSTRUKČNÍ PRVKY MOTORU CNG.....	54
3.3 UKÁZKA VOZIDEL DOSTUPNÝCH NA ČESKÉM TRHU .....	56



4. EKONOMICKO-EKOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ.....	58
5. ZÁVĚR.....	62

## 1. ÚVOD

Nutnost dosáhnouti trvale udržitelného rozvoje správy energií pro celou planetu si vyžaduje komplexní posouzení problematiky jejího získávání z primárních zdrojů s co možná největším ohledem na negativní dopady na životní prostředí způsobené výrobou, transformací a tranzitem. Neopomenutelným kritériem je koncová cena energie, náklady na vybudování potřebné infrastruktury a pořízení spotřebních zařízení, pro něž je energie určena.



*Obr. 1: Ilustrativní obrázek*

Dle prognóz IEO (International Energy Outlook) by měla být v roce 2020 celosvětová spotřeba energie o téměř 50 % vyšší, než jak tomu bylo v roce 2000. Tento nárůst vyvolává především neustále se zvyšující spotřeba v rozvojových zemích. V současnosti je největším zdrojem energie ropa. Její těžba by dle odhadů měla vrcholit kolem roku 2020. Období po tomto „bodu zvratu“ je označováno za „třetí ropnou krizi“, která však nebude vyvolána neochotou států OPEC ropu těžit či ji distribuovat, nýbrž skutečným nedostatkem této suroviny v nalezištích.



*Obr. 2: Ilustrativní obrázek*

Máme-li na mysli, že nejsilnějším hráčem na trhu s energiemi je ropa a že na její spotřebě se z největší části podílí dopravní prostředky, vyvstanou nám jasné argumenty pro hledání alternativních paliv právě pro ně. Doprava jako celek má totiž největší nárůst spotřebované energie ze všech oblastí hospodářství. Již nyní spotřebovává asi 20 % vyrobené energie.

Argumenty pro zavádění alternativních paliv je však nutno hledat v širším kontextu. Obecně je lze shrnout do následujících skupin:

- rychle se ztenčující zásoby ropy
- environmentální důvody
- využití zemědělské půdy k pěstování energetických rostlin
- možnost využití odpadů
- snižování provozních nákladů

Při zavádění alternativních paliv však narážíme na protichůdné požadavky jak ze strany jedince (nízké pořizovací a provozní náklady, spolehlivost, výkonnost, ...), tak celé společnosti (zápach, hluk, emise, ...).

Tato práce shrnuje možné alternativy k dnes nejčastějším palivům pístových spalovacích motorů benzinu a naftě a podává o nich základní informace.



*Obr. 3: Ilustrativní obrázek*

## 2. PŘEHLED ALTERNATIVNÍCH PALIV

### 2.1 ALKOHOLY

Mezi nejvýznamnější zástupce alkoholů vhodných pro spalovací motory patří metanol, etanol, isopropanol a terciární butanol, avšak z širšího pohledu hrají významnější roli jen první dva jmenované.

Zařazení alkoholů mezi biopaliva není zcela správné. Například metanol je nyní z převážné části světové produkce vyroben z fosilních paliv (ropy, uhlí, zemního plynu,...), avšak jsme schopni ho získávat i z jiných zdrojů, které budou - jak velí trend - dostávat stále více prostoru, a právě z dlouhodobějšího pohledu na ně bude v této práci nazíráno.



Obr 4.: SAAB 9-5 Aero o výkonu 310 hp spaluje směs etanolu s benzinem: E85

Alkoholy nižších skupin mají obdobné vlastnosti jako paliva konvenční- ropná, benzin a nafta, avšak při jejich použití se nevyhneme konstrukčním úpravám stávajících motorů a při jejich použití je nutné přimíchávat aditiva zlepšující mazací vlastnosti. Při spalování alkoholů lze zvýšit kompresní poměr zážehového motoru díky vysoké antidetonační odolnosti a kvýčtu odlišností můžeme dodat i to, že při tvorbě směsi dochází k vnitřnímu ochlazování díky vysokému výparnému teplu a tím k výrazně lepšímu plnění válců. Výhřevnost alkoholů je sice nižší než u benzínu, ale spalování je dokonalejší a rychlejší. Nevýhodou však je jejich schopnost vázat vodu způsobující korozi a v případě směsného paliva benzin - alkohol způsobuje voda separaci frakcí benzínu a degradaci paliva.



Obr. 5: Čerpací stanice (Santa Fe)



Obr. 6: Hummer H2 SUT

Spalováním alkoholů se navýší obsah CO a CH<sub>x</sub> ve spalinách, naopak poklesne množství pevných částic a škodlivin obecně. Souvisí to s tím, že mají jednodušší strukturu než benzin nebo nafta, lépe hoří a celý proces vede k menší tvorbě nespálených zbytků. Problematicky se však ukazuje jednak tvorba nežádoucích aldehydů při spalování a zároveň další negativní vlastnosti, které mají dopad jak na člověka, tak i technické zařízení, s nimiž přichází do kontaktu, jako jsou například vysoká toxicita metanolu, chemická agresivita k pryžím, plastům, slitinám hliníku, ...



Obr 7.: FORD Focus Flexifuel

Nejčastěji se alkoholy uplatňují ve směsných palivech. Jedním z důvodů je fakt, že si tato varianta při dodržení určitých pravidel nevyžaduje na vozích zvláštní úpravy. První pokusy s jejich příměsí do benzínu se datují už k druhé polovině devatenáctého století ve Francii, kde se v relativně značné míře užívá dodnes. Nejvíce se ho ale používá v Brazílii, kde se brzy po francouzských pokusech začaly uplatňovat upravené zážehové motory, které umožnily spalování palivové směsi s vysokým obsahem etanolu (až 95%). V roce 1994 zde navíc byla zavedena vysoká daň na vývoz cukru, což snahu o jeho uplatnění při výrobě etanolu ještě navýšilo. Tím byly vytvořeny vhodné podmínky pro jeho širší uplatnění v dopravě. Brazílii se jeho používáním podařilo snížit dovoz ropy až o 50 %. U nás se v minulosti alkoholy (převážně metanol) používaly zejména v důsledku

nedostatku klasických paliv v období světových válek, avšak po roce 1945 zájem o ně upadl a projevil se až v druhé polovině devadesátých let. Dnes je užívání těchto směsí dáno požadavky EU, které nařizují minimální podíl alkoholů v palivech 5 %.

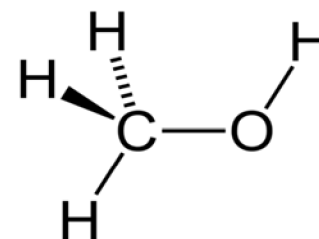
	Výhřevnost		Směs paliva se vzduchem [kJ/m <sup>3</sup> ]	Výparné teplo [kJ/kg]	Bod varu [°C]	Oktanové číslo VM
	[kJ/kg]	[kJ/l]				
Benzin	43680	32340	3360	315	99,2	80-100
Metanol	18730	15540	3150	1090	64,5	105
Etanol	26880	21420	3320	856	78,3	106

Tab. 1: Porovnání fyzikálních vlastností metanolu a etanolu s benzinem [1]

### 2.1.1 Metanol

Metanol je bezbarvá, těkavá, silně jedovatá, hořlavá kapalina charakteristického alkoholového zápachu. Především kvůli jeho toxickým vlastnostem je třeba značné opatrnosti (mj. se může do krevního oběhu dostat i kontaktem s kůží). Po požití menší dávky způsobuje oslepnutí, ve větší dávce smrt.

Vozidla se spalovacími motory využívající metanolu jako paliva se z hlediska výkonu a jiných charakteristik (např. dojezd) podobají vozidlům jezdícím na benzin. Jak bylo uvedeno v tabulce, oktanové číslo je u metanolu vyšší než u klasického benzínu, naproti tomu cetanové číslo má velmi nízké, což vysvětluje jeho širší uplatnění spíše v zážehových, než ve vznětových motorech. V případě vznětových motorů je nutné vozidla vybavit pomocným zapalovacím systémem. Tyto motory mohou spalovat také směs metanolu a nafty. Už při obsahu několika procent nafty v takové směsi není potřebné použití zapalovací svíčky.



Obr. 8: Metanol

Metanol vyrobený z biomasy a použitý jako náhrada benzínu či nafty se vyznačuje nižšími emisemi všech škodlivin.

	Snížení emisí [%]
NO <sub>x</sub>	65
CO	95
HC	95
Tuhé částice PT	100

Tab. 2: Snížení emisí díky záměně nafty za metanol [1]

## Výroba metanolu

Existují dva hlavní způsoby výroby metanolu. Prvním a současně nejrozšířenějším je výroba ze zemního plynu (pro ilustraci v roce 1997 bylo takto vyrobeno až 86% veškeré produkce). Druhou možností je výroba z biomasy (např. z obilí, brambor, kukuřice, cukrové řepy apod.). Tento způsob je sice opakovatelný a ekologičtější, avšak až dvojnásobně nákladnější.

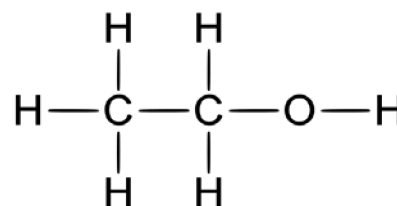
Pro výrobu metanolu je třeba nejdříve vyrobit syntézní plyn. Ten lze získat ze zemního plynu parním reformováním, parciální oxidací nebo jejich kombinací. Výroba syntézního plynu z biomasy se provádí jejím zplyňováním. Zplyňování je obecně proces, při kterém reaguje kyslík (v množství menším než stechiometrickém) s biomasou za vysokých teplot (okolo 900°). Hlavními složkami výsledného plynu jsou CO a H<sub>2</sub>, dále v něm obsaženy CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> a některé další nečistoty, které je následně nutno odstranit.



Obr 9.: Kukuřičné pole v Jižní Africe

### 2.1.2 Etanol

Etanol je látka, která se v přírodě vyskytuje jen ve velmi malém množství a její používání v malém množství není pro člověka toxické. Etanol se dnes běžně využívá jako náhrada benzínu ve spalovacích motorech. Je jedním z nejstarších alternativních paliv. Je málo reaktivní a vyznačuje se vysokým oxidačním účinkem, čímž se podílí i na snižování tvorby ozónu. Dále se s výhodou používá jako náhrada za toxické přísady na zvyšování oktanového čísla benzínu, jako jsou benzen, toluen a xylen. Navíc díky tomu, že ho můžeme vyrobit z biomasy, ho můžeme označit jako palivo snižující tvorbu oxidu uhličitého- nejdůležitějšího skleníkového plynu.



Obr. 10: Etanol

Etanol je možné použít buď jako palivo pro speciálně konstruované motory, nebo jako přísadu do benzínu v zastoupení 3 až 15 %. Chemicky změněný etanol na etyltercbutyleter (ETBE) se ve světě stal důležitou přísadou do bezolovnatých benzínů. Zvyšuje oktanové číslo a zlepšuje kvalitu hoření.

Vozidla, jejichž motory jsou schopny spalovat směsné palivo míchané v různých poměrech, jsou označována jako FFV (Fuel Flexible Vehicles). Jejich nádrž je vybavena čidlem, které po každém natankování provede analýzu paliva a elektronická řídicí jednotka poté provede vhodné nastavení charakteristik motoru. Tyto nádrže obvykle bývají většího rozměru z důvodu vyšší spotřeby paliva způsobené nižší výhřevností etanolu vůči naftě.



Obr. 11: ŠKODA Octavia Greenline E85 (85 % etanolu) je určená pouze pro švédský trh

Jak již bylo zmíněno, použití etanolu jen jako příměsi však není podmínkou. Motor konstruovaný pro jeho použití jako výhradního paliva se však musí oproti standardnímu značně upravit. Například zážehový podléhá až třem stovkám úprav oproti standardnímu. Mezi nejdůležitější rozdíly patří odlišný tvar spalovacího prostoru, pocínovaná palivová nádrž, použití nerezavějících materiálů u dílů stýkajících se s palivem (palivové čerpadlo, karburátor, palivové potrubí). Nízká výhřevnost obecně alkoholů vyžaduje celkovou úpravu palivového systému, neboť musí zabezpečit 1,7 násobné zvýšení dodávky paliva.



Obr.12 : Toyota Corolla XLi a Fielder, oba se systémem flex-fuel; 1,8l; 136hp



Spalování etanolu však nepřináší jen problémy. Mezi hlavní výhody patří dokonalejší spalování, vyšší výkony a otáčky motoru a v neposlední řadě již zmiňované snížení emisí ve spalínách.



Obr. 13: Renault Mégane

## Výroba etanolu

Základem výroby etanolu je alkoholové kvašení (fermentace), což je převážně anaerobní proces, při kterém z hexosy (např. glukosa, fruktosa) vzniká působením enzymů etanol a oxid uhličitý, kterého je velkého množství, avšak s výhodou ho můžeme spotřebovat např. v potravinářství. Kvašení by mělo probíhat bez přístupu vzduchu, jinak mohou kvasinky spotřebovaný kyslík využít pro jiné účely.

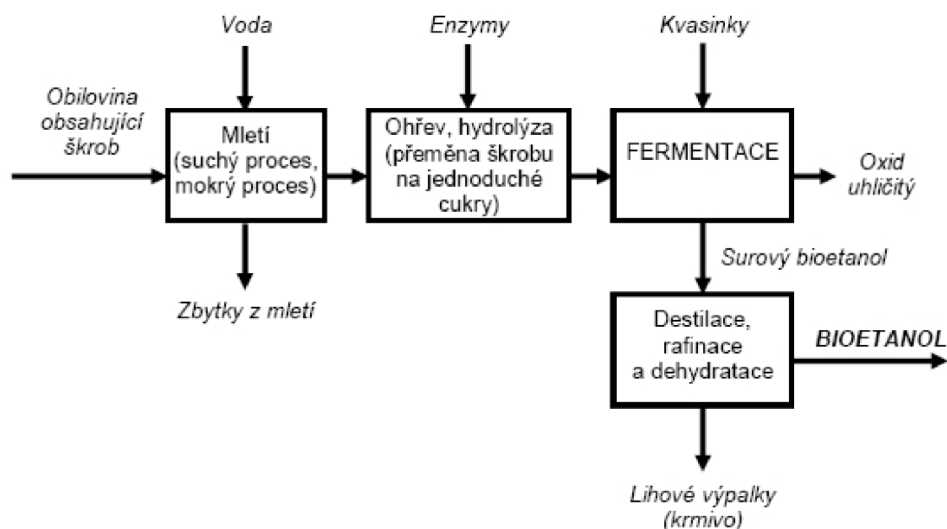
Fermentaci lze popsat jednoduchou rovnicí:  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2$ .

Po určité době dojde vlivem působení vznikajícího etanolu na kvasinky k postupnému zastavení fermentace. Tím je dána maximální dosažitelná koncentrace etanolu. Po fermentaci následuje destilace, při níž se získává kromě etanolu i značné množství tzv. výpalků, které lze použít jako krmivo.

Etanol lze získávat z:

- rostliny obsahující dostatečné množství sacharidů jako je cukrová řepa nebo cukrová třtina (Brazílie apod.)
- rostliny s dostatečným obsahem škrobu jako jsou brambory, kukuřice, pšenice, ječmen či tritikale (kříženec žita a pšenice)
- lignocelulózové biomasy- stromů, trav sena, slámy a dokonce i z organického podílu komunálního odpadu

Zejména posledně jmenovaný způsob se jeví do budoucna perspektivní vzhledem k velmi nízké ceně výchozí suroviny. Komerčně se však zatím příliš nevyužívá, přestože je realizovatelný. Důvodem je značně obtížná hydrolýza lignocelulózou biomasy na zkvasitelné cukry a zatím relativně nízká výtěžnost etanolu. V ČR se etanol vyrábí z mírné nadprodukce obilí. Další možností je i výroba z cukrové řepy, kterou je za stávajících podmínek výhodné namísto k výrobě cukru použít k výrobě etanolu (kvóty EU omezující produkci cukru).

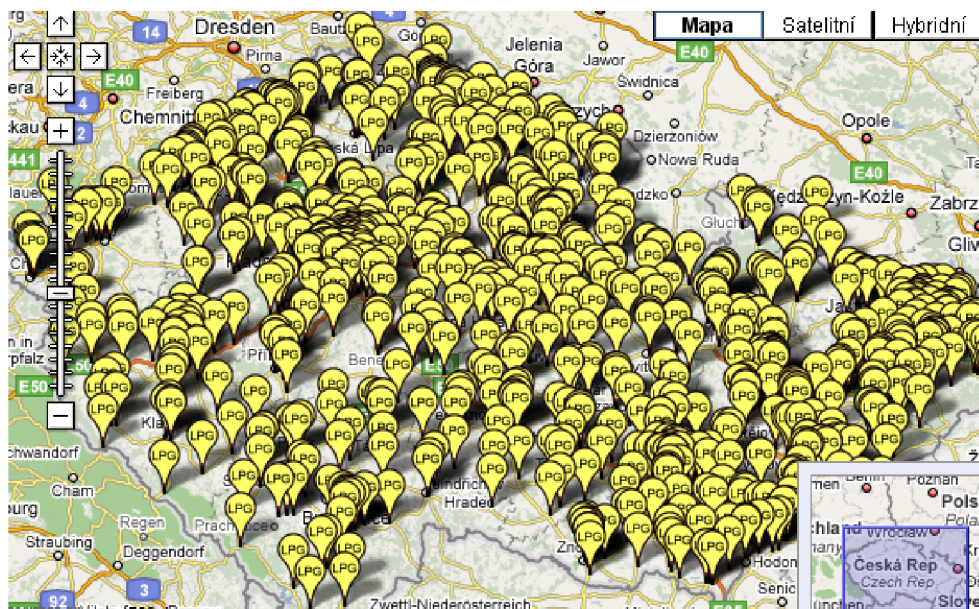


Obr. 14: Výroba etanolu z obilovin [2]

Jak plyne z předchozího, největší spotřeba etanolu je ve směsi s benzínem či naftou. Distribuce a skladování takové směsi má jeden společný problematický jmenovatel. Už při malém výskytu vody dochází k rozdělení složek, etanol přejde do vodné fáze a tím dojde ke zhoršení všech vlastností paliva. Řešením může být jejich oddělení přechovávání a míchat je až v nejzazší možné době. Toto míchání však podléhá zvláštním specifikacím daným normou, což klade velké požadavky na směsná pracoviště, kde se mimo jiné musí počítat i s ekologickými dopady špatné biologické odbouratelnosti obou složek při případné havárii.

## 2.2 LPG

Liquefied Petroleum Gas, neboli zkapalněný ropný plyn, bylo v historii označení pro ropné produkty o dvou až pěti atomech uhlíku v molekule. Dnes se však pod pojmem LPG chápe propan, butan nebo jejich směs.



Obr. 15: Mapa výskytu čerpacích stanic LPG v ČR [16]

Za normálního tlaku a teploty je LPG směsí plynou, avšak již při malém zvýšení tlaku se skupenství mění na kapalné a dochází k velkému zmenšení objemu (asi 260x). Zkapalněný LPG je bezbarvá, nejdovatá, snadno těkající kapalina specifického zápachu. Má podobné vlastnosti jako benzín, tj. rozpouští a vysušuje těsnění z přírodního kaučuku, organická mazadla, fermeže apod.



Obr. 16: Tlaková nádrž na LPG

Myšlenka využívat pro pohon motoru plynné palivo se v prvopočátcích motorismu jevila schůdnější než použití paliva kapalného, což dosvědčuje fakt, že první v praxi použitelný motor- Lenoirův motor pracoval na svítíplyn. Nevýhodou plynů obecně však je, že mají oproti kapalinám horší energetickou bilanci vztaženou na jednotku objemu.



Obr. 17: Pro vozidla s LPG platí zákaz vjezdu do podzemních garáží

Zkapalněný ropný plyn je palivo s pozoruhodnými vlastnostmi, a to nejen z hlediska ochrany životního prostředí. Obsahuje jen nepatrné množství síry, žádné olovo a benzenové uhlovodíky. Navíc umožňuje dosáhnout velmi homogenní směsi vzduchu s palivem, která je dobře rozdělitelná mezi válce, což napomáhá regulaci vstříkovaného objemu a dalšímu snížení emisí.



Obr. 18: Tankování LPG

První vozidla na LPG byla provozována v Německu ve třicátých letech minulého století. Zpočátku nacházel uplatnění zejména v nákladní dopravě a až s postupem času se začal objevovat i v osobní. V bývalém Československu byly zahájeny první zkoušky s tímto palivem o něco později, až v roce 1942. Po válce a zejména po únoru 1948 však o toto palivo nebylo příliš zájem a v padesátých letech bylo jeho využívání dokonce legislativně

zakázáno. Tento stav vedl k tomu, že se na něj jezdilo tzv. načerno, což mělo za následek několik tragických událostí způsobených neodbornými úpravami.

	Propan	Butan	Benzin
Hustota kapalná fáze při 20°C [kg/l]	0,498	0,578	0,725-0,780
Hustota plynná fáze při 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	2,019	2,590	-
Bod varu [°C]	-42,6	-0,5	35-210
Bod tání [°C]	-190,16	-134,96	-
Spalné teplo (kapalná fáze) [MJ/kg]	50,43	51,75	48,07
Spalné teplo (plynná fáze) [MJ/m <sup>3</sup> ]	101,82	134,02	-
Výhřevnost (kapalná fáze) [MJ/kg]	46,34	47,70	cca 42,7
Výhřevnost (plynná fáze) [MJ/m <sup>3</sup> ]	93,57	123,55	-
Okтанové číslo	100	89	80-100

Tab. 3: Porovnání vlastností LPG s benzinem [1]

### 2.2.1 Plynové systémy

Technické zajištění spalování LPG v motoru za dobu své existence prošlo - ostatně jako u všech ostatních - několika vývojovými etapami. Pro další členění textu je zvoleno rozdělení dle nejvýznamnějšího činitele, a to způsobu dopravy paliva do spalovacího prostoru.

#### Klasické plynové systémy

Kapalný LPG je přechováván v tlakové nádrži, která je uzavřena víceúčelovým ventilem, který zajišťuje mnoho funkcí provozních (např. uzavírá nádrž při vypnutém zapalování, dovoluje naplnit nádrž max. do 80 % objemu, signalizuje stav paliva v nádrži, ...) i bezpečnostních (např. odpustí plyn při přetlaku nad 27 barů, zastaví tok paliva při poruše potrubí, dovoluje ruční uzavření přívodu plynu do nádrže, ...).



Obr. 19: Regulátor tlaku

Až do tohoto místa je postup pro všechny systémy stejný.

Při užití klasického plynového systému je LPG dopravován vysokotlakým potrubím do motorového prostoru, konkrétně do regulátoru tlaku. Regulátor tlaku (výparník) působením horkovodního okruhu mění kapalný LPG na fázi plynnou (odpařuje ho). Poté se přivádí ke směšovači, kde se mísí s nasávaným vzduchem přicházejícím vzduchovým filtrem.



*Obr. 20: Koncovka pro plnění nádrže na LPG*

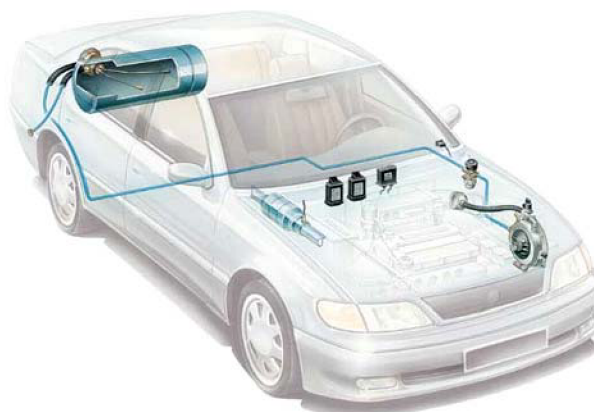
Takto vzniklá palivová směs je dále sacím potrubím přiváděna do motoru. Typ regulace bohatosti směsi se volí v závislosti na typu motoru: buď škrtícím šroubem (motory s karburátorem), nebo servomotorem ovládaným samostatnou řídicí jednotkou (vozidla se vstřikováním benzínu).



*Obr. 21: Toroidní a válcová nádrž na LPG*

### **Systemy se vstřikováním plynného LPG**

U vstřikovacích systémů je LPG přiveden v blízkosti benzínových vstřikovačů u hlavy motoru. Tento podstatný rozdíl s sebou přinesl mnoho výhod oproti systémům klasickým. Například nemůže v žádném případě dojít ke „střílení“ do sacího potrubí (back fire). Plyn se dostává do spalovacího prostoru bez časové prodlevy a nezáleží tedy na délce sacího potrubí. Další neopomenutelnou výhodou je, že celý podtlak motoru je využit jen pro nasávání vzduchu, bez ztráty k nasávání plynu. Navíc oproti klasickému systému je spotřeba nižší až o 10 % s výraznější úsporou při městském provozu.



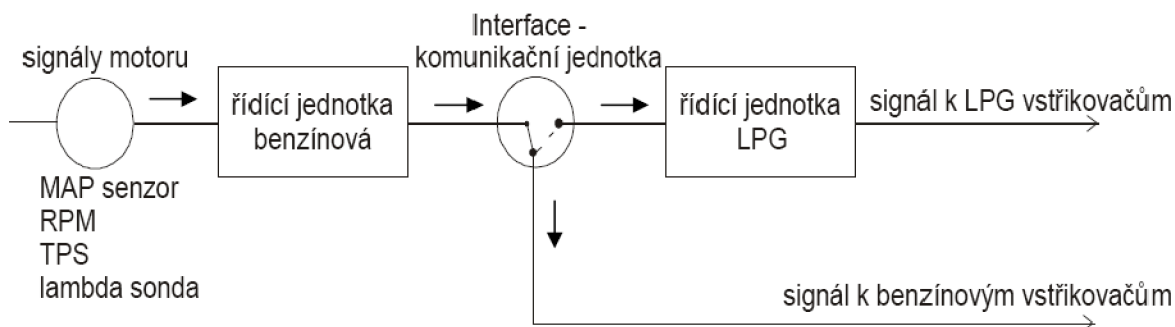
*Obr. 22: Systém s centrálním směšovačem řízeným lambda sondou*

Počáteční kroky tohoto systému se datují k roku 1991, ve kterém se objevil téměř současně v Itálii a Holandsku a dále ho do své nabídky přidali téměř všichni výrobci. Jelikož i on se dočkal svého nástupce, tak je označován jako systém vstřikování první generace. Druhá generace s sebou přinesla zejména navýšení přesnosti a rychlosti dávkování paliva do sacího kanálu.



*Obr. 23: Systém sekvenčního vstřikování*

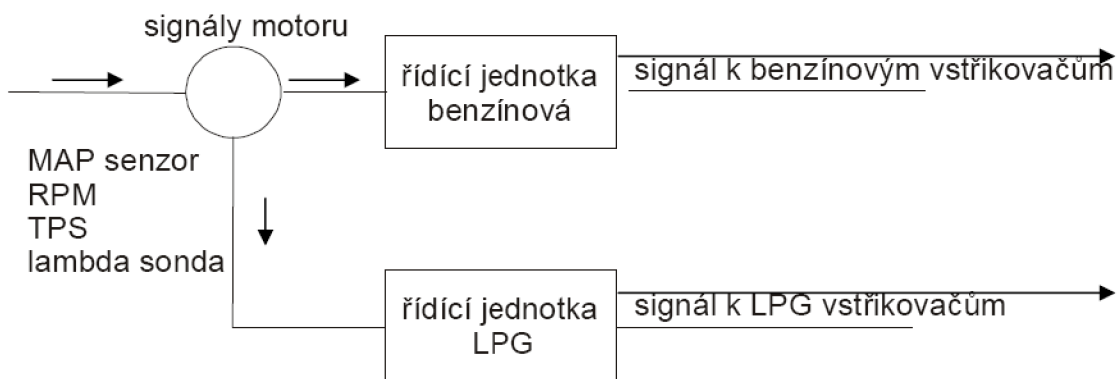
Dalším mezníkem ve vývoji lze označit příchod sekvenčního vstřikování. Logicky se mu dostalo pojmenování systém třetí generace a dle mnohých názorů učinil ze jmenovaných nejdelší krok směrem dopředu. Vyznačuje se sekvenčním vstřikováním a dokáže vstřikovat do každého válce zvlášť. Každá změna situace ve válcích je signalizována benzinovými vstřikovači a okamžitě na ni reaguje benzinová řídicí jednotka, což následně ovlivní činnost i plynové řídicí jednotky, neboli obě jednotky pracují tzv. „v sérii“, a hovoříme o něm tedy jako o sériovém systému. Jeho hlavním pozitivem je optimalizace dávkování plynu a benzínu dle potřeb jednotlivých válců, což má za následek bezproblémové plnění emisních norem Euro 4 při provozu jak na plyn, tak na benzin.



Map senzor – snímač zatížení motoru; RPM – otáčky motoru; TPS – snímač polohy škrtící klapky;  
lambda sonda – sonda ukazující bohatost (chudost) směsi.

Obr. 24: Schéma zapojení sériových systémů [35]

Jako alternativa k sériovému systému byl vyvinut systém paralelní. Velké pozornosti se mu však nedostalo a pro svoje vlastnosti (neschopnost pracovat v interakci obou řídicích jednotek) je zařazován spíše do systémů druhé generace.



Map senzor – snímač zatížení motoru; RPM – otáčky motoru; TPS – snímač polohy škrtící klapky;  
lambda sonda – sonda ukazující bohatost (chudost) směsi

Obr. 25: Schéma zapojení paralelního systému [35]



## System vstřikování kapalného LPG

Jedná se o zatím nejnovější systém, který je určen pro moderní automobily. Systém sekvenčního vstřikování kapalného plynu se liší tím, že je tlakem dávkováno tekuté palivo pro každý válec zvlášť.



Obr. 26: FORD F250 liquid propane powered

Toto dávkování řídí benzinová řídicí jednotka, která předává řídicí jednotce LPG údaje o délce vstřiku paliva. Na rozdíl od předchozích systémů se liší tím, že nevyužívá ve výparníku horkou vodu z motoru. Při použití tohoto systému se spotřeba i výkon motoru při provozu na LPG blíží provozu na benzin, avšak provozní náklady jsou podstatně vyšší než u předchozích.



Obr. 27: Motor uzpůsobený pro spalování kapalného LPG

## 2.2.2 Legislativa a postup schvalování přestaveb

Přestavbu vozidla na LPG lze provádět pouze s komponenty s platnou homologací. Záznam o takovém kroku je zanesen do technického průkazu vozidla a dále se vydá příloha technického průkazu, do které jsou zapisovány pravidelné revizní prohlídky prováděné na místech k tomu určených. Aby bylo učiněno všem nařízením za dost, musí být celá záležitost vnesena do archivů dopravního inspektorátu pomocí dvou tiskopisů.

Popsaný postup je platný pro individuální přestavby, avšak s LPG se můžeme setkat i v sériově vyráběných automobilech. Proto platné prováděcí a schvalovací předpisy rozlišují tři druhy přestaveb, a to hromadnou (typovou), malé série a individuální.

## 2.2.3 LPG a ekologie

Porovnáváme-li hodnoty emisí vozidel jezdících na benzin či naftu s LPG, tak plyn všechny předčí. Jeho dokonalým spálením vznikají tzv. „žádoucí“ látky ( $C_3H_8 + 5 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 4 H_2O$ ;  $C_4H_{10} + 5 O_2 \rightarrow 4 CO_2 + 5 H_2O$ ). Dále jim k dobru hraje fakt, že neprodukují tuhé emise (kouř, saze, prach,...), ani olovnaté sloučeniny.

	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

Tab. 4: Emise jednotlivých typů vozidel v závislosti na druhu paliva [1]

## 2.3 BIOPLYN

Bioplyn je směs plynů, z nichž hlavní jsou metan  $\text{CH}_4$  (převážně) a oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ . Další příměsi jsou nežádoucí, avšak žádným způsobem výroby se jim nevyhneme. Jedná se především o kyslíkaté a sírné deriváty uhlovodíků a další plyny ( $\text{N}_2$ , Ar, ...).



Obr. 28: Řepka olejka

Vlastnosti, díky kterým je bioplyn vyzdvihován, jsou především dobrá skladovatelnost, upravitelnost a použitelnost v rozvodech zemního plynu. Jeho spektrum užití je široké, od automobilové techniky, kogeneračních jednotek až po palivové články k přímé výrobě elektrické energie.



Obr. 29: Výnos bioplynu z tuny biomasy [2]

### 2.3.1 Výroba bioplynu

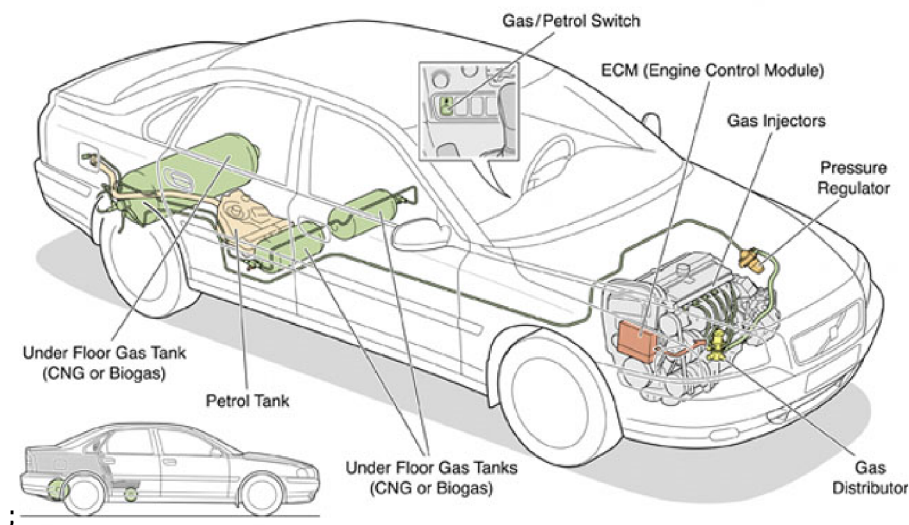
Jak název napovídá, bioplyn je plyn vznikající rozkladem a přeměnou organických látek. Proces probíhá za nepřístupu vzduchu, tzv. anaerobní fermentací (nebo digescí) ve specializovaných technologických zařízeních, tzv. bioplynových stanicích. Vzniká také v tělesech komunálních skládek, kde bývá pro další využití jímán systémem sběrných studní a čerpacích stanic.

Proces fermentace je většinou rozdělován dle probíhaných dějů na čtyři části. První stadium je hydrolýza a je charakterizována rozkladem vysokomolekulárních látek (proteiny, polysacharidy, lipidy, ...) na látky nízkomolekulární za působení hydrolytických enzymů. Současně s hydrolýzou probíhá acidogeneze, při níž se jsou produkty z hydrolýzy rozkládány na jednodušší látky.



Obr. 30: Bioplynová čerpací stanice v Kanadě

Při vyšším tlaku se tvoří etanol, kyselina mléčná apod., při nízkém kyselina octová, oxid uhličitý, ... Při třetí části zvané autogeneze se tvoří vlivem acidogenních bakterií kyselina octová, oxid uhličitý a vodík. Posledním stupněm je metanogeneze, při níž je konečně vytvářen požadovaný metan.



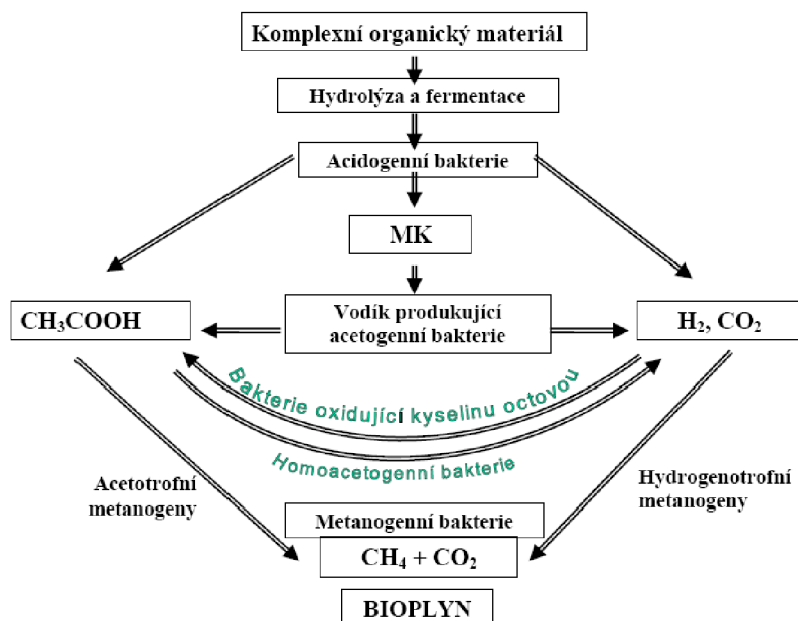
Obr. 31: Volvo S80 se systémem Bi-Fuel (CNG, bioplyn)

Jak plyne z předešlého, celý proces tvorby bioplynu je složitým dějem a pochopitelně se při jeho uvádění v praxi potýkáme s mnoha problémy, kterým musíme čelit, což celý proces prodražuje.



Obr. 32: BiogasBuss jezdící ve Švédsku

Požadovaná čistota výstupního plynu není tabelizována a podléhá určitým stanovám dle jeho zamýšleného využití. Samotný proces ale není přizpůsobován pouze výstupním vlastnostem bioplynu, ale z ještě větší části ho ovlivňuje složení vstupních surovin.



Obr. 33: Schéma jednotlivých fází vzniku bioplynu [36]

	Bioplyn ze skládky odpadů	Bioplyn z ČOV	Bioplyn z prasečí kejdy
Výhřevnost [MJ/m <sup>3</sup> ]	16,9	21,1	24,0

Tab. 5: Srovnání výhřevnosti různých bioplynů [1]

### 2.3.2 Perspektiva využití bioplynu

Globálnímu rozšíření bioplynu jako paliva pro vozidla brání jeho omezené množství a pouze lokální možnost použití. Přesto projektů, jenž si s touto myšlenkou pohrávají, stále přibývá a mohou si brát za vzor již fungující modely zejména ve Švédsku, USA, Brazílii a v menších měřících i v mnoha dalších zemích.

Bioplyn určený pro pohon vozidel musí být zbaven mechanických nečistot, odsířen, energeticky zhodnocen nad úroveň odpovídající obsahu 90 % metanu a akumulován. Výhody a nevýhody jeho využití v dopravě jsou stejné jako při použití zemního plynu (což vysvětluje jejich časté seskupování ve výčtech alternativních paliv), pouze s přihlédnutím ke zkrácení době životnosti (vlivem silného korozivního působení spalin).

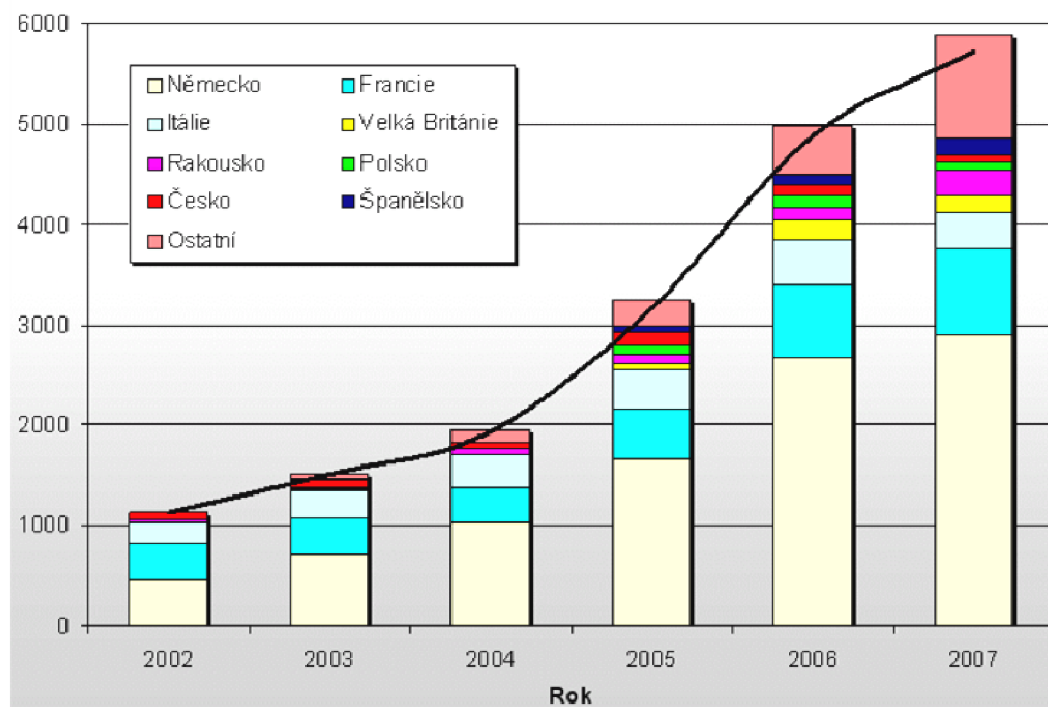
## 2.4 BIONAFTA

Úvodem je nutné uvést na pravou míru používané názvosloví. Bionaftou se podle českých zákonů a norem rozumí pouze čistý metylester. Avšak přijedeme-li si natankovat k čerpací stanici „bionaftu“, jednosložkového paliva se nám nedostane. Se vši úctou k českým zákonům se přikloním k názvosloví zaběhnutému v drtivé většině dnes dostupné literatury.

Bionaftou tedy rozumíme estery vyšších mastných kyselin s nízkomolekulárním alkoholem. Surovinou pro její výrobu jsou olejnaté plodiny (obnovitelné zdroje). Ve světové produkci převládá olej ze sóji (hlavně Spojené státy americké), mezi dalšími palmový olej, olej ze slunečnice, řepky atd. (použitelných je více jak 300 různých druhů rostlin). Při výrobě se ze suchých semen lisuje olej. Odpadem při lisování olejnin jsou výlisky (šroty), které se dále využívají pro výrobu krmných směsí a přírodních hnojiv. V posledních několika letech se kvůli neustále se zvyšujícím cenám olejnatých plodin hledají nové zdroje surovin, např. použité fritovací oleje, odpadní živočišné tuky, aj.



Obr. 34: Ilustrativní obrázek



Obr. 35: Výroba bionafty [tisíce tun] [17]

Na počátku 90. let vzniklo za podpory vlády v ČR několik provozů, kde se stoprocentním methylesterem řepkového oleje (MEŘO) zabývají. Od počátku bylo snahou výrobců, aby

čisté MEŘO po menších úpravách pomocí aditiv mohlo být používáno ve vznětových motorech bez konstrukčních úprav motorů stávajících. Ačkoli to bezesporu byl chvályhodný krok směrem kupředu, tak proti většímu využívání čistého MEŘO hovořily špatné zkušenosti z provozu. Tento upravený rostlinný olej nedosahoval výkonnostních parametrů ropného oleje, tj. motorové nafty (snížení okolo 5%). MEŘO vykazovalo vysokou kouřivost, špatnou filtrovatelnost při nízkých teplotách (bod tuhnutí při  $-8^{\circ}\text{C}$ ), velmi nízkou kalorickou hodnotu a s ní spojený snížený výkon motoru. Navíc tento druh bionafty vykazoval vysoké poškozování pryžových částí motoru, což znemožňovalo jeho použití ve většině běžných diesellových motorů a zvýšená spotřeba oleje až na dvojnásobek jasně mluvila o neekonomickém využití. Díky těmto a dalším přicházejícím úskalím v období prvních pokusů nasazení bionafty do běžného prodeje zůstala ještě do dnes v některých lidech zakořeněna velká nedůvěra vůči tomuto palivu. Bionafta se například srážela při styku s vodou a její bezhlavé smíchávání s klasickou motorovou naftou většinou znehodnotilo celé palivo. Dopravci a většinou ani prodejci nebyli dostatečně poučeni o záludnostech bionafty a směle ji tankovali do vozidel bez jakékoli přípravy, což právě u starších a neudržovaných motorů mělo za následek téměř katastrofu. Jak rychle se bionafta začala používat, tak rychle od ní každý ustoupil. Vývoj však stále pokračuje a díky příchodu bionafty druhé generace (1996) na sebe opět poutá pozornost.



Obr. 36: Volkswagen Jetta

### 2.4.1 Bionafta a ekologie

Ekologických přínosů má toto palivo hned několik. V motoru dochází k lepšímu spalování než u nafty a je tedy produkováno nižší množství emisí. Ve výfukových plynech dochází k významnému poklesu obsahu polyaromatických uhlovodíků a tuhých částic. V hladině emisí  $\text{NO}_x$  sice biopaliva prohrávají, což je způsobeno vyšší teplotou spalování, ale jen nepatrně.





Obr. 37: Honda Acura TSX

Vysoký obsah kyslíku v MEŘO má pozitivní vliv na oxidaci a tím přispívá ke snižování úrovně smogu ve městech. Zajímavostí je, že řepka olejná na sebe ve fotosyntetické reakci naváže více CO<sub>2</sub>, než vznikne následným spálením MEŘO.

	Motorová nafta	MEŘO
CO [g/hod]	62	56
CH <sub>x</sub> [g/hod]	43	31
NO <sub>x</sub> [g/hod]	223	241
SO <sub>2</sub> [%]	0,15	0,002
Kouřivost [stupnice BOSCH]	0,49	0,26

Tab. 6: Porovnání emisí motorové nafty a MEŘO [1]

Bionafta je alternativní palivo nejvíce spojené se zemědělstvím. Nejen kvůli vstupní surovině vykupované v největším množství od zemědělců, ale i pro vhodnost použití tohoto paliva v jejich strojích. Drtivá většina motorů v zemědělství se vyskytujících je vznětových a nejčastějším místem jejich výskytu je obdělávaná půda mimo silnice. Výborná biologická odbouratelnost bionafty (tři týdny) je proto vlastností k nezaplacení.



Obr. 38: Ilustrativní obrázek

## 2.4.2 Bionafta první generace

Jak již bylo uvedeno, jedná se o jednosložkové palivo. Podle použitého oleje je dále můžeme rozčlenit:

RME	Raps-Methyl-Ester	metylester řepkového oleje MEŘO
SME	Sunflower-Methyl-Ester	metylester slunečnicového oleje
SOME	Soya-Methyl-Ester	metylester ze sóji
FAME	Falty-Acid-Methyl-Ester	metylester z živočišných tuků
VUOME	Vaste Used Oil-Methyl-Ester	metylester z použitých fritovacích olejů

*Tab. 7: Rozdělení výchozích surovin bionafty [2]*

Špatné zkušenosti veřejnosti s bionaftou, o nichž již bylo zmiňováno, byly získány v důsledku špatných vlastností této její jednosložkové „verze“. Problém byl především v množství látek pryskyřičnaté povahy vznikajících při částečné oxidaci ethylesterů. Dalšími reakcemi vznikající kaly, laky a další látky polymerní povahy (SOF- Solid Organic Fraction), byly příčinou nejen velkého množství úsad na pohyblivých i nepohyblivých dílech motoru, ale i značného nárůstu látek nerozpustných v motorovém oleji, kde se v takovém případě mluví o tzv. želatizaci oleje pro provoz nepřijatelné. Provozní náklady tedy rostly s množstvím nutných výměn oleje.

## 2.4.3 Bionafta druhé generace

Bionafta druhé generace, tzv. směsná nafta, je směsí bionafty první generace s látkami ropného charakteru, které musí být hluboko odsířené a dearomatizované, aby byla zachována podmínka biologické odbouratelnosti. Druhá generace bionafty je tedy palivo, u kterého je část ropného produktu (motorové nafty) nahrazena methylestery, získanými z rostlinné produkce. Zachovává si základní vlastnosti motorové nafty a přitom působí velmi ekologicky na životní prostředí, příznivě na životnost motoru a palivové soustavy a v neposlední řadě i na kapsu motoristy díky nižší sazbě spotřební daně. Současná bionafta II. generace je považována za velký pokrok v oblasti alternativních paliv a je na nesrovnatelně vyšší úrovni oproti původní bionaftě.

Současný stav tvoření směsné bionafty je takový, že biosložka je v zastoupení 31%. Při této koncepci se však nevyhneme používání aditiv, a to hned několika skupin s různorodými zlepšovacími vlastnostmi. Výběrem to mohou být např. látky ovlivňující čistotu trysek a tím dokonalost rozstřiku paliva, zlepšovače maznosti, tekutosti a myslet se musí i na přepravu a skladování paliva (protipěnicí aditiva, stabilizátory paliva, ...).

		Nafta	MEŘO	Čistý řepkový olej
Cetanové číslo		46	61,2	42,6
Bod varu [°C]		191	347	311
Viskozita	při 20°C	5,1	7,5	77,8
	při 50°C	2,6	3,8	25,7
Obsah síry [% hmot.]		0,036	0,012	0,022
Obsah dusíku [ppm]		0	6	-
Zbytkový obsah uhlíku [%]		0,15	0,02	0,25
Výhřevnost [MJ.kg <sup>-1</sup> ]		44,3	40,6	40,4
Hustota [kg.m <sup>-3</sup> ]		845,9	880,2	906,6

Tab. 8: Porovnání vlastností MEŘO, čistého řepkového oleje a nafty [1]

## 2.5 ZEMNÍ PLYN

Z chemického hlediska je zemní plyn směs plynných uhlovodíků s proměnnou příměsí neuhlovodíkových plynů. Jeho charakteristickým znakem je vysoký obsah metanu CH<sub>4</sub>.

Oktanové číslo	130
Výhřevnost [MJ.m <sup>-3</sup> ]	34,09
Hustota [kg.m <sup>-3</sup> ]	0,69
Bod vzplanutí [°C]	152
Teplota vznícení [°C]	537-580
Stech. objem vzduchu ke spalování [m <sup>3</sup> ]	9,51

Tab. 8: Vybrané vlastnosti zemního plynu [1]

Zemní plyn je hořlavý, výbušný plyn, bez barvy, zápachu i chuti. Je nejedovatý, má zanedbatelné toxické vlastnosti. Je lehčí než vzduch (díky čemuž je zvýhodněn oproti LPG např. povolením ke vjezdu do podzemních garáží).

Dle energetické obsažnosti zemní plyn rozdělujeme:

- zemní plyn H (high- vysoký energetický obsah) je plyn, jehož spalné teplo leží v rozmezí 40 až 46 MJ.m<sup>-3</sup>. Podíl nehořlavých složek (N<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub>) je nižší než 5 %.
- zemní plyn L (low- nízký energetický obsah) je plyn, jehož spalné teplo leží v rozmezí 33 až 38 MJ.m<sup>-3</sup>. Podíl nehořlavých složek je obvykle vyšší než 10 %.

Ve většině evropských zemí včetně České republiky je využíván typ H obsahující více než 90 % obj. metanu.

Složky zemního plynu	Typ plynu dle lokality				
	Tranzitní	Norský (Ekofisk)	Alžírský (Hassi R Mel)	Jihomoravský	Holandský (Groningen)
Metan CH <sub>4</sub>	98,39	85,8	86,90	97,70	81,31
Etan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,44	8,49	9,0	1,20	2,85
Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,16	2,30	2,60	0,50	0,37
Butan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,07	0,70	1,20	-	0,14
Pentan C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,03	0,25	-	-	0,09
Dusík N <sub>2</sub>	0,84	0,96	0,30	0,60	14,35
Oxid uhličitý CO <sub>2</sub>	0,07	1,50	-	-	0,89

Tab. 9: Složení vybraných zemních plynů [% obj.] používaných v EU [2]

Zemní plyn sice patří mezi neobnovitelné zdroje energie, avšak jeho zásoby jsou větší než zásoby ropy. Dle plánů EU by v roce 2020 mělo jezdit 10% vozidel na zemní plyn, což je dokonce větší podíl než podíl všech ostatních biopaliv, a proto o něm lze mluvit jako o nejvýznamnější alternativě pro nadcházející roky.

Zemní plyn	H <sup>0</sup> <sub>s</sub>		H <sup>15</sup> <sub>s</sub>	
	[kJ.m <sup>-3</sup> ]	[kWh.m <sup>-3</sup> ]	[kJ.m <sup>-3</sup> ]	[kWh.m <sup>-3</sup> ]
Tranzitní	39 794	11,054	37 724	10,478
Norský	43 823	12,173	41 542	11,539
Alžírský	45 169	12,547	42 818	11,894
Holandský	35 094	9,748	33 267	9,241

Tab. 10: Hodnoty spalných tepel vybraných plynů při 0°C a 15°C [2]

## 2.5.1 Zásobování trhu zemním plynem

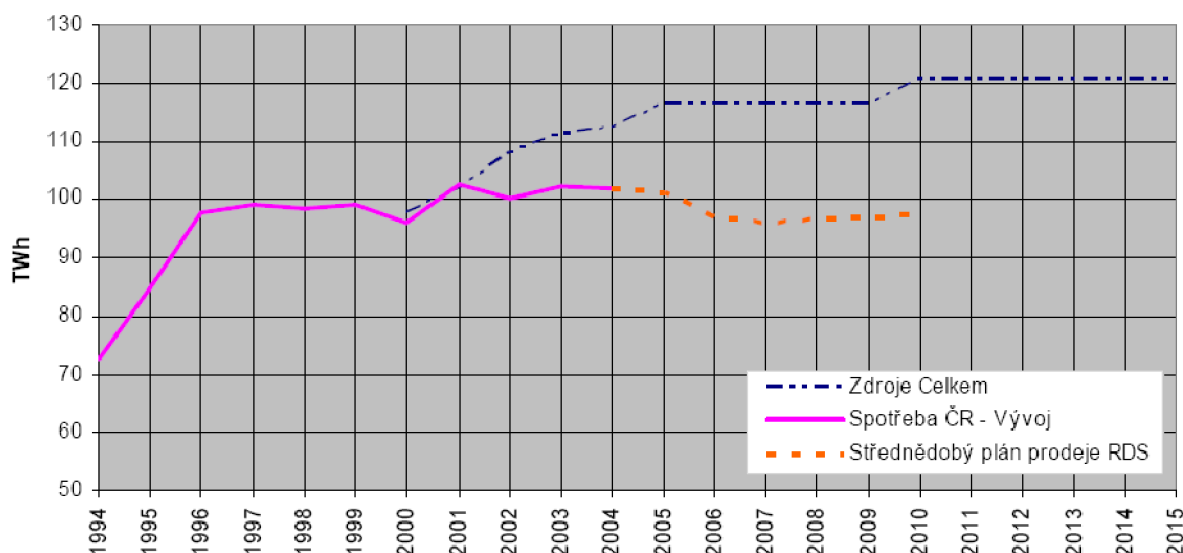
Vynakládané prostředky pro zavedení tohoto plynu jako významného hráče na trhu s palivy pro vozidlové motory samozřejmě závisí i na množství jeho zásob ve světových nalezištích. Tyto zásoby většinou rozdělujeme následně:

- prokázané zásoby. Jedná se o množství zemního plynu, které je těžitelné při současné úrovni techniky. Jejich objem se odhaduje na  $1,64 \cdot 10^{14} \text{ m}^3$ .
- pravděpodobné zásoby. V tomto případě mluvíme o ložiscích již objevených, avšak jejich přesun do první kategorie je podmíněn zejména změnou ekonomických podmínek. Přibližný objem zásob je  $3,47 \cdot 10^{14} \text{ m}^3$ .
- potenciální zásoby. Do této skupiny zařazujeme tzv. nekonvenční zdroje, jako např. hydráty metanu, které se nachází v zemské kůře pod oceány. Problémem je dosud technicky nevyřešená těžba. Předpoklad těchto zásob je  $2,1 \cdot 10^{16} \text{ m}^3$ .

Pro představu dlouhodobé perspektivy využívání zemního plynu jako paliva pro vozidlové motory však nejsou zásoby uváděné v objemových jednotkách tak ilustrující jako údaje o životnosti. Tyto údaje však jsou spíše loterií, protože spotřebu plynu v řádech desítek let lze jen těžko odhadovat. Při současné spotřebě by prokázané zásoby vydržely přibližně do roku 2060.

Nejen celkové množství plynu ve světě však rozhoduje o uspokojení poptávky. Díky nedávné „plynové krizi“ (únor 2009) se dostaly do popředí veřejného zájmu způsoby tranzitu plynu od nalezišť ke spotřebiteli. Politickým kritériím využívání alternativních paliv se však budu věnovat na zvláštním místě.

Česká republika je nyní nejvíce zásobena z Ruska (předávací stanice Lanžhot) a Norska (předávací stanice Hora sv. Kateřiny).



Obr. 39: Zdroje a spotřeba zemního plynu v ČR [2]

## 2.5.2 Zkapalněný zemní plyn (Liquefied Natural Gas)

Zkapalněný zemní plyn se skládá převážně z metanu (90-100 %). Tekutého skupenství je dosaženo zchlazením plynu na teplotu  $-162^{\circ}\text{C}$ , čímž se zmenší jeho objem přibližně 600x. Je to čirá kapalina bez specifických vůní, netoxická a modrého zabarvení.

Výroba LNG je složitým technickým procesem a jeho náročnost je jednou z hlavních příčin jeho nynějšího malé rozšíření mezi koncové zákazníky. Lze ji uskutečňovat několika způsoby (např. kaskádový postup, cyklus se směsným palivem, expanzní cyklus, ...), které si však navzájem nic nezadají v energetické náročnosti ( $0,2-0,6 \text{ kWh/m}^3$ ), která je zhruba dvojnásobná oproti výrobě CNG. Obnos vložených investic do jeho výroby se dále navyšuje doposavad nevybudovanou tranzitní sítí. Jeho použití se tedy v dnešní době lokalizuje na místa velkých přijímacích terminálů v pobřežních oblastech (je-li dopravován po moři), či v blízkosti dálkového plynovodu. Takové investice však nezaručují návratnost. LNG má jako palivo v dopravních prostředcích silné přímé konkurenty, jako např. alkoholy, kteří pozornost předních automobilek strhávají v hojnější míře. Sériová výroba automobilu na LNG je prozatím hudbou budoucnosti.



Obr. 40: Plánované evropské terminály (do roku 2010)

Zkapalňování zemního plynu však přináší i řadu výhod, vycházející zejména z mnohonásobně zmenšeného objemu, respektive zvýšení hustoty. Při uvažování nádrží umístitelných do osobního automobilu tak dosáhneme srovnatelného dojezdu s benzinem (1,5 litru LNG odpovídá energeticky 1 litru benzínu). Za srovnatelnou

s ropnými látkami se dá označit i doba plnění nádrže a po bezpečnostní stránce je na tom v tomto vzájemném srovnání dokonce lépe, díky vyšší zápalné teplotě. Jako bonus mezi jeho výhodami lze uvést nehrozící zamrznutí paliva v zimních měsících.



Obr. 41: Plánovaný LNG systém distribuce v Norsku

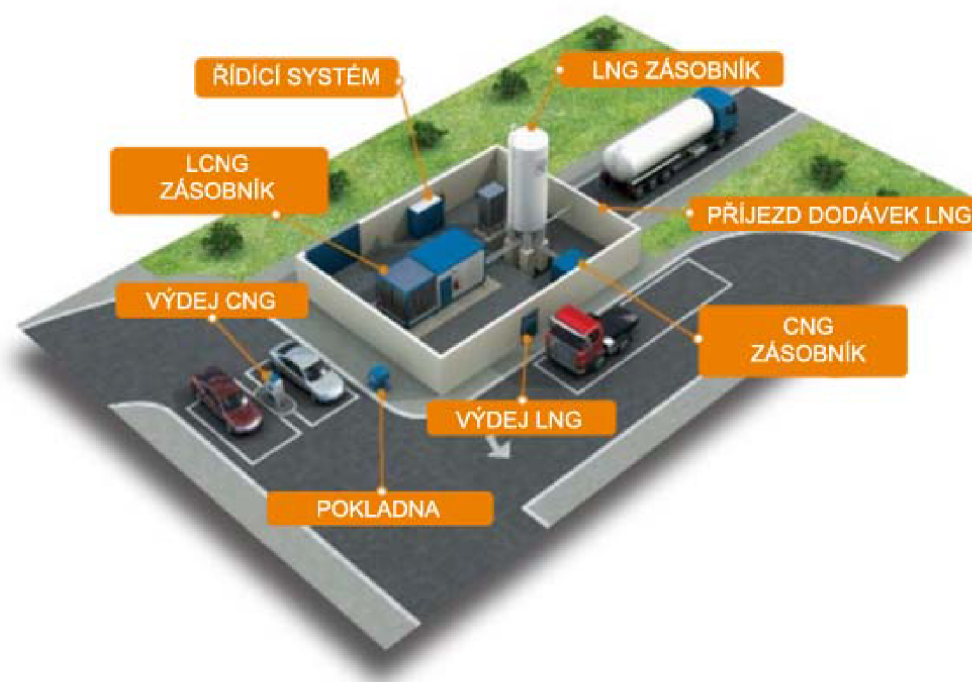
Za samostatnou kapitolu při probírání se problematikou LNG lze označit uskladnění látky o tak nízké teplotě ve vozidle, aniž by před samotným využitím došlo k nějaké výrazné energetické ztrátě. Nádrže musí mít velmi dobrou tepelnou izolaci a vyhovovat provoznímu přetlaku 0,6 až 0,8 MPa. Mezi další požadavky patří co největší doba zádrže (doba, za kterou vzroste tlak v nádrži na hodnotu, při níž se otevře pojistný ventil). Těmto požadavkům vyhovují tzv. kryogenní nádrže, jejichž doba zádrže může být i týden.



Obr. 42: Kryogenní nádrž

Doprava tohoto paliva do čerpacích stanic není realizována potrubím, z čehož plyne možná změna místa výskytu takové stanice. Díky nynějšímu specifickému lokálnímu využívání jsou takové stanice skutečně řešeny jako mobilní. LNG je z cisteren přepouštěn do zásobníků, dále je zařazeno jednostupňové odstředivé ponorné čerpadlo, odpařovač, řídicí a bezpečnostní systém a pochopitelně výdejní stojan s průtokoměrem.

Díky vysoké hustotě je LNG vhodnější pro přepravu než CNG, avšak pro využívání v dopravě je lepší CNG. Tato dvě fakta bere v potaz čerpací stanice LCNG. Plyn je do nich přivezen v kapalném skupenství, čerpadlem se dosáhne požadovaného tlaku a v odpařovači se provede změna skupenství na plynné.



Obr. 43: LCNG čerpací stanice

### 2.5.3 Stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)

Při pročítání analýz vývoje alternativních paliv od odborníků z různých zemí nabydeme dojmu, že jasnou jedničkou v horizontu blízké budoucnosti byl měl být právě CNG. Ačkoli několik argumentů toto tvrzení vysvětlujících již bylo uvedeno v úvodu kapitoly o zemním plynu, tak na následujících řádcích budou znovu uvedeny.

Ekologické výhody CNG můžeme nalézt jednak při spalování samotném, tak i při případné havárii a



Obr. 44: Ilustrativní obrázek



nechtěném úniku do životního prostředí.

Ekonomická výhodnost využití CNG jako paliva pro motorové vozidla je pro koncové zákazníky jedním z nejdůležitějších faktorů, proto by se mělo dbát, aby investiční záměry ziskuchtivého soukromého sektoru v oblasti dopravy neohrozily dnešní ceny zemního plynu. Při zachování současných poměrů můžeme stlačený zemní plyn označit za nejvýhodnější pohonnou hmotu.

Provozní výhody se nejvíce spojují s vysokým oktanovým číslem (až 130), díky kterému motor může pracovat i s velmi ochuzenou palivovou směsí (zvýšená odolnost proti klepání) a přispívá tím ke ekonomičnosti i ekologičnosti provozu (zvyšuje celkový dojezd).

Špatně informovaná veřejnost často vyslovuje obavy z tlakové nádrže naplněné výbušným plynem umístěné ve vozidle. CNG však paradoxně patří mezi nejbezpečnější paliva. Způsob uchovávání (pod vysokým tlakem) vyžaduje silnostěnné tlakové nádoby, které jsou konstruovány na několikanásobně navýšený tlak, takže odolávají i nárazu při havárii. Pro případ požáru jsou pojištěny tavnými pojistkami, které plyn pomalu vypustí takovým způsobem, aby nedošlo k výbuchu. Další možnou poruchou je přerušení palivového potrubí. V takovém případě zasáhnou bezpečnostní ventily, jež nádrž uzavřou.

Ačkoli nedostatečně hustá síť stanic čerpajících CNG je prozatím překážkou jeho masovějšímu uplatnění (a to nejen v ČR), tak způsob distribuce plynu kuživateli je jasnou výhodou. Může být přepravován hustou sítí plynovodů, což umožní snížit množství cisteren pohybujících se po veřejných komunikacích.

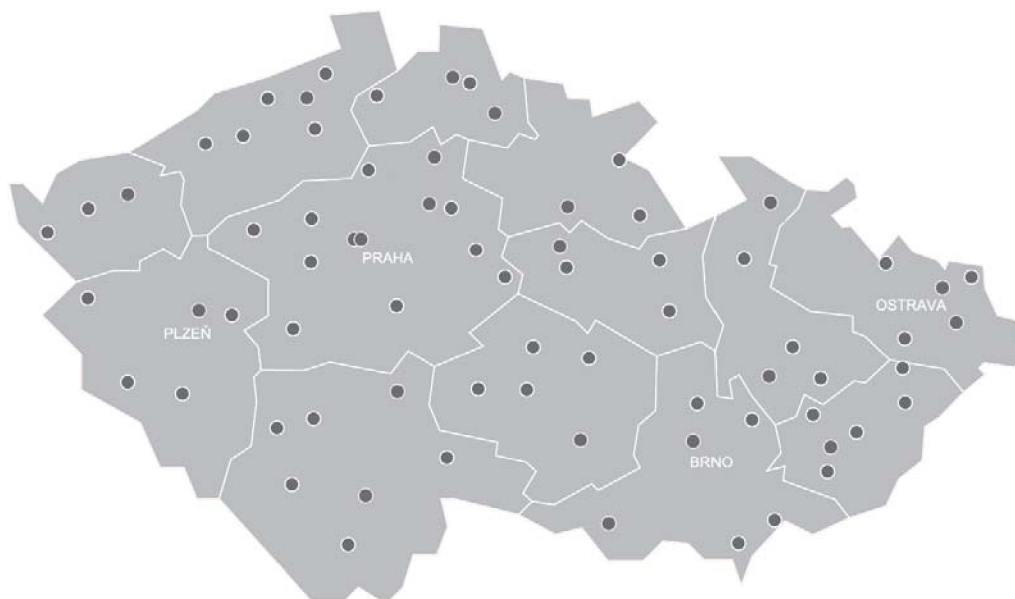
Zemní plyn přechovávaný v plynném skupenství se, jak již bylo uvedeno, odebírá z plynovodní sítě a stlačuje v kompresních stanicích obvykle na tlak 20 až 30 MPa.

Ujetá vzdálenost za 1000 Kč	
Benzin	cca 470 km
Nafta	cca 680 km
CNG	cca 980 km

Tab. 11: Přibližné porovnání provozních nákladů (2009) [23]

## Čerpací stanice CNG

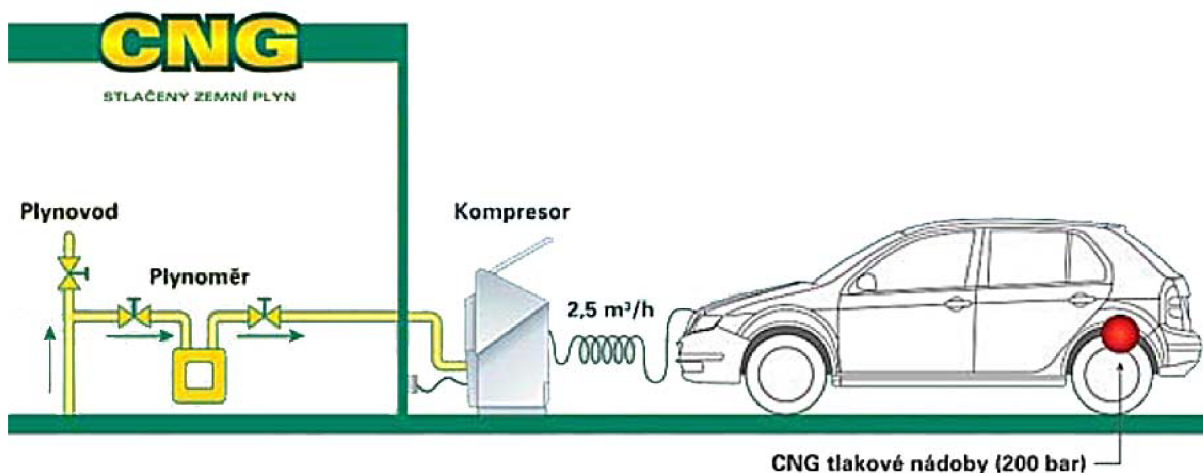
Síť čerpacích stanic nabízejících CNG se nyní mění takřka s každým novým měsícem. Progresivní nárůst stanic je podložen Dohodou o rozšíření zemního plynu jako alternativního paliva v dopravě uzavřenou mezi plynárenskými společnostmi a Českou republikou.



Obr. 45: Mapa čerpacích stanic CNG (03/09)

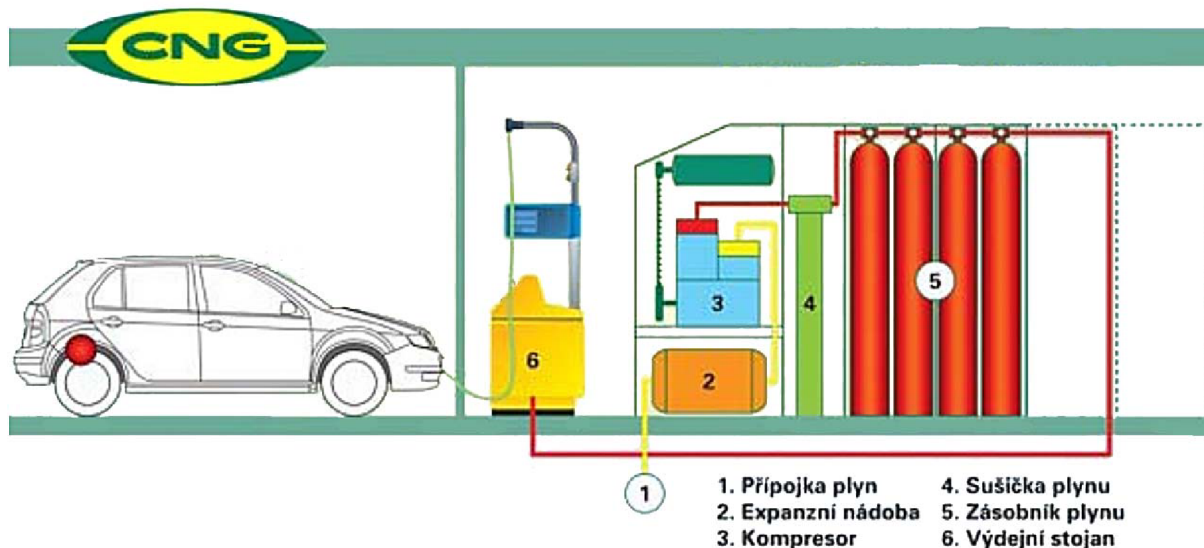
Samotný čerpací proces je vlastně přepouštění z velkých zásobníků stanice přes rychloupínací systém a plnicí ventil do další tlakové nádoby- nádrže. Vývoj se rozštěpil do dvou směrů: pomaluplnící stanice a rychloplnicí stanice.

**Pomaluplnící stanice** nemá velké zásobníky, nýbrž plyn je kompresorem vháněn přímo do nádrže. Doba takového tankování se pohybuje okolo 7 hodin, proto jsou takové stanice vhodné k použití tam, kde odstavení vozidla na tak dlouho dobu můžeme naplánovat. Jedná se především o firemní vozový park, nebo domácí plničky (plyn se doplňuje přes noc).



Obr. 46: Schéma pomaluplnící stanice

**Rychloplnící stanice** jsou schopny naplnit nádrž automobilu za 5 až 8 minut. Zásobníky takové stanice jsou doplňovány několikastupňovým kompresorem, přičemž plyn je před nasátím dodatečně upravován (zbavení případných nečistot a kondenzátu).



Obr. 47: Schéma rychloplnící stanice

## 2.6 VODÍK

Vodík je prvním prvkem periodické tabulky prvků. Je tedy nejjednodušším, nejlehčím a zároveň nejrozšířenějším prvek vyskytujícím se ve vesmíru.

Za normálních fyzikálních podmínek je to plyn bez chuti a zápachu a je schopen tvořit sloučeniny s téměř všemi ostatními prvky (vyjma inertních plynů). Lze ho převést do kapalného skupenství zchlazením na  $-252,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Je základem všech živých organismů (spolu s kyslíkem, dusíkem a uhlíkem) a mluvíme tedy o něm jako o biogenním prvku.

Molární hmotnost [g.mol <sup>-1</sup> ]	2,0158
Bod varu [°C]	-252,8
Bod tání [°C]	-259,2
Hustota kapalná fáze (-259,2 °C a 0,1 MPa) [kg.m <sup>-3</sup> ]	70,8
Hustota plynná fáze (-259,2 °C a 0,1 MPa) [kg.m <sup>-3</sup> ]	0,0838
Spalné teplo (kapalná fáze) [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	141,86
Spalné teplo (plynná fáze) [MJ.m <sup>-3</sup> ]	12,75
Výhřevnost (kapalná fáze) [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	120,05
Výhřevnost (plynná fáze) [MJ.m <sup>-3</sup> ]	10,79
Teplota samovznícení [°C]	585
Meze výbušnosti se vzduchem (% obj.)	4 - 75

Tab. 12: Vybrané vlastnosti vodíku [1] [2]

Vodík tvoří se vzduchem výbušnou směs v širokém rozmezí koncentrací a jakákoli manipulace s ním je tedy velmi riziková. Nebezpečí případného výbuchu navíc umocňuje záporná hodnota Joule- Thomsonova koeficientu. Při případném úniku vodíku z tlakové nádrže tedy dochází k násobení pravděpodobnosti exploze.

### 2.6.1 Výroba vodíku

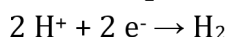
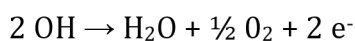
Málo zdůrazňovaným faktem v předpovědích mluvících o vodíku jako o prvku budoucnosti je, že ho nelze považovat za energetický zdroj. Vodík nezískáváme těžbou či jiným obdobným způsobem, nýbrž jej vyrábíme. Používáme ho tedy pouze jako nosič energie. Předpokládáme-li, že k jeho výrobě byla použita energie (např. elektrická) získaná z obnovitelných zdrojů, můžeme jeho využití označit za časově neohraňené.



Obr. 48: Veřejná čerpací stanice v Reykjavíku (otevřena v roce 2003)

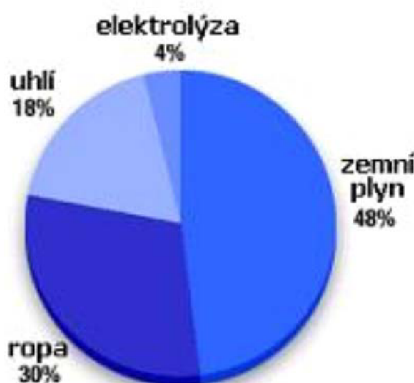
Samotnou výrobu vodíku lze zrealizovat několika technologiemi odvíjejících se od použité vstupní suroviny. Jedná se především o elektrolýzu (voda), parní reformování (zemní plyn), parciální oxidaci (fosilní paliva) a zplyňování (uhlí).

- parní reformace: termická katalytická reakce zemního plynu (lehké uhlovodíky, převážně metan). Rentabilita této technologie vyžadující vysoké počáteční investice je zajištěna efektivitou procesu (účinnost 70 až 90 %). Tato metoda se skládá ze čtyř základních procesů:
  - katalytické odsíření: odstraňování sloučenin síry hydrogenizací a následnou adsorpcí
  - reforming: reakce metanu s vodní párou produkující syntézní plyn ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , ...)
  - konverze oxidu uhelnatého: oxid uhelnatý vzniklý v předchozím bodě se nechává reagovat opět s vodní párou, což navýší procento vodíku a  $\text{CO}_2$  v syntézním plynu
  - čištění: Při střídavé tlakové adsorpci je oddělen vodík od ostatních složek syntézního plynu. Výsledná čistota dosahuje 99,9 %.
- parciální oxidace: technologie schopná zpracovat lehké i těžké uhlovodíky v kapalné i pevné formě (do mazutu až po metan). Jedná se taky o termické reakční způsob, avšak oproti předchozímu je nákladnější, neboť je nutné zabránit vzniku nadměrného množství nežádoucích plynů použitím upravovaných podpůrných prostředků (např. čistý kyslík místo běžného vzduchu).
- zplyňování uhlí: nejméně technicky vyspělý způsob vyznačující se nízkou účinností. Používaný zejména v Číně a Jižní Africe.
- elektrolýza vody: z doposud známých způsobů výroby se jedná o nejčistší. Přitom se jedná o prověřenou klasickou technologii. Účinkem stejnosměrného proudu procházejícího mezi dvěma kovovými elektrodami dochází k disociaci (štěpení) vody za vzniku iontů  $\text{H}^+$  a  $\text{OH}^-$



## 2.6.2 Vodíkové hospodářství

Chceme-li učinit vodíkové pohony dostupné široké veřejnosti, musíme v první řadě optimalizovat vodíkové hospodářství ve všech krocích tak, aby výsledná cena a ekologická zátěž výroby byly konkurenceschopné ostatním palivům. Že to není nereálné, dokazuje projekt CUTE (Čistá městská doprava pro Evropu), což je společný projekt Evropské unie a Islandu. Převážné množství elektrické energie vyrobené na Islandu (tzv. „vodíkovém ostrově“) je získané z obnovitelných zdrojů (až 70 %) a její množství převyšuje spotřebu ostrova. Proto je ideálním místem pro výrobu vodíku, který je následně využíván pro autobusy městské hromadné dopravy v několika zemích.



Obr. 49: Podíl jednotlivých zdrojů na celkové výrobě vodíku ve světě [28]

### 2.6.3 Skladování a přeprava vodíku

V současné době je využívání vodíku jako pohonné hmoty pro automobily zanedbatelné oproti jeho průmyslovým využitím a drtivá většina vodíkové produkce je tedy spotřebována hned v blízkosti místa výroby (rafinerie, petrochemický průmysl, ...). Vzhledem k očekávanému růstu jeho spotřeby zejména v nestacionárních zařízeních je nutné řešit způsob distribuce a následně přechovávání. Nejdiskutovanější otázkou, která zde vyvstává, je, jaká forma vodíku je pro to nejvhodnější.

Vzhledem k počáteční fázi, ve které se tato problematika nachází, je nutné uvažovat se změnou ideálních způsobů přepravy vzhledem k počtu cílových zákazníků. V krátkodobém časovém horizontu se jeví jako nejvhodnější způsob silniční doprava stlačeného vodíku. Nevyžaduje velké investice do vybudování tranzitní infrastruktury a místo určení cíle takových zásilek nemusí být specifikováno v dlouhodobém výhledu, což ocení především občasní odběratelé. Realizuje se tzv. bateriovými vozy, které jsou osazeny buď větším počtem standardních lahví o objemu 50 litrů, nebo devíti kusy dlouhých ležatých nádob. Pro vytváření zásob a pokrytí výkyvů spotřeby v místech přepravních uzlů se budují podzemní zásobníky. Obvykle se využívají vytěžené solné doly, jeskyně po zemním plynu apod. Skladovací tlak se pohybuje okolo 11 MPa.

Zmenšení potřebného skladovacího prostoru pro vodík lze dosáhnout jeho zkapalněním. Proces přeměny skupenství je však velmi energeticky náročný (mnohem více než u zemního plynu). Energie potřebná ke zkapalnění se rovná přibližně 1/3 jeho výhřevnosti. Zkapalnění se skládá z několika úkonů:

- stlačení vodíku a odvedení kompresního tepla
- přechlazení kapalným dusíkem
- expanze v turbíně (a s tím spojené ochlazení)
- expanze na Joule- Thomsonově ventilu (další ochlazení a zkapalnění)

Kapalný vodík se uchovává v nádržích evakuovaných dvojitým pláštěm vyplněným speciální izolací s reflexní vrstvou, přičemž platí, že čím je větší objem přechovávaného vodíku, tím jsou menší ztráty odparem. Přeprava se realizuje autocisternami, jejichž

kapacita (30 000 až 50 000 litrů) je rovna zhruba desetinásobku transportní kapacity bateriových vozů přepravujících vodík v plynném stavu. Z cisteren se vodík přečerpává do kryogenních nádrží o objemu až 47 000 m<sup>3</sup>. Zkušenosti se zkapalněným vodíkem jsou získávány hlavně díky vesmírným programům (NASA ho spotřebovala v roce 2007 více než 7 000 tun).

## 2.6.4 Spalování vodíku

Vodík (ať už stlačený nebo zkapalněný) se spaluje obdobně jako běžné pohonné hmoty. Tento způsob uvolňování energie se však u vodíku nejeví jako nejvýhodnější. Větší perspektiva se připisuje palivovým článkům, které jsou zdrojem elektrické energie pro pohon elektromotorů. Tímto způsobem řešený pohon dosahuje oproti spalování vyšší účinnosti, neboť přeměna energie je přímá a nedochází tedy ke vzniku tepelných ztrát a značně se zmenší i ztráty mechanické. Mezi jeho další výhody patří vysoká účinnost procesu při nízkém zatížení a její pokles při rostoucím zatížení.

Při spalování vodíku dosáhneme naopak vysoké účinnosti až při velkém zatížení doprovázeného přeplňováním a za podmínky vysokého kompresního poměru a rychlého hoření. Vysoké tlaky uvnitř válce jsou nutné z důvodu nízké objemové výhřevnosti směsi (malá hustota vodíku).

Doposud vyvinuté spalovací motory používající jako palivo vodík se liší především ve způsobu dopravy vodíku do spalovacího prostoru, resp. tvorbě hořlavé směsi vodík-vzduch. Variant je několik:

- stlačený plynný vodík je vefukován do sání motoru pomocí elektricky ovládaných ventilů
- stlačený plynný vodík je vefukován do válců motoru pomocí elektricky ovládaných ventilů
- plynný vodík je přiváděn do sání motoru přes směšovač
- kapalný vodík je vstříkovan do válců pomocí elektricky ovládaných ventilů

Zápalnost směsi vodíku se vzduchem je z hlediska měrné spotřeby energie dobrá, a to v širokém rozmezí. Díky tomu tyto motory umožňují spalování i velmi chudých směsí. Přináší to však s sebou riziko zapálení přiváděné směsi od spalin vlivem vnitřní recirkulace v motoru a tím nepříjemné zášlehy do sacích kanálů.

Výhodou vodíkových spalovacích motorů oproti palivovým článkům je, jak již bylo uvedeno, konstrukční podobnost motorům na ropná paliva, a tím daný mnohaletý náskok ve vývoji (první zkoušky s vodíkem jako palivem probíhaly už ve 20. letech minulého století). Neopomenutelným kritériem hrajícím v jejich prospěch je zde prozatím i jejich cena, avšak aby si před konkurencí zachovaly náskok, měly by být kladeny důraz na jejich vývoj zejména v těchto oblastech:

- zevšeobecnit a zevšednit přeplňování v zájmu navyšování měrného výkonu a snižování tepelných i mechanických ztrát.
- dosáhnout lepší regulace tvorby směsi a plnicí účinnosti s využitím inteligentního řízení regulátoru, který by eliminoval dopravní zpoždění a tím dosahoval optimálního předstihu zážehu.
- regulovat víření ve válci a tím dosáhnout lepší homogenizace směsi (především při pozdním vefuku paliva v kompresi).
- omezit možnost vzniku detonace (klepání) zaručením zápalu zážehem, například přimícháváním pomalu hořících paliv (dle pokusů TU v Liberci má většinou kladný účinek i na ostatní parametry motoru).

Průkopníkem sériově vyráběných automobilů se spalováním vodíku je německá automobilka BMW. Její model Hydrogen 7 je v provozu na evropských a především amerických silnicích od roku 2007. Vozidlo má dvě nádrže- klasickou na benzin poskytující dojezd 480 km a kryogenní na kapalný vodík s dojezdem 200 km.



Obr. 50: BMW Hydrogen

Obzvláště výhodný pro spalování vodíku se ukazuje rotační motor, s jehož konstrukcí má největší zkušenosti automobilka Mazda. Uspořádání tzv. Wankelova motoru je vhodnější pro vodíkové palivo než provedení klasického pístového stroje díky tomu, že vysoce výbušný vodík se do rotačního motoru přímo vstříkuje při nižší teplotě a do



styku s vysokou teplotou spalovací komory přichází později, neboť rotační motor má oddělené sací, spalovací a výfukové komory. Dochází tak k jeho plynulejšímu spalování s účinnějším mísením směsi bez detonačních problémů. Přídavné trysky vodíku (v plynném skupenství) se také lépe zabudují do bloku rotačního motoru než do hlavy válců pístového stroje.



*Obr. 51: Mazda RX-8 RE Dual Fuel*

## 3. CNG- ALTERNATIVNÍ PALIVO BLÍZKÉ BUDOUCNOSTI

Výsledkem hledání alternativy k ropným palivům, která by byla vhodná k masivnímu rozšíření v dohledné době, je jistě CNG. Proto automobilky usilovně pracují na rozšíření palety vozů jezdících právě na stlačený zemní plyn. Konkrétně v České republice dostalo „zelenou“ toto palivo podepsáním již zmíněné Dohody o podpoře zemního plynu v dopravě mezi státem a plynárenskými společnostmi.



Obr. 52: Autobus jezdící na CNG

Současný nízký počet čerpacích stanic CNG v souvislosti s nižším dojezdem nemusí být nutně překážkou pro zakoupení takového vozu. Všechny sériově vyráběné vozy jsou uzpůsobeny pro spalování dvou paliv. Pokud se vyprázdní nádrž se zemním plynem, řídicí jednotka okamžitě přepne na spalování benzínu. Úkon se tedy povede bez nutné asistence řidiče, který není ze soustředění vyrušen ani žádnou skokovou změnou chování vozu.

### 3.1 SPALOVÁNÍ CNG

Výhody a nevýhody použití CNG jako paliva pro spalovací pístové motory se ztotožňují ve většině případů s ostatními používanými plynnými palivy. Provozní vlastnosti motoru se stanou uživatelsky příjemnější. Motor má tišší a rovnoměrnější chod (menší hluk uvnitř i vně vozidla). Ohleduplněji se chová i k motoru samotnému a oproti kapalným palivům snižuje jeho opotřebení. Zemní plyn nijak nereaguje ani se nerozpouští v motorovém oleji ani netvoří nespálené částice, takže motorový olej se déle udrží čistší a nezředěný, má tedy prodloužený interval výměny.

Navyšování vozidel jezdících na zemní plyn jde ruku v ruce s rostoucími nároky na ochranu životního prostředí. Ekologický provoz je pro všechny moderně uvažující lidi velkou motivací, a nahrává tedy urychleným investicím do tohoto paliva. Ekologicky zaměřených argumentů je skutečně mnoho:

- snížení tvorby ozónu v atmosféře nad zemí, který způsobuje tzv. letní smog
- výrazné snížení neethanových, aromatických a polyaromatických uhlovodíků (PAU)
- kouřivost vznětových motorů je u plynových pohonů prakticky eliminována
- spaliny z motorů na zemní plyn neobsahují oxid siřičitý
- snížení dalších dnes velmi sledovaných složek emisí- NO<sub>x</sub> a CO
- do zemního plynu se nepřidávají aditiva a karcinogenní přísady
- při tankování nevznikají žádné ztráty paliva (odpařování nafty)
- nemožnost kontaminace půdy v důsledku úniku nafty na silnici, v garáži
- čistější vzduch v uzavřených prostorech, který nezpůsobuje bolest hlavy

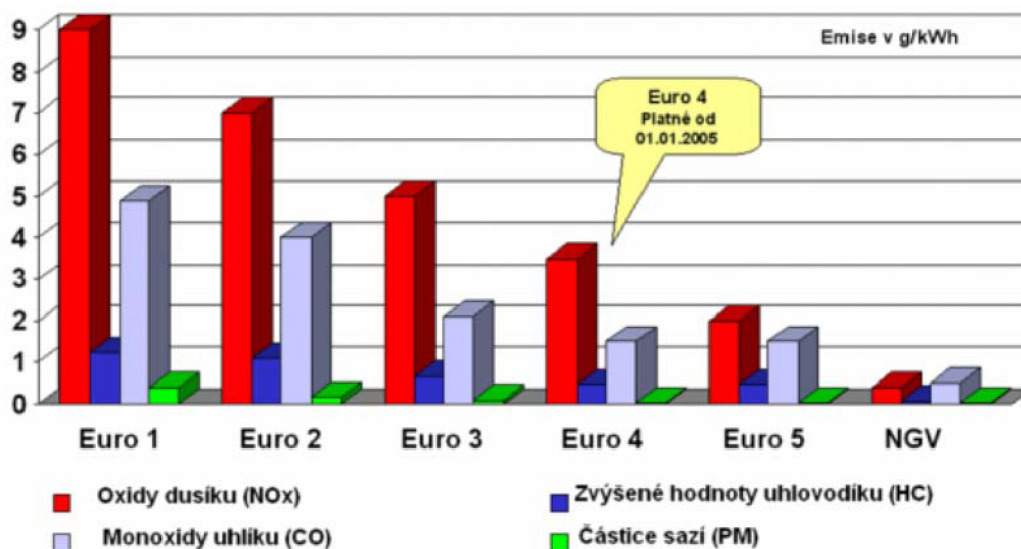
Molekula hlavní složky zemního plynu metanu má počet atomů uhlíku a vodíku v molekule v poměru 1 : 4, kdežto u benzínu i motorové nafty se tento poměr blíží 1 : 2. To má za následek vznik více vody a méně oxidu uhličitého při spalování CNG než jak je tomu u běžných uhlovodíkových tekutých paliv. Při přepočtu na stejnou výhřevnost je přínos pro snížení skleníkového efektu asi 20 % ve prospěch metanu oproti benzínu.

Záměna ropného paliva za zemní plyn má přízniví vliv i na prodloužení životnosti motoru. Metan nijak nereaguje ani se nerozpouští v motorovém oleji ani netvoří nespálené částice. Motorový olej se tedy udrží déle čistší a nezředěný, což umožní prodloužit interval výměny, díky nižšímu opotřebení motoru.

	CNG ve srovnání s benzinem	CNG ve srovnání s naftou
PM (popílek s karcinogenními účinky)	-100 %	-100 %
CO <sub>2</sub>	-25 %	-15 %
SO <sub>2</sub>	-100 %	-100 %
NO <sub>x</sub>	-20 %	-80 %
H <sub>x</sub> C <sub>x</sub>	-80 %	-80 %
CO	-75 %	-50 %

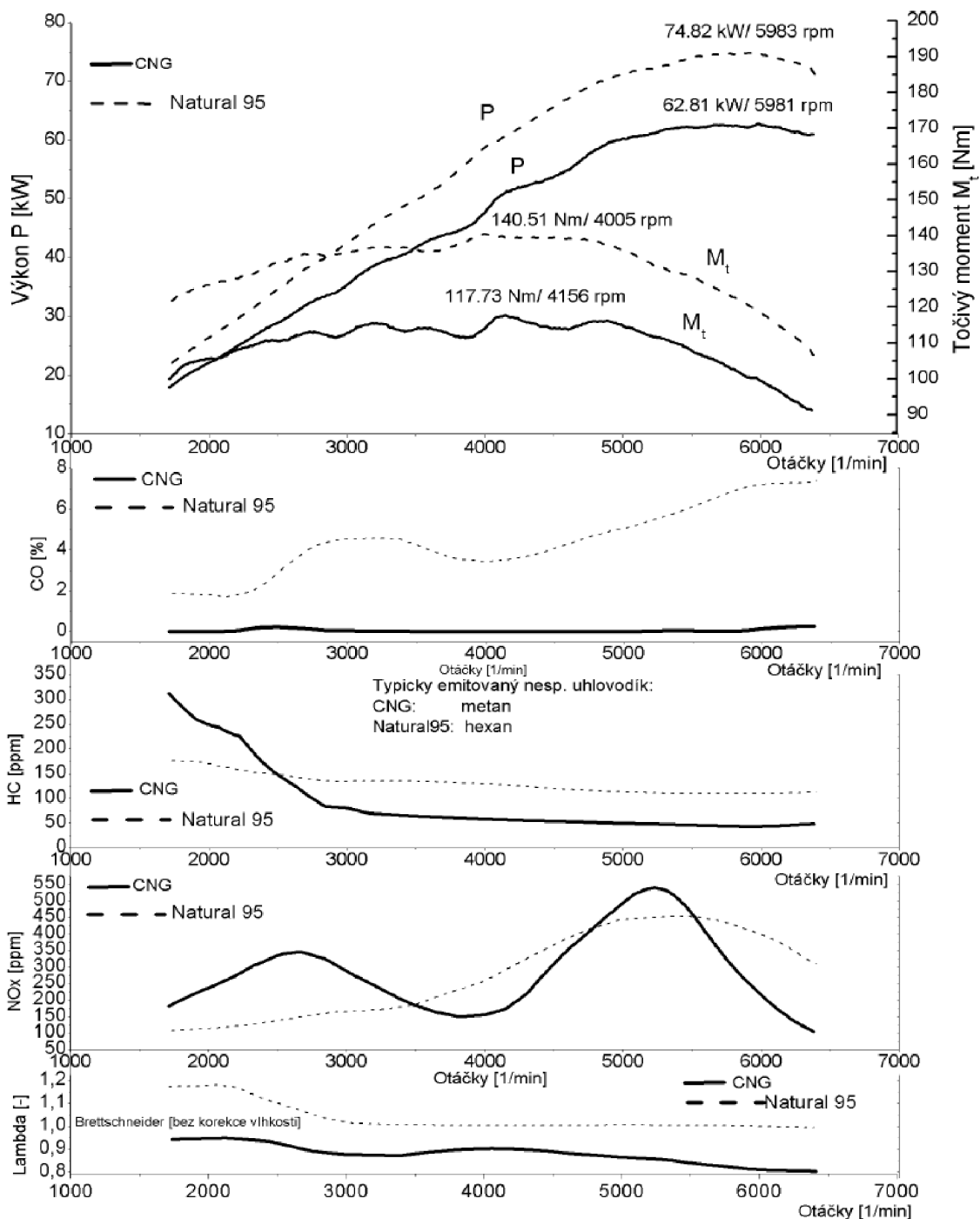
Tab. 13: Porovnání snížení emisí oproti běžným ropným palivům [28]

Zatímco sebemenší technické zlepšení motorů spalujících klasické ropné produkty velmi navyšuje jejich cenu, tak motory na zemní plyn plní již dnes normu Euro V (začne platit od roku 2010).



Obr. 53: Zemní plyn (Euro V) ve srovnání s ostatními euro standardy [3]

Při porovnávání výkonových charakteristik motoru na CNG s adekvátním benzinovým motorem je zřejmý pokles výkonu v celém rozmezí provozních otáček přibližně o 16%. To je dáno nejen chemickými vlastnostmi zemního plynu (nižší výhřevnost), ale také provozním nastavením motoru podléhajícímu optimalizaci navzájem protichůdných opatření- výkon vs. spotřeba. Zatímco při provozu na benzin je požadována maximální možná dávka paliva, tak nastavení dodávky CNG zpravidla striktně dodržuje stechiometrii.



Obr. 54: Porovnání vybraných parametrů měřených s odlišnými palivy (Renault Megane) [37]

### 3.2 KONSTRUKČNÍ PRVKY MOTORU CNG

Motor uzpůsobený pro spalování CNG pracuje na stejných kinematických a termomechanických principech jako dnes běžné motory na benzin. Hořlavá směs paliva a vzduchu po zapálení ve válci uvolňuje energii, kterou pomocí pístu zachytáváme a přeměňujeme na rotační pohyb klikovým mechanismem.

Přidaná plynová soustava má následující základní komponenty:

- tlakové nádoby s multiventily: palivové nádrže disponují objemem 70 až 100 litrů, obvykle se umísťují v zavazadlovém prostoru (přestavby), nebo pod vozidlem (sériová výroba).



Obr. 55: Nádrž umístěná pod vozidlem

- plnicí ventil: propojuje tlakové nádrže automobilu s plnicími systémy čerpacích stanic. Umísťuje se buď samostatně, vedle čerpacího otvoru pro klasické pohonné hmoty, nebo přímo v motorovém prostoru



Obr. 56: Plnicí ventil u otvoru klasických PHM

- propojovací vysokotlaké plynové potrubí
- manometr: způsoby a počet měření tlaku se různí; je nutný ve vysokotlaké části plynové zástavby
- regulátor tlaku plynu: redukuje tlak plynu přicházejícího z nádrže na požadovanou hodnotu k další distribuci do válců

Další komponenty zařazujeme dle způsobu přívodu paliva do spalovacího prostoru

- systémy s centrálním směšovačem
  - krokový motorek: přijímá signály z řídicí jednotky, na jejichž základě upravuje množství plynu transportovaného do samotného směšovače
  - směšovač: tvoří zápalnou směs zemního plynu se vzduchem (obdobu karburátoru)
  - řídicí jednotka: je schopna spolupráce s benzinovou řídicí jednotkou. Vyhodnocuje signály z motoru a upravuje parametry spalování
  - přepínač plyn- benzín: zpravidla je tvořen i ukazatelem množství plynného paliva (u sériově vyráběných vozů je ukazatel pouze jeden pro obě paliva; ukazuje stav paliva, které se právě spotřebovává)
  - katalyzátor s lambda sondou: analyzuje chemické složení spalin a poskytuje zpětnou vazbu řídicí jednotce
- přímé vstřikování
  - palivová lišta: propojuje regulátory tlaku s jednotlivými vstřikovači



Obr. 57: Palivová lišta ve voze FIAT

- elektronické vstřikovače: pro každý válec je jeden vstřikovač dávající palivo do sacího kanálu

### 3.3 UKÁZKA VOZIDEL DOSTUPNÝCH NA ČESKÉM TRHU

Opel Astra Caravan 1,6 CNG



Obr. 58: Opel Astra Caravan 1,6 CNG

	Provoz CNG	Provoz benzin
Objem nádrže	19 kg (26,6 m <sup>3</sup> )	14 l
Komb. spotřeba (100 km)	4,6 kg (6,4 m <sup>3</sup> )	-
Dojezd	380	180
Výkon	71 kW (97 hp)	-

Tab. 14: Vybrané vlastnosti vozu Opel Astra Caravan 1,6 CNG

Fiat Multipla 1,6 Natural Power



Obr. 59: Fiat Multipla 1,6 Natural Power

	Provoz CNG	Provoz benzin
Objem nádrže	26,5 kg (38,9 m <sup>3</sup> )	38 l
Komb. spotřeba (100 km)	6,3 kg (8,8 m <sup>3</sup> )	9,0 l
Dojezd	420 km	420 km
Výkon	68 kW (92 hp)	76 kW (103 hp)

Tab. 15: Vybrané vlastnosti vozu Fiat Multipla 1,6 Natural Power



Volkswagen Touran Eco Fuel



*Obr. 60: Volkswagen Touran Eco Fuel*

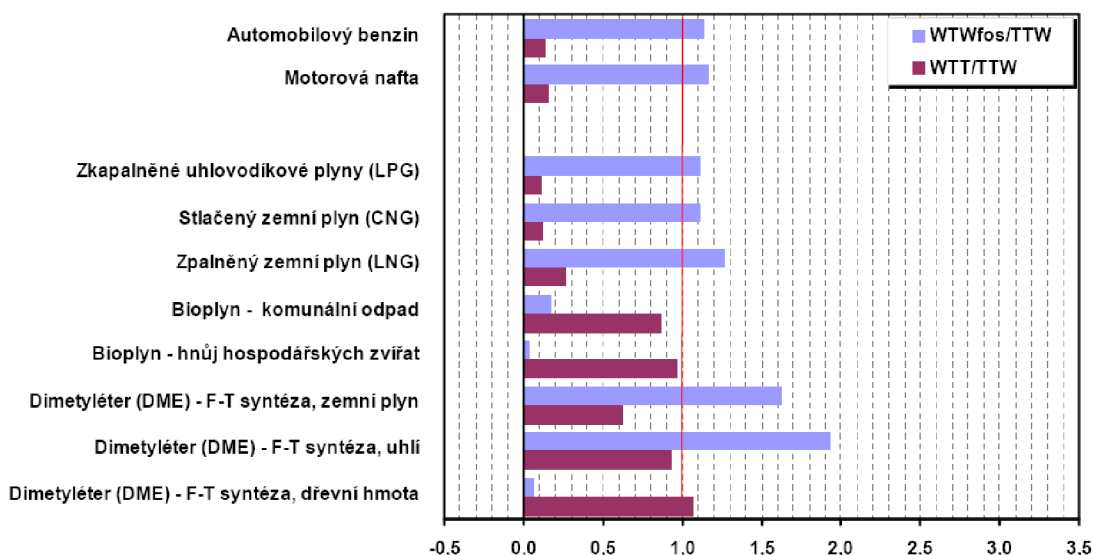
	Provoz CNG	Provoz benzin
Objem nádrže	18 kg ( m <sup>3</sup> )	23 l
Komb. spotřeba (100 km)	5,8 kg (8,6 m <sup>3</sup> )	8,1 l
Dojezd	310 km	130 km
Výkon	80 kW (109 hp)	75 kW (102 hp)

*Tab. 16: Vybrané vlastnosti vozu Volkswagen Touran Eco Fuel*

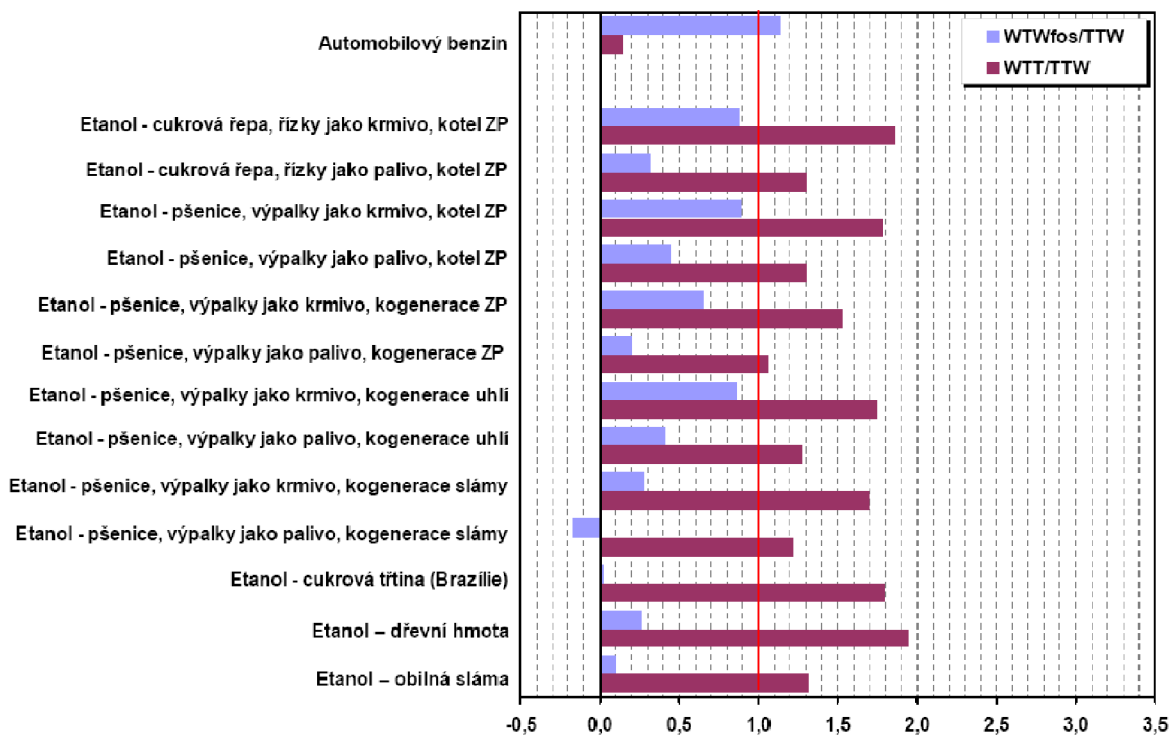
## 4. EKONOMICKO-EKOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ

Aby bylo ekologické i ekonomické hodnocení alternativních paliv objektivní, musí komplexně analyzovat celý „životní cyklus“, nikoli jen finální dopad spojený s dopravním prostředkem. V některých případech totiž může být výroba paliva a jeho distribuce natolik ekologicky a energeticky náročná, že prakticky smaže jeho pozitivní efekt spotřeby ve vozidle.

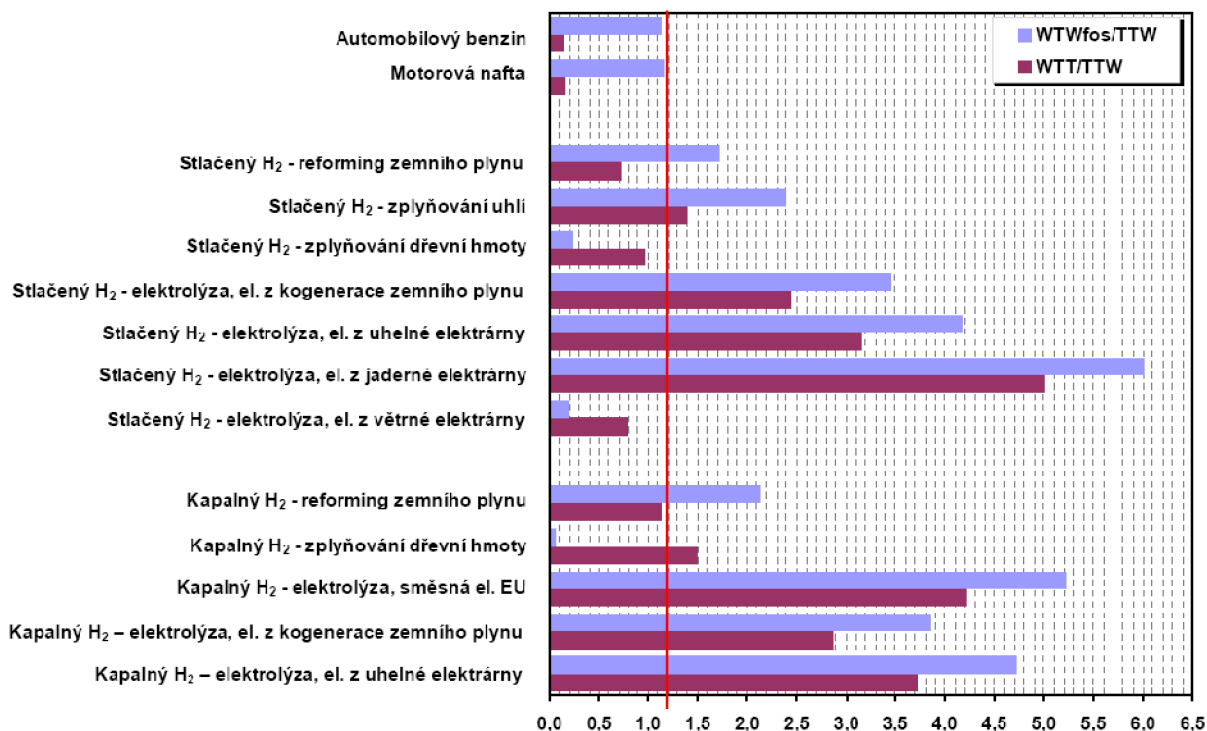
Studie vlivu na životní prostředí se zpravidla rozděluje do dvou částí. Energetickou náročnost a tvorbu emisí skleníkových plynů ve fázi předcházející konečné spotřebě paliva ve vozidla hodnotí první část, tzv. Well to Tank („od zdroje do nádrže“), druhá část, tzv. tank to Wheel („z nádrže na kola“) se zaměřuje na spotřebu energie a produkci emisí ve vozidle samotném. Jejich spojením dostaneme celý životní cyklus, tzv. Well to Wheel („od zdroje na kola“).



Obr. 61: Porovnání rel. spotřeby energie plyných paliv ve fázi jejich výroby a distribuce ( $WTT$ ) a spotřeby z fosilních zdrojů ( $WTW_{fos}$ ), vztaženo na využitelný obsah energie při spotřebě ( $TTW$ ) [3]

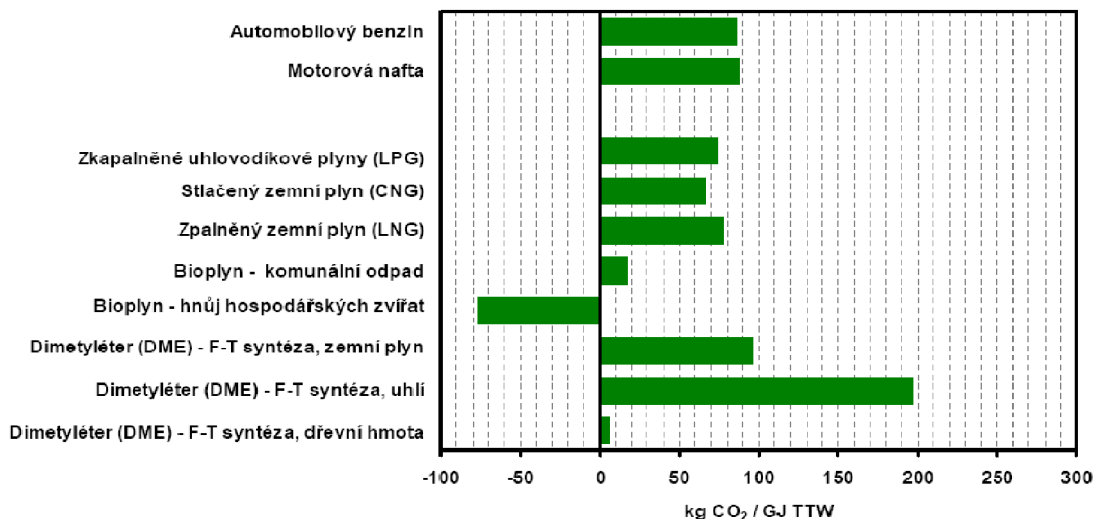


Obr. 62: Porovnání rel. spotřeby energie bioetanolu ve fázi jejich výroby a distribuce ( $WTT$ ) a spotřeby z fosilních zdrojů ( $WTT_{fos}$ ), vztaženo na využ. obsah při spotřebě ( $TTW$ ) [3]

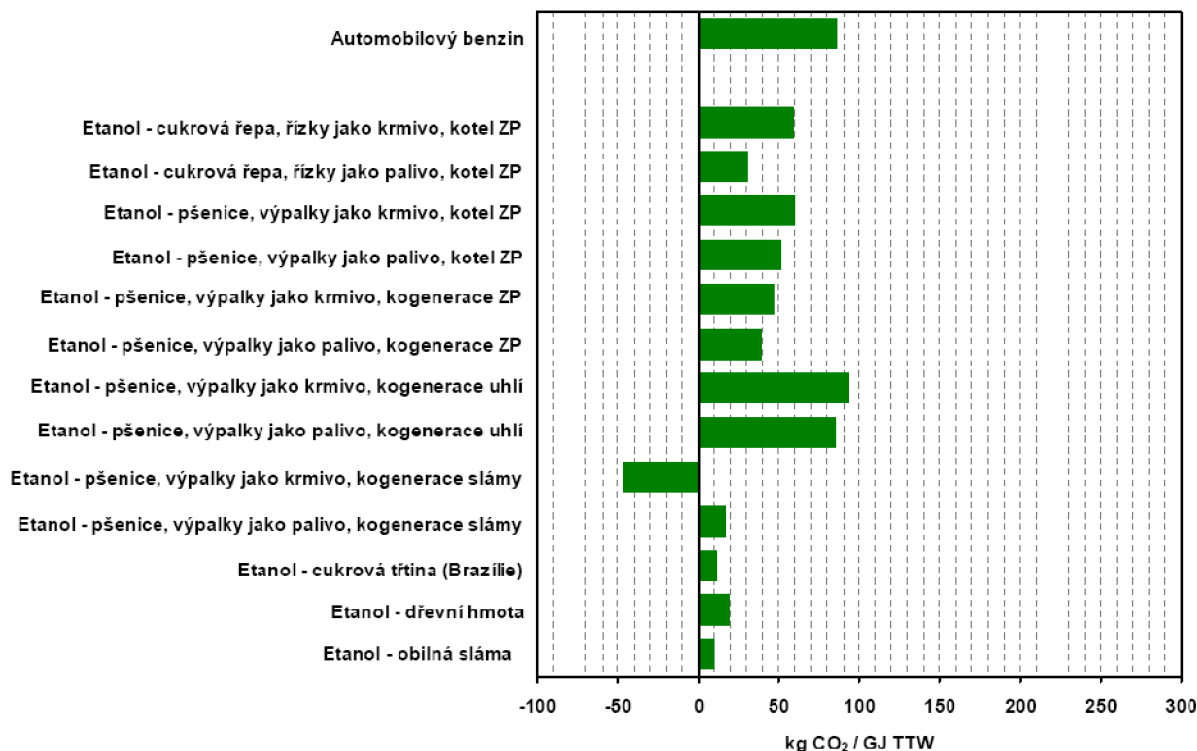


Obr. 63: Porovnání rel. spotřeby energie vodíku ve fázi jejich výroby a distribuce ( $WTT$ ) a spotřeby z fosilních zdrojů ( $WTT_{fos}$ ), vztaženo na využitelný obsah energie při spotřebě ( $TTW$ ) [3]

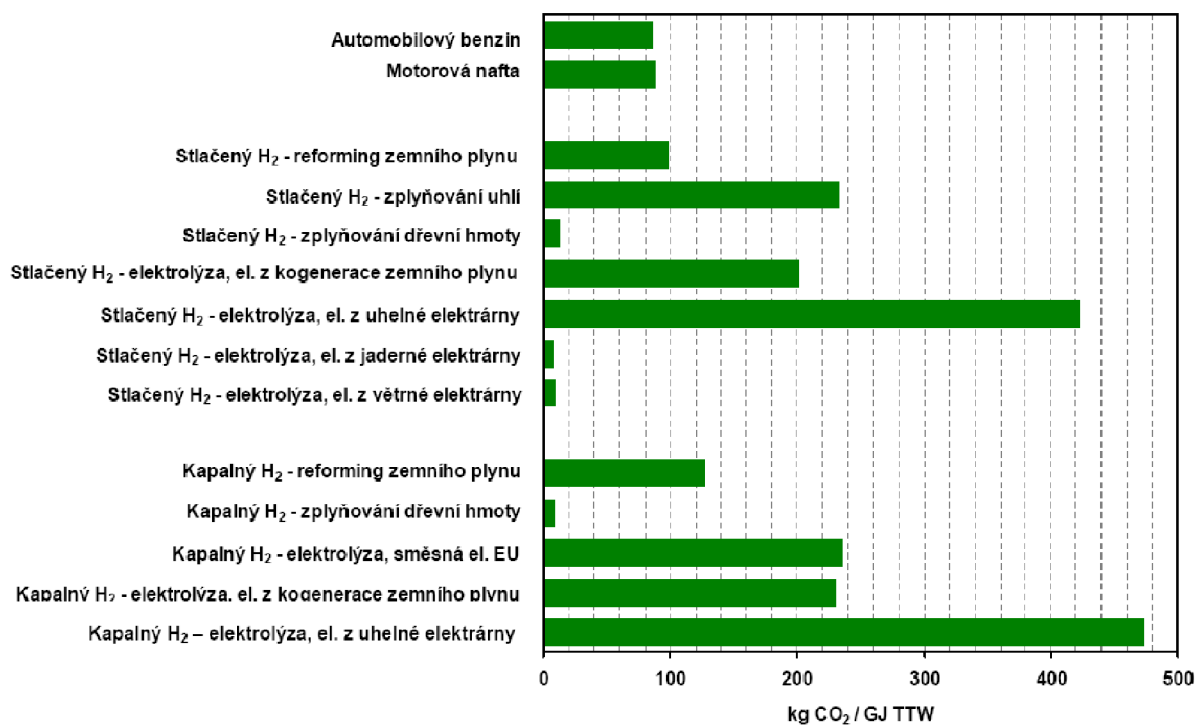
Vliv alternativních paliv na životní prostředí bývá hodnocen dle množství skleníkových plynů vypuštěných do ovzduší během celého životního cyklu paliva. Jak plyne z následujících grafů, nejlépe z těchto studií vycházejí paliva získávaná z obnovitelných zdrojů. Výroba z fosilních paliv je nutně spjata s neekologickými pracovišti, jako jsou rafinérie apod., zatímco například výroba bioplynu ze zvířecích exkrementů je dokonce prospěšná, neboť zabráníme vzniku skleníkových plynů při jejich přirozeném tlení a kvašení.



Obr. 64 : Celkové emise CO<sub>2</sub> plyných paliv vztažené na využ. energetický obsah [3]



Obr. 65: Celkové emise CO<sub>2</sub> etanolu vztažené na využitelný energetický obsah [3]



Obr. 66: Celkové emise CO<sub>2</sub> vodíku vztahované na využitelný energetický obsah [3]

## 5. ZÁVĚR

Tato práce měla za cíl seznámit čtenáře s palivy, jenž již nyní jsou, případně v budoucnu pravděpodobně budou, alternativou k benzínu a naftě, jejichž zásoby se tenčí a spotřeba roste. Náhradu těchto ropných produktů za energetické zdroje s možným udržitelným rozvojem lze označit za jeden z hlavních úkolů naší civilizace v příštích desetiletích.

Záměna bude pravděpodobně probíhat v několika etapách. Cesta ke zcela obnovitelným zdrojům povede zřejmě přes paliva, jejichž příchod na trh nebude vyžadovat velké finanční injekce ze státních rozpočtů ani soukromého sektoru a celý životní cyklus bude možno technicky zajistit pomocí již dnes známých technických znalostí a dovedností. Následný další vývoj trhu s palivy se bude odvíjet od nově vyvinutých technologií.

Aby byl přechod na nová paliva co nejhladší a nedocházelo k narušování vyspělých ekonomik, které jsou v současné době na ropných palivech zcela závislé, bylo by vhodné se zaměřit i na efektivitu využívání energií obecně. Například zvyšováním účinnosti pohonů, řízením mobility (přesun dopravy z osobních automobilů do prostředků veřejné hromadné dopravy) apod.

Největší prostor v této práci dostal CNG – stlačený zemní plyn. Jeví se jako nejperspektivnější alternativní palivo pro nadcházející roky, což lze vysledovat z rostoucího počtu dostupných sériově vyráběných vozů upravených pro provoz na CNG i aktivit plynárenských společností připravujících síť čerpacích stanic.

O palivu budoucnosti, jehož využívání nebude podmíněno vykrádáním neobnovitelných přírodních zdrojů, lze jen spekulovat. V této souvislosti se nejvíce mluví o vodíku, ale jeho cesta k cílovému zákazníkovi je opředena mnohými - obtížně řešitelnými - problémy. Dle názoru autora této práce se situace vyjasní až při téměř vyčerpaných zásobách ropy příchodem zcela nové technologie získávání, přechovávání a spotřeby energie.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VLK, F. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2004. 226 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [2] ŠEBOR, M., POSPÍŠIL, G., ŽÁKOVEC, J. *Technicko - ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě (1.část)* [online], VŠCHT v Praze, červen 2006. [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <[http://www.mdcr.cz/cs/Strategie/Zivotni\\_prostredi/Alternativni\\_paliva.htm](http://www.mdcr.cz/cs/Strategie/Zivotni_prostredi/Alternativni_paliva.htm)>.
- [3] ŠEBOR, M., POSPÍŠIL, G., ŽÁKOVEC, J. *Technicko - ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě (2.část)* [online], VŠCHT v Praze, červen 2006. [cit. 2009-04-03]. Dostupný z WWW: <[http://www.mdcr.cz/cs/Strategie/Zivotni\\_prostredi/Alternativni\\_paliva.htm](http://www.mdcr.cz/cs/Strategie/Zivotni_prostredi/Alternativni_paliva.htm)>.
- [4] MRZENA R., *Alternativní paliva a pohony ve veřejné dopravě, řešení použitelná i v železniční dopravě* [online], říjen 2005. [cit. 2009-02-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/vts20/2009.pdf>>.
- [5] DRDLA, P., *CNG a jeho využití v osobní dopravě* [online], květen 2008. [cit. 2009-01-03]. Dostupný z WWW: <[http://pernerscontacts.upce.cz/12\\_2008/drdla2.pdf](http://pernerscontacts.upce.cz/12_2008/drdla2.pdf)>.
- [6] KROUPA, V., PANÁČEK, R., *Alkoholová paliva pro udržitelnou dopravu* [online], 2001. [cit. 2009-02-04]. Dostupný z WWW: <[http://www.tc.cz/dokums\\_raw/alkoholovapaliva\\_1171360339.pdf](http://www.tc.cz/dokums_raw/alkoholovapaliva_1171360339.pdf)>.
- [7] ŠAFR, G., *Budoucnost – vítr v palivových nádržích dopravních prostředků* [online], červen 2006. [cit. 2009-03-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.stavebnictvi3000.cz/pdf/1973.pdf>>.
- [8] BAŠTA, V., *Znečištění životního prostředí z dopravy, využití alternativních paliv a alternativních zdrojů energie* [online], květen 2004. [cit. 2009-02-02]. Dostupný z WWW: <<http://envi.upce.cz/pisprace/ostatni/basta.pdf>>.
- [9] HOLAS, J., *Současný stav výroby a užití bionafty v České republice* [online], 1996. [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <[max.af.czu.cz/~miki/biodiesel/Hluk96/holas/holas96.doc](http://max.af.czu.cz/~miki/biodiesel/Hluk96/holas/holas96.doc)>.
- [10] BERANOVSKÝ, J., KAŠPAROVÁ, M., MACHOLDA, F., SRDEČNÝ, K., TRUXA, J., *Energie biomasy* [online], 2007. [cit. 2009-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.energetika.cz/index.php?id=171>>.
- [11] JANÍK, L., DLOUHÝ, P., *Jak se vyrábí palivo budoucnosti. Vodík pro auta i elektroniku* [online], leden 2008. [cit. 2009-03-09]. Dostupný z WWW: <[http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-tec\\_tecnika.asp?c=A080127\\_234744\\_tec\\_tecnika\\_vse](http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-tec_tecnika.asp?c=A080127_234744_tec_tecnika_vse)>.
- [12] KÁRA, J., *Využití bioalkoholu* [online], prosinec 2001. [cit. 2009-04-01]. Dostupný z WWW: <<http://biom.cz/cz-kapalna-biopaliva/odborne-clanky/vyuziti-bioalkoholu>>.
- [13] VÁŇA, J., *Nové cíle při výrobě motorových biopaliv* [online], březen 2002. [cit. 2009-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://biom.cz/cz-kapalna-biopaliva/odborne-clanky/nove-cile-pri-vyrobe-motorovych-biopaliv-2>>.
- [14] Autoplyn-centrum spol. s r.o. [online], 2009. [cit. 2009-03-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.auto-plyn-lpg.cz/>>.
- [15] Česká asociace LPG [online], 2009. [cit. 2009-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.calpg.cz/index.asp>>.
- [16] LPG Černošice. [online], 2003. [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://lpg.cernosice.cz/index.php?page=okresy.php>>.

- [17] Bionafta a něco o ní [online], 2007. [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.biodiesel.cz/co-je-bionafta/>>.
- [18] Bionafta (FAME) – náhrada za fosilní paliva [online], 2008. [cit. 2009-01-05]. Dostupný z WWW: <[http://kfch.upce.cz/htmls/vedecka\\_cinnost\\_bionafta.htm#publikace](http://kfch.upce.cz/htmls/vedecka_cinnost_bionafta.htm#publikace)>.
- [19] LAURIN, J., *Zkapalněný zemní plyn jako motorové vozidlo* [online], září 2001. [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2001/casplyn6.pdf>>.
- [20] Cryostar Distribution, UK [online], 2009. [cit. 2009-03-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.cryostar.com/web/lng-lcng-lh2-fueling-stations.php>>.
- [21] TVAJA s.r.o. [online], 2009. [cit. 2009-04-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.tvajacng.eu/TvajaCng.page>>.
- [22] CNG Palivo nové dimenze [online], 2009. [cit. 2009-04-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.jezdimnacng.cz/>>.
- [23] RWE a. s. [online], 2009. [cit. 2009-05-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.cng.cz/cs/index.html>>.
- [24] Český plynárenský svaz [online], 2009. [cit. 2009-02-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.cgoa.cz/cs/>>.
- [25] WARREN, J. P., *Vodík: palivo zítřka nebo jenom horký vzduch?* [online], květen 2006. [cit. 2009-05-03]. Dostupný z WWW: <[http://www.datis.cd rail.cz/edice/Zivpro/DZP5\\_06/vodik.pdf](http://www.datis.cd rail.cz/edice/Zivpro/DZP5_06/vodik.pdf)>.
- [26] H<sub>2</sub>BUS [online], 2009. [cit. 2009-02-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.h2bus.cz/vyroba-vodiku>>.
- [27] Česká vodíková technologická platforma [online], 2009. [cit. 2009-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://hytep.cz/?loc=article&id=15>>.
- [28] H<sub>2</sub>WEB [online], 2009. [cit. 2009-01-04]. Dostupný z WWW: <<http://vodik.czweb.org/index.php>>.
- [29] Enviweb s.r.o. [online], 2007. [cit. 2009-05-03]. Dostupný z WWW: <[http://www.enviweb.cz/?env=energie\\_archiv\\_ghdcg/Vodik\\_pohani\\_vojenske\\_ponorky\\_i\\_vas\\_notebook\\_II.html](http://www.enviweb.cz/?env=energie_archiv_ghdcg/Vodik_pohani_vojenske_ponorky_i_vas_notebook_II.html)>.
- [30] Automotorevue.cz [online], 2008. [cit. 2009-03-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.automotorevue.cz/auto/technika/mazda-re-hydrogen-jedeme-na-vodik.html>>.
- [31] BOUČEK, J., *Alternativní palivo CNG* [online], prosinec 2001. [cit. 2009-02-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekolist.cz/zprava.shtml?x=50026>>.
- [32] Bioprofit s.r.o. [online], 2009. [cit. 2009-05-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.bioplyn.cz/>>.
- [33] Autoweb [online], 2008. [cit. 2009-04-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.autoweb.cz/autonovinky-nova-auta/bmw-hydrogen-7/8438>>.
- [34] OPEL [online], 2009. [cit. 2009-01-04]. Dostupný z WWW: <<http://web.opel.cz/cng/>>.
- [35] LPG systémy [online], 2007. [cit. 2009-02-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.lpg.cz/lpgsystemy/lpgsystemy.php>>.
- [36] SCHULY, H., EDER, B. *Bioplyn v praxi*. 1. vyd. Ostrava : HEL, 2004. 161 s. ISBN 80-86167-21-6.
- [37] Alternativní paliva a zdroje energie pro vozidla [online], 2006. [cit. 2009-04-06]. Dostupný z WWW: <[http://old.mendelu.cz/~agro/af/technika/docs/alternativnizdroje\\_soubory/frame.htm](http://old.mendelu.cz/~agro/af/technika/docs/alternativnizdroje_soubory/frame.htm)>.