



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VOZIDLA S POHONNÝMI JEDNOTKAMI NA CNG

VEHICLES WITH CNG DRIVE UNITS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Václav Otipka

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Václav Otipka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.**
Akademický rok: 2015/16

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:

Vozidla s pohonnými jednotkami na CNG

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehledová studie vývoje vozidel s pohonem na stlačený zemní plyn.

Cíle bakalářské práce:

Vytvořit přehled a porovnat parametry paliv pro spalovací motory.

Charakterizovat základní odlišnosti u vozidel využívajících CNG v oblastech:

- konstrukce a klíčové komponenty vozidel a jejich pohonných jednotek
- provozní náklady a ekologické dopady
- nabídka na trhu osobních vozidel

Seznam literatury:

STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. ISBN 0-333-74013-01999.

SKOTSKY, Alexander A. Automotive Engines. Springer Verlag, 2009, ISBN 978-3-642-00163-5.

JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily (3): Motory. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-15-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty



ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá vozidly s pohonnými jednotkami na CNG. Úvodní část práce je věnována rozboru paliv, která jsou používána pro pohon pístových spalovacích motorů. Jsou rozebrána paliva masivně rozšířená i poměrně ojedinělá. Hlavní část práce popisuje konstrukci sériově vyráběných vozidel poháněných zemním plynem. Rozebrány jsou jednotlivé funkční prvky vozu, které jsou odlišné od běžných vozidel na konvenční paliva. Součástí práce je i kapitola týkající se provozování takovýchto automobilů, včetně dopadů na ekologii či bezpečnost. Celou práci uzavírá aktuální nabídka osobních automobilů na domácím trhu.

KLÍČOVÁ SLOVA

paliva, zemní plyn, konstrukce CNG automobilu, ekologie

ABSTRACT

The bachelor's thesis is devoted to vehicles with CNG drive units. The introductory part focuses on the analysis of fuels that are used for propulsion of piston combustion engines. Not only the very expanded fuels but also unique fuels are analysed. The main part of the thesis describes the construction of mass-produced vehicles powered by natural gas. There are analysed the individual function elements of the vehicle which are different from common vehicles on conventional fuels. Part of the thesis is about CNG vehicle operation including ecological and safety impacts. The whole thesis concludes the current offer of cars on the domestic market.

KEYWORDS

fuels, natural gas, construction of CNG vehicles, ecology



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OTIPKA, V. *Vozidla s pohonnými jednotkami na CNG*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 43 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc, a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2016

.....

Václav Otipka



PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Václavu Píštěkovi, DrSc. za ochotu spolupracovat při tvorbě mé bakalářské práce, za jeho cenné připomínky a rady. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za poskytované zázemí a neustálou podporu při mých studiích.



OBSAH

Úvod	9
1 Paliva spalovacích motorů	10
1.1 Klasická motorová paliva	10
1.1.1 Motorový benzin	11
1.1.2 Motorová nafta	11
1.2 Plynná paliva	13
1.2.1 Propan-butan – LPG	13
1.2.2 Zemní plyn	14
1.2.3 Bioplyn	15
1.2.4 Vodík	16
1.3 Biopaliva	16
1.3.1 Bionafta	18
1.3.2 Bioethanol	18
1.4 Porovnání paliv	19
2 Konstrukce vozidel	21
2.1 Podvozek vozidel	21
2.2 Palivová soustava	22
2.2.1 Vysokotlaká strana	23
2.2.2 Přejížděvací část	23
2.2.3 Nízkotlaká strana	24
2.3 Bezpečnostní prvky	26
2.4 Motory	28
3 Provoz vozidla na CNG	30
3.1 Ekonomika provozu	30
3.2 Bezpečnost provozu	31
3.3 Doplnění paliva	32
3.3.1 Pomaloplnící stanice	32
3.3.2 Rychloplnící stanice	33
3.4 Komfort jízdy	35
3.5 Údržba vozidla	36
4 Ekologie provozu	37
5 Trh s osobními vozidly	40
Závěr	43
Seznam použitých zkratk a symbolů	52



ÚVOD

Vynález automobilu, potažmo spalovacího motoru lze považovat za jeden z největších vynálezů, který ovlivnil vývoj moderní společnosti. S narůstajícím počtem automobilů však velmi rychle rostou negativní aspekty spojené s jejich provozem. [76] Hlavním problémem je navyšující se koncentrace oxidu uhličitého, který je považován za skleníkový plyn. Skleníkové plyny pak stojí za velmi často diskutovaným globálním oteplováním. [59]

Oxid uhličitý však není jedinou negativní složkou produkovaných výfukových plynů. Ty jsou složeny ze směsi různých chemických látek, které mohou způsobovat celou řadu závažných zdravotních problémů. Nejcitlivější skupinou lidí vůči znečištěnému ovzduší způsobeného nadměrnou dopravou jsou zejména děti a starší lidé, stejně jako osoby s dýchacími či srdečními chorobami. [90]

Situace s emisemi se hlavně ve velkých městech zhoršuje, dnešní stav si vyžaduje dlouhodobá řešení. Je potřeba vyvíjet nové technologie, které zajistí šetrnější provoz vozidel vzhledem k životnímu prostředí. Postupně je nutné upouštět od stále dominantních paliv vyráběných z ropy a podporovat alternativní paliva. [76] Zemní plyn dnes představuje jediné alternativní palivo pro stále rostoucí počet uživatelů, které může na nasyceném trhu soutěžit s tradičními palivy z hlediska hospodárnosti. Přírodní zemní plyn je momentálně nejčistší lehce dosažitelné palivo se zásobou na minimálně 200 let a to i při vzrůstajícím trendu spotřeby. [3]

Tato fakta si už uvědomil i automobilový průmysl a pochopil, že stlačený zemní plyn CNG je palivem, které má budoucnost. Výrobci automobilů dnes již nabízí poměrně širokou škálu modelů, které jsou již z výroby uzpůsobeny pro provoz na zemní plyn, ať už se jedná o osobní, užitková či nákladní vozidla. [70]



1 PALIVA SPALOVACÍCH MOTORŮ

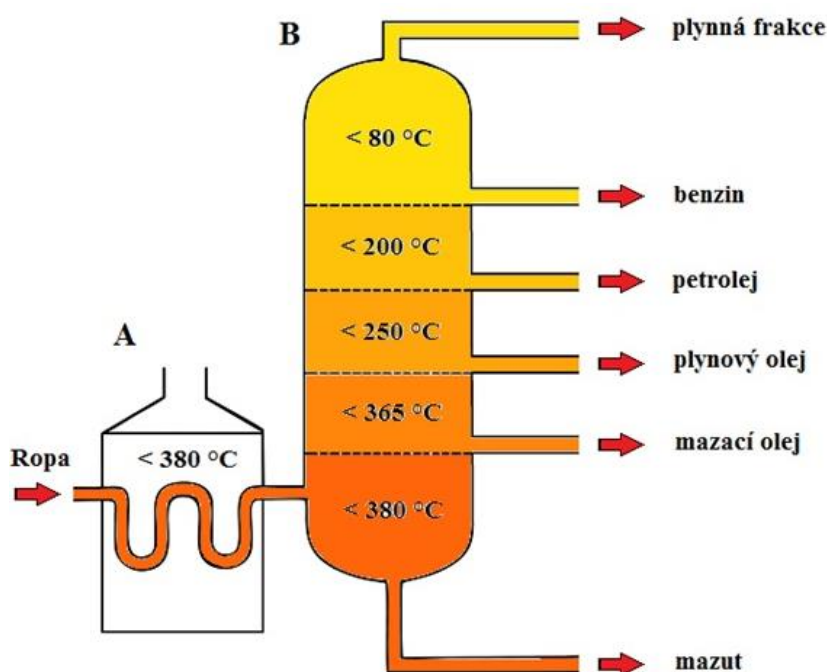
Palivo, je látka organického nebo neorganického původu, která umožní po shoření stanoveného objemového množství ve válci motoru přeměnu tepelné energie na práci. [67] Uvolněná energie spáleného paliva vytvoří tlak na píst válce, jehož posuvem se přeměňuje tlaková energie na mechanickou. Píst je spojen s klikovou hřídelí motoru, která převádí jeho posuvný pohyb na otáčivý. [73]

Paliva se rozdělují do tří skupin – klasická motorová paliva, plynná paliva a biopaliva. [59]

1.1 KLASICKÁ MOTOROVÁ PALIVA

Pístové spalovací motory kladou na paliva různé požadavky, např. se jedná o vysokou výhřevnost, žádný či nepatrný obsah nespalitelných podílů, nekoroziivnost, necitlivost na okolní vlivy (teplota a vlhkost), žádná nebo nízká fyziologická agresivita či dostupnost při co nejnižších nákladech. Těmto požadavkům nejlépe vyhovují kapalná uhlovodíková paliva, která dále rozdělujeme podle bodu varu na dva základní druhy: motorový benzin a motorovou naftu. [8]

Nejdůležitější výchozí surovinou pro výrobu těchto paliv je ropa. Všechny uhlovodíky obsažené v ropě se však nehodí jako motorové benziny nebo motorová nafta. Větší část se musí upravit chemickými postupy v rafinériích. [59] Postup zpracování ropy je schematicky znázorněn na obr. 1-1. [37]



Obr. 1-1 Schéma zpracování ropy frakční destilací [37]
A – trubková pec, B – destilační kolona



1.1.1 MOTOROVÝ BENZIN

Jedná se o kapalnou směs uhlovodíků, které mají různou strukturu a obsahují 4-12 atomů uhlíku ve svých molekulách. Primární benzín, tedy benzín s nízkým oktanovým číslem (OČ 62 až 64) [59] a vysokým obsahem síry, vyrobíme rafinací ropy. [67] Ropa se zahřívá bez přístupu vzduchu v kontinuálních destilačních věžích, kde se základní směs rozdělí podle rozdílného bodu varu na jednotlivé frakce. Uhlovodíky s bodem varu do 180°C tvoří tzv. lehká motorová paliva, převážně benzin. Lehká motorová paliva obsahují především parafíny a cykloparafíny. Množství takto vyrobeného benzínu je malé a jeho vlastnosti nejsou optimální, proto zavádíme další technologické procesy, které nám umožní z ropy získat větší množství kvalitnějšího benzínu. [8]

Prvním ze zavedených procesů je krakování, které umožní získat větší objem benzínu z ropy tím, že dojde ke tříštění velké molekuly výše vroucích těžkých frakcí na molekuly menší, zasahující svým bodem varu do rozsahu benzinových frakcí. Tímto získáváme látky s velmi dobrými antidetonačními vlastnostmi, zejména izoparafíny a olefiny. Oktanové číslo benzínu v této fázi výroby však stále není dostatečně vysoké, proto pokračujeme v procesu výroby takzvanou reformací. [59] Reformace zajistí přeměnu parafínů s přímým řetězcem, získaných destilací ropy, na izoparafíny a aromáty odolné vůči detonačnímu spalování užitím platinového katalyzátoru. [8] Vzniká benzín s oktanovým číslem OČ 93-98. Následnou polymerizací dojde k dalšímu navýšení oktanového čísla na OČ 95-100 [59] a to díky užití katalyzátoru, který způsobí spojení plynných uhlovodíků do větších molekul – hlavně do izoparafínů. [8]

Pro posouzení jakosti benzínu existuje řada parametrů, nejdůležitějšími jsou však dva, které výrazně ovlivňují dynamiku motoru. Jedná se o oktanové číslo OČ a o karburační schopnost a odpařivost. [8] Oktanové číslo je definováno jako odolnost paliva proti detonačnímu spalování, které je od určité míry pro chod motoru nežádoucí. Pro zvýšení oktanového čísla přidáváme do benzínu tzv. antidetonátory – látky zvyšující odolnost paliva proti detonačnímu hoření, samotné vykazují OČ vyšší než 100. [67] Druhým základním parametrem je již výše zmiňovaná karburační schopnost a odparnost benzínu, která vyjadřuje schopnost vytvořit v karburátoru nebo ve vstřikovacím zařízení směs par a jemně rozprašených kapiček. [8]

1.1.2 MOTOROVÁ NAFTA

Je druhým běžně užívaným kapalným palivem. Stejně jako pro výrobu benzínu je základem pro výrobu nafty rafinace ropy. Postup výroby je stejný, jedná se o destilaci. [67] Na samotnou destilaci ropy navazuje několik technologických procesů seskládaných tak, aby vznikla nafta použitelná jako motorové palivo. [46]

Motorovou naftu tvoří směs převážně ropných uhlovodíků s 12-22 atomy uhlíků, [46] vroucích převážně v rozmezí 150 až 360 °C. [59] Zmíněný rozsah teplot zasahuje do dvou frakčních oblastí, a to do středně těžkých motorových paliv (petrolej) a do těžkých motorových paliv (plynový olej). [8] Vzájemným míšením lehčího petroleje a těžšího plynového oleje získáváme motorovou naftu, vyšší zastoupení lehkých podílů ve směsi je dáno požadavkem na bod vzplanutí (důležité v zimním období), naopak obsah těžkých podílů je omezen vznikem úsad ve spalovacím prostoru. [59]



Po destilaci následuje, vzhledem ke stanovenému obsahu síry v palivu, proces zvaný hydrogenační odsiřování, čímž dojde ke snížení obsahu síry pod horní mez 10 mg síry na 1 kg paliva. Stejnou technologií je snižován obsah aromatických uhlovodíků, které mají nízká cetanová čísla. Současně je z nafty odstraněn nebo snížen obsah pevných parafinů, které zvláště s poklesem teplot snižují schopnost filtrovatelnosti paliva. Finálním procesem při výrobě je aktivace paliva. Tím jsou dány palivu požadované kvalitativní parametry nutné pro její současné použití v motorech. Zlepšují se mazací schopnosti paliva, snižuje se pěnivost, zlepšuje se proti korozivní schopnost paliva a další. [67]

Mezi kvalitativní znaky nafty řadíme zejména cetanové číslo (CaČ), viskozitu, karbonizační číslo, obsah síry či chování nafty za nízkých teplot. Cetanové číslo vyjadřuje reaktivitu nafty, tedy schopnost nafty po vstříknutí do válce vzplanout a hořet. Málo reaktivní palivo se projeví obtížným spouštěním motoru, pomalým zahříváním motoru a tvrdým chodem. Je obdobou oktanového čísla u benzínu, běžně nabývá hodnot v rozmezí od 46 do 56, neovlivňuje však výkon motoru. [8] Viskozita nafty pak přímo souvisí s rychlostí vypaření paliva. Rychlost vypaření je totiž závislá na velikosti kapek rozprášeného paliva. Čím je viskozita nižší, tím se palivo lépe rozpráší, vznítí a čistěji shoří. [59] Nejrozšířenější je palivo o viskozitě asi $370 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. [67]

Dalším ze znaků je karbonizační číslo charakterizující sklon motorové nafty k tvorbě karbonových úsad ve spalovacím prostoru. Tvorbu karbonu způsobují složky s vyšším bodem varu, které se ve válci plně neodpaří. [8]



Obr. 1-2 Vrstva karbonových úsad na motorovém ventilu [101]

Nafta je díky svému složení závislá na teplotě prostředí. Posledním důležitým faktorem je tedy chování nafty za nízké teploty. Sama o sobě obsahuje složky, které mají při nižších teplotách sklon krystalizovat a vytvářet krystalickou mříž, která znemožňuje tečení kapaliny. [8]



Nízkoteplotní vlastnosti se popisují několik následujícími charakteristickými body:

- teplota vylučování parafinů CP (Cloud Point) – nafta se začíná kalit a vylučují se krystalky parafinu,
- teplota filtrovatelnosti CFPP (Cold Filter Plugging Point) – vyloučené částice parafinu zamezí průchodu paliva filtrem,
- bod tuhnutí (Pour Point) – viskozita a množství vyloučených parafinů vlivem nízké teploty vzroste do takové míry, že palivo přestává téci. [8]

1.2 PLYNNÁ PALIVA

Plynná paliva jsou z hlediska přípravy směsi výhodnější než paliva kapalná. Umožňují lepší promísení a snadnější dodržení směšovacího poměru paliva se vzduchem, čímž se i zmenší obsah škodlivin ve výfukových plynech. Mají lepší antidetonační vlastnosti než kapalná paliva. [76]

Jejich nevýhodou, bránící většímu rozšíření, je nesnadné skladování, distribuce a malá energetická hustota, vyžadující velký zastavěný objem pro umístění zásobníků paliva při jejich použití ve vozidle. Zpřísnující se požadavky na čistotu výfukových plynů však působí na snahu o vyšší využití plyných paliv v provozu motorových vozidel. [74]

1.2.1 PROPAN-BUTAN – LPG

Pod zkratkou LPG (Liquefied petroleum gas) se skrývá směs zkapalněných uhlovodíkových plynů. Vzniká v rafineriích při procesu zpracování ropy a také se získává jako vedlejší produkt při těžbě zemního plynu a ropy. [76] Složení LPG silně kolísá, směs je hlavně tvořena ze směsi tříuhlíkových až čtyřuhlíkových uhlovodíků ve formě propanu a butanu, dále pak i z malého množství ostatních uhlovodíků, jako izobutanu, propenu a řady izomerů butanu. Ve složení se může objevit také malé množství etanu. [8]

Poměr propanu a butanu je v různých zemích odlišný, v České republice je podíl propanu 40 % až 60 % z celkového objemu plynu. [8] Za normálních atmosférických podmínek se propan butan vyskytuje v plynné formě, kdy je těžší než vzduch. [59]

Propan i butan jsou vysoce výhřevné plyny, které se snadno zkapalňují při poměrně nízkém tlaku a běžné teplotě. Při teplotě 20 °C zkapalní propan při tlaku 0,85 MPa a butan při 0,23 MPa. [76] Zkapalnění lze provést i ochlazením plynu. V kapalném stavu zaujímá pouze 1/260 svého plynného objemu, což znamená, že z 260 litrů plynné fáze získáme 1 litr kapaliny. Snadný přechod mezi oběma skupenstvími je pro praktické využití velmi výhodný. [59]

Pokud LPG srovnáme s benzínem, tak zjistíme, že má vůči benzínu lepší antidetonační vlastnosti avšak jeho objemová výhřevnost je nižší. To způsobuje při nezměněném kompresním poměru nárůst spotřeby paliva cca o 20-30 % [76] a snížení výkonu motoru o cca 10 %. [74] V porovnání s benzínem má ještě jeden nedostatek, který spočívá ve velmi pravděpodobné absenci aditiv na ochranu ventilových sedel a vodítek ventilů. [88]



LPG obsahuje jen velmi málo síry, žádné olovo a žádné benzenové uhlovodíky. Spalováním tohoto paliva se jen minimálně zatěžuje ovzduší. [59]

1.2.2 ZEMNÍ PLYN

Pro pohon vozidel se používá ve formě **CNG** (Compressed Natural Gas – stlačený zemní plyn) nebo **LNG** (Liquified Natural Gas – zkapalněný zemní plyn). [8]

Hlavní složkou je methan (jednoduchý uhlovodík bez barvy a zápachu) tvořící až 99 % objemu směsi, dále je v zemním plynu zastoupena řada doprovodných složek, jako jsou propan, butan, vyšší uhlovodíky, dále oxid uhličitý, dusík, argon a další plyny. Nežádoucími příměsemi je pak sirovodík a vodní pára, které přispívají ke korozním schopnostem zemního plynu.

Zemní plyn má vynikající antidetonační vlastnosti, díky čemuž mohou mít motory spalující zemní plyn vyšší kompresní poměr, než je u zážehových motorů běžně zvykem, a to až 13:1. Rovněž plnicí tlak válců u přeplňovaných motorů může být vyšší. [8] Pro představu, oktanové číslo nabývá v případě tohoto paliva hodnot až 130. [73] V současné době pro pohon automobilů převládá stlačený zemní plyn CNG. [76]

Stlačený zemní plyn se uchovává v tlakových láhvích s plnicím tlakem 20 MPa. Při tomto tlaku se objem plynu zmenší v poměru 200:1. Množství energie v jednotce objemu je 4 až 5 krát menší než u kapalných uhlovodíkových paliv. [74] Pokles výkonu motoru při použití stlačeného zemního plynu místo benzínu je větší než u LPG a pohybuje se kolem 15 %. [88]

Další z možností je zkapalnění zemního plynu. [74] Zkapalněný plyn se uchovává v Dewarově kryogenní, vakuově izolované nádrži s dvojitou stěnou při teplotě nižší než minus 162 °C. Proces zkapalnění je velmi nákladný a složitý, je nutné odstranit dusík a éter spolu se zbytkovými uhlovodíky, takže nakonec zbyde více než devětadevadesát procentní čistý metan. [8] LNG zaujímá cca 600 krát menší objem než plynný zemní plyn, jedná se o velmi čisté palivo s minimem škodlivých emisí.



Obr. 1-3 Kryogenní nádrž pro uchování LNG ve vozidle [41]



Zemní plyn obecně je lehčí než vzduch, zápalná teplota je oproti zápalné teplotě benzinu dvojnásobná. Plyn se těžší jak z ložisek na pevnině, tak i z ložisek, která se nacházejí pod mořským dnem, ze kterých jsou dopravovány do úpravárenských závodů k dalšímu zpracování. [59]

1.2.3 BIOPLYN

Jedná se o plyn získávaný při anaerobní fermentaci (vyhnilivání) organických látek živočišného nebo rostlinného původu. [8] Nejčastěji jsou těmito látkami chlévská mrva, prasečí kejda nebo odpady v městských čistírnách, jako například kalový plyn. [74]

Vstupní látky organického původu se tedy rozkládají v uzavřených nádržích bez přístupu kyslíku. Tento proces, kdy se organická hmota štěpí na anorganické látky a plyn, vzniká díky bakteriím pracujícím bez přístupu kyslíku (anaerobně). [59]

Bioplyn je tvořen směsí několika plynů: 55-75 % metanu, 25-40 % oxidu uhličitého a 1-3 % dalších plynů zastoupených vodíkem, dusíkem či sirovodíkem. Používá se ve většině případů pro pohon stabilních motorů, využívaných pro výrobu elektrické energie s plným využitím odpadního tepla (kogenerační jednotky). [74] Bioplyn je pro účely pohonu motorových vozidel nutno zbavit přebytku nežádoucích příměsí, zejména oxidu uhličitého a sirovodíku tak, aby odpovídal požadavkům na zemní plyn. Dále musí být zbaven mechanických nečistot. [59]



Obr. 1-4 Pohled na bioplynovou stanici [81]

Čistota bioplynu má podstatný vliv na životnost motoru, která se špatnou kvalitou čištění rychle klesá. Čištění bioplynu je nákladné, a proto snahy vedou k nahrazení klasického pístového spalovacího motoru motorem s vnějším spalováním – Stirlingovým motorem. [76]



Výhodou používání tohoto paliva jsou nižší emise oproti benzínu, úspora nákladů na palivo. Nevýhodou je nestabilní produkce plynu, protože anaerobní fermentační procesy probíhají nejlépe při teplotě 40 °C, takže v zimních měsících je nutno část vyrobeného plynu použít na vyhřívání fermentoru. V zimě, kdy potřebujeme více elektrické a tepelné energie máme bioplynu nedostatek, v létě pak přebytek. Produkované množství bioplynu je omezené a jeho použití v dopravě je pouze lokální. Největší uplatnění nachází v Evropě ve Švédsku, Dánsku, Rakousku, Švýcarsku, Francii a Itálii. [59]

1.2.4 VODÍK

Z hlediska dlouhodobé perspektivy se dříve jevil jako jediná možná náhrada uhlovodíkových paliv pro pístové spalovací motory. V dnešní době se začínají projevovat hlavní nevýhody vodíkového pohonu, které jsou spojeny zejména s výrobou a skladováním vodíku ve vozidle. [76]

Při dodržení bezpečnostních norem by bylo zapotřebí příliš těžkých nádrží – tlakových nádob. Dalším problémem je utěsnění přívodních potrubí, neboť molekula vodíku je tak malá, že při stávajícím tlaku 22 MPa proniká i při použití speciálních dotěšňovacích kroužků. Tím vzniká značné nebezpečí výbuchu. [8] Vodík představuje ve své podstatě akumulátor energie, kterou je možno v této podobě skladovat, případně dopravovat na velké vzdálenosti. Problémem zůstává nízká účinnost transformace jiných druhů energie na vodík, tj. náklady na výrobu vodíku, a také původ této energie, který může být výrazně neekologický.

V současné době je nejlevnější získání vodíku štěpením uhlovodíků (zemní plyn, ropa) v otevřeném termochemickém cyklu. Dražší je získávání vodíku z vody nebo vodní páry elektrolýzou, případně přímým tepelným rozkladem. Předpokladem rozšíření používání vodíku je snížení jeho ceny. Z hlediska spalování vodíku v pístových motorech je velkou výhodou možnost spalování velmi chudých směsí. To se projeví výrazným snížením spotřeby paliva při částečném zatížení motoru.

Ve výfukových plynech vodíkového motoru se ze škodlivin nachází pouze kysličníky dusíku, které je navíc možno potlačit recirkulací spalín. [76] Oproti benzínu jsou všechny emisní komponenty sníženy až o 99,9 % [59] při trojnásobné výhřevnosti vodíku ve srovnání s benzinem. [8]

1.3 BIOPALIVA

Dlouhodobé využívání fosilních zdrojů energie se dnes již markantně projevuje v upadajícím životním prostředí a globálních změnách klimatu hlavně v důsledku zvýšení obsahu oxidu uhličitého v biosféře. Proto se hledají alternativní zdroje energie – obnovitelné zdroje, které by šetřily životní prostředí a hlavně by se získávaly z recentních zdrojů, tj. zdrojů, které vznikají stále. [59] Při pěstování rostlin použitých jako vstupní surovina se ze vzduchu spotřebovává oxid uhličitý, který se uvolní až při spalování biopaliva. Z tohoto pohledu by byla produkce oxidu uhličitého nulová. Skutečnost je ale odlišná. Pěstování a úprava vstupní suroviny na použitelné biopalivo je energeticky náročný proces, který je bezpochyby spojen s produkcí oxidu uhličitého. Z toho důvodu je přínos v poklesu produkce oxidu uhličitého o tyto hodnoty produkce snížen. [76] Některá biopaliva přinášejí pouze mírnou



úsporu v produkci oxidu uhličitého, jedná se o biopaliva první generace. Do budoucna je však nutné se zaměřit na technologii výroby biopaliva druhé generace, které přinášejí více jak 90 % úsporu v produkci oxidu uhličitého. [74]

Biopaliva I. generace jsou vyráběna z potravinářské biomasy (cukrová třtina, cukrová řepa, kukuřice a téměř všechny druhy obilí), což v současné době přináší další výrazný problém, a to zdražování potravin. Biopaliva II. generace jsou na rozdíl od biopaliv I. generace vyráběna z nepotravinářských surovin obsahujících lignocelulózu (dřevo, sláma, dřevěné štěpky, tráva atd.). [74] Tyto suroviny se na zemi vyskytují v mnohem větším měřítku než suroviny pro biopaliva I. generace. Problém je s jejich výrobou, která je technologicky náročná a potrvá ještě několik let, než budou paliva II. generace komerčně využívána. [76]

Používaná biopaliva první generace jsou: [74]

- MEŘO - metylester řepkového oleje (může být použit i jiný olej, případně odpadní živočišný tuk),
- bioethanol vyráběný z výchozích produktů, které obsahují škrob nebo cukr,
- bioETBE – bioethyltercbutyléter vyráběn adiční reakcí bioethanolu s isobutanem,
- rostlinný olej, v našich klimatických podmínkách se jedná zejména o řepkový olej.

biopaliva druhé generace, která jsou dnes používána: [76]

- bioethanol vyráběný z lignocelulóзовé biomasy,
- syntetická motorová nafta jako produkt Fischer-Tropschovy syntézy,
- biomethanol jako produkt katalytické konverze syntézního plynu,
- biodimethyléter jako produkt katalytické konverze syntézního plynu,
- biovodík jako produkt katalytické konverze syntézního plynu nebo biofermentačního procesu.



Obr. 1-5 Řepka olejka jako zdroj řepkového oleje pro výrobu biopaliv [71]



1.3.1 BIONAFTA

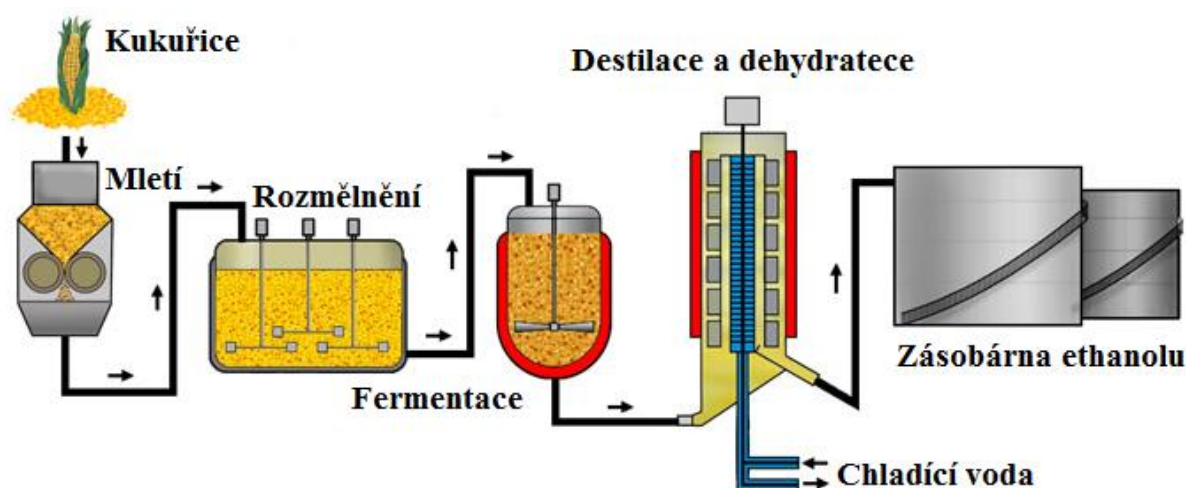
V České republice je definována jako směs paliv a maziv určených jako palivo pro vznětové motory s methylestery řepkového oleje MEŘO, přičemž podíl této látky musí činit více, než 30 % hmotnostních. [59] MEŘO se vyrábí z vyčištěného řepkového oleje esterifikací, tedy procesem, při němž jsou pomocí alkoholu štěpeny velké molekuly oleje na menší. [74]

To vede k podstatnému snížení viskozity a tvorbě směsi paliva se vzduchem, která odpovídá použití motorové nafty. [74] Fyzikální vlastnosti methylesteru řepkového oleje jsou velmi podobné parametrům motorové nafty. [76] Použití čistého MEŘA ve vznětových motorech vyžaduje jisté úpravy, proto se využívá nejčastěji směsné palivo, které je označováno právě jako bionafta.

Faktem je, že začátkem roku 2016 se v České republice navýšila daň na biopaliva, čímž došlo k navýšení ceny bionafty vůči běžně užívané naftě o 4 až 5 Kč na litr paliva. Tato změna se projevila tím, že čerpací stanice bionaftu zcela vyřadily ze své nabídky a dále bude docházet pouze k přimíchávání biosložek do fosilní nafty. [11]

1.3.2 BIOETHANOL

Z historického hlediska se jedná o jedno z nejstarších alternativních paliv, které je dnes poměrně běžně používáno jako náhrada benzínu ve spalovacích motorech. Ethanol je možné použít buď jako palivo pro speciálně konstruované motory, nebo jako přísadu do benzínu v zastoupení 3-15 %. [59] Existují i vozidla s tzv. Flexi-fuel systémy, které umožňují uživateli míchat benzín s biopalivy na vysokoprocenní směsi v libovolném poměru. Ethanol má vysoké oktanové číslo (107) a jeho použití v zážehových motorech nepředstavuje velký problém. Hlavní úprava spočívá ve zvětšení dávky paliva z důvodu jeho nízké výhřevnosti. Nárůst spotřeby paliva oproti čistému benzínu při použití směsi E85 (85 % bioethanolu a 15 % benzínu) je přibližně 40 %.



Obr. 1-6 Schéma výrobního procesu bioethanolu z biomasy obsahující škrob [65]



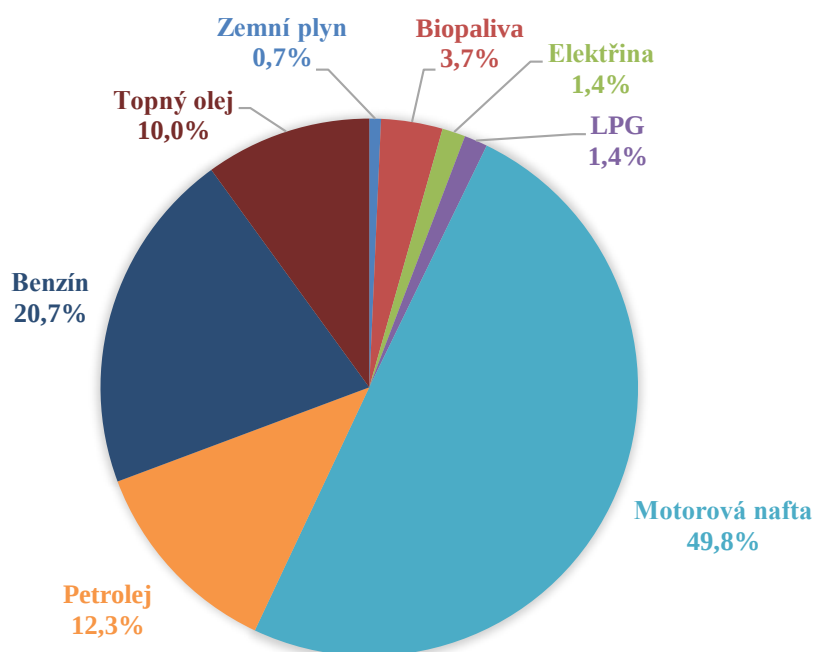
Další možné využití je ve směsi E95 (95% bioethanolu a 5 % aditiv) používané pro pohon vznětových motorů. Nízké cetanové číslo (8) způsobuje, že při použití ve vznětovém motoru je nutně vyžadována jejich úprava. Je třeba zvýšit kompresní poměr a zvýšit dávku paliva. Pokud dojde k těmto úpravám, pak už není možné motor provozovat na motorovou naftu. [74]

K výrobě bioethanolu lze použít výchozí suroviny obsahující jednoduché cukry, nebo látky, které lze přeměnit na jednoduchý cukr, jako je škrob a celulóza. Biomasa obsahující jednoduché cukry nebo škrob v dnešní době představuje jedinou vstupní surovinu, z které je komerčně vyráběn bioethanol. Mezi nejvýznamnější plodinu patří kukuřice a cukrová řepa. V České republice se používá k výrobě především obilí a cukrová řepa. [76]

Výroba se provádí fermentací (kvašením) vstupních surovin a následnou destilací, při které dojde k oddělení destilátu (ethanolu) a destilačního zbytku. Následuje rafinace, která odstraní vedlejší produkty fermentace. Takto připravená směs obsahuje jen methanol a vodu, kterou se snažíme odstranit, jelikož základním kvalitativním znakem bioethanolu je její obsah. [76]

1.4 POROVNÁNÍ PALIV

Energie získaná spalováním paliv ve spalovacích motorech v dopravě všeho druhu tvoří třetinu celkové spotřeby energie na území Evropské unie. Zastoupení jednotlivých druhů paliv v celkové spotřebě je viditelná z grafu viz obr. 1-7, kde zemní plyn tvoří zatím pouze 0,7 %. [30]



Obr. 1-7 Spotřeba vybraných druhů paliv v dopravě [86]



Srovnávacím měřítkem pro porovnání jednotlivých druhů paliv může být jejich výhřevnost. Výhřevnost představuje množství energie, která se uvolní úplným spálením měrné jednotky. Mění se podle množství uhlíku a vodíku. Pokud má palivo velké množství vodíku, má zpravidla i vysokou výhřevnost. Je zjevné, že pokud jsou ostatní faktory okolo spalování paliv stejné, pak s rostoucí výhřevností paliv klesá jejich spotřeba. [3] Spotřeba paliva je pro většinu řidičů jeden z nejdůležitějších technických údajů v parametrech vozidla, jelikož přímo souvisí s náklady pro provoz daného vozu. [75]

Tab. 1-1 Charakteristika motorových paliv [8], [10],[35], [66], [72], [76], [91], [98], [99], [100]

Druh paliva	Objemová výhřevnost [MJ.l ⁻¹ , MJ.m ⁻³]	Hmotnostní výhřevnost [MJ.kg ⁻¹]	Oktanové číslo	Cetanové číslo
Motorový benzin	32,3	44,03	91-98	-
Motorová nafta	35,7	42,50	-	46-56
Propan butan	46,1 MJ.m ⁻³ *	49	100-110	-
Zemní plyn	34-39 MJ.m ⁻³ *	46,7	128	-
Bioplyn 55-100% CH ₄	19,6-35,8 MJ.m ⁻³ *	50	-	-
Vodík	10,7 MJ.m ⁻³ *	121	60	33
Bionafta	33,3-35,7	37	-	min. 51
Bioethanol	21,17	26,8	107	8

* Platí pro paliva v plynném stavu.



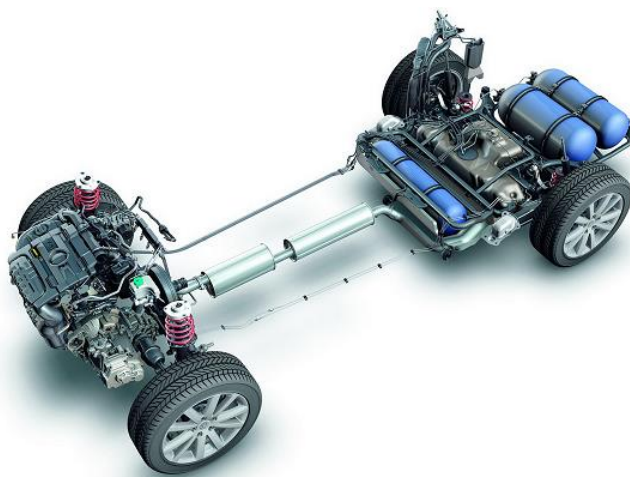
2 KONSTRUKCE VOZIDEL

Zemní plyn se v dnešní době používá pro pohon celé řady vozidel, ať už se jedná o vozidla určená pro silniční či mimosilniční dopravu. [15] Vozidla na zemní plyn jsou dnes jednou z mála hospodárných možností při využívání alternativních paliv pro stále rostoucí počet uživatelů vozidel. [3] V oblasti silničních vozidel se můžeme setkat nejčastěji s autobusy, osobními a dodávkovými automobily, nákladními vozidly, tahači, atd. CNG však využívají i mimosilniční vozidla, takzvané off-road vozidla. Za zmínku z této kategorie vozidel stojí vysokozdvizné vozíky, traktory, vyhlídkové lodě, trajekty, lokomotivy, různé zemědělské stroje a podobně. [15] Oblasti, do kterých tyto vozidla zasahují, jsou tak široké, že předmětem popisu konstrukčního uspořádání vozidel budou pouze osobní automobily.

Vozidla, která jsou již z výroby uzpůsobena pro provoz na CNG jsou ve většině případů vybavena dvoupalivovým systémem, který umožňuje provoz jako na tradiční palivo – benzín, tak na samotný zemní plyn. [3] Většina dílů ve vozidle je shodná s běžným modelem, jejich výroba je tak relativně levná. [49]

2.1 PODVOZEK VOZIDEL

Při konstrukci podvozku vozidla je potřeba myslet na umístění objemných palivových nádrží. U osobních automobilů dochází k nahrazení vlečných náprav rameny s nezávislým zavěšením, která jsou ale v dnešní době již časté i u běžných benzínových vozidel. Tímto dojde k vytvoření otevřeného prostoru v zadní části vozidla za současného zachování pohodlné jízdy. [50]

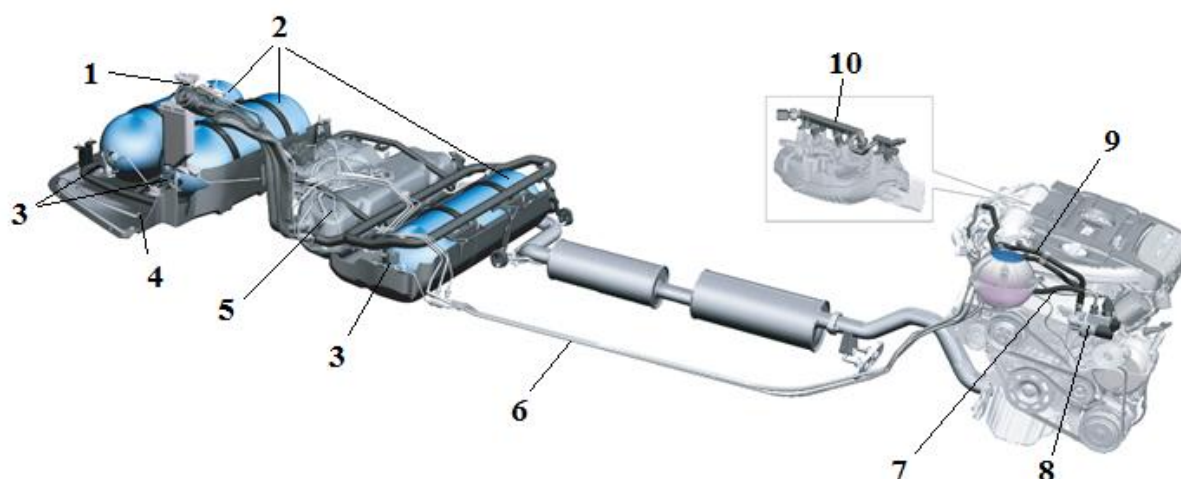


Obr. 2-1 Uspořádání podvozku vozidla Volkswagen Golf TGI [92]

Další úpravou je odstranění rezervní pneumatiky a zvedáku, čímž je opět ušetřen prostor. [50] Rezervní pneumatiku pak nahradí sada na opravu pneumatik, která v případě defektu poškozenou pneumatiku jednoduše opraví. [9]

2.2 PALIVOVÁ SOUSTAVA

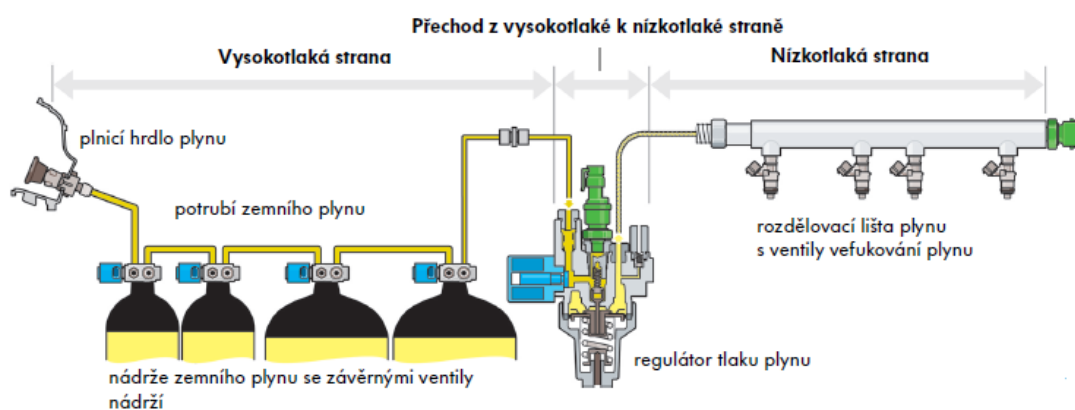
Většina sériově vyráběných vozidel na zemní plyn využívá dvoupalivový systém, aby měl řidič možnost načerpat všeobecně dostupné palivo v případě, že zemní plyn není v určité lokalitě dostupný. Vozidla jsou tedy vybavena systémy, umožňující fungovat jak na benzín, tak na zemní plyn. [95] Palivová soustava vozidla na CNG je implementována vedle benzínové soustavy do vozidel ve velmi podobné skladbě. Pro schématický popis byla vybrána palivová soustava na zemní plyn EcoFuel ve spojení s motorem 1,4 l TSI od automobilky Volkswagen, viz obr. 2-2. [62]



Obr. 2-2 Rozložení palivové soustavy pro motor 1,4 TSI EcoFuel koncernu Volkswagen [62]

- 1 – plnicí hrdlo na zemní plyn, 2 – tlakové nádoby na zemní plyn,
 3 – multifunkční ventily tlakových nádob, 4 – ochranné kryty, 5 – palivová nádrž na benzín,
 6 – vysokotlaké vedení zemního plynu, 7 – nízkotlaké vedení zemního plynu, 8 – regulátor tlaku plynu
 9 – přípojky okruhu chladící kapaliny k regulátoru, 10 – rozdělovací lišta s vefukovacími ventily

Jednotlivé komponenty palivové soustavy pracují s různými tlaky zemního plynu, pro bližší popis celé soustavy bude rozdělena do tří oblastí, tak jako je vyobrazeno na obrázku 2-3.



Obr. 2-3 Znáznornění zařízení palivové soustavy CNG [87]



2.2.1 VYSOKOTLAKÁ STRANA

Vše začíná u plnicího hrdla zemního plynu, kde se nachází plnicí ventil, který slouží k plnění tlakové nádoby vozidla plynem na CNG plnicích stanicích. Bývá umístěn u čerpacího otvoru klasických paliv. [13] Součástí plnicího hrdla je zpětný ventil, který zabraňuje úniku plynu při odpojení plnicí pistole a integrovaný filtr. Konec hrdla je chráněn uzávěrem proti nečistotám. [3] U většiny osobních vozidel je využíván plnicí ventil typu NGV1. [61] Plnicí hrdlo plynu je spojeno potrubím k multifunkčním ventilům u tlakových nádob. Zemní plyn se tak dostane do první nádrže a současně pak proudí propojovacím potrubím mezi multifunkčními ventily do dalších nádrží, které jsou vzájemně propojeny. [87] Multifunkční ventil mimo jiné uzavírá tlakovou nádobu při vypnutí zapalování, řídí odběr plynu z nádoby a v případě poruchy či nehody zastupuje funkci bezpečnostního prvku. [13]

Zásobníkem paliva u vozidel CNG je již zmíněná soustava plynových tlakových nádob. Ty jsou ve většině případů ocelové. [15] Silnostěnné ocelové nádrže bývají vyrobeny bezešvou technologií z ušlechtilých ocelí, které jsou na rozdíl od nádrží na konvenční palivo podrobovány přísným zkouškám. [9] Stále se prosazují také vylehčené nádoby z kompozitních materiálů. U osobních a dodávkových automobilů bývají tlakové nádoby umístěny pod vozidlem. [15] Využívané jsou také tzv. integrované úložné systémy, kdy jsou všechny kompozitní nádrže uloženy v plášti ze skelných vláken. Okolní prostor může být navíc vyplněn nárazu absorpční pěnou, aby byly nádoby chráněny před nárazem. Tyto nádrže mají menší průměr, takže tři z nich mohou být umístěny spolu a pak se jejich tvar a velikost podobá nádržím benzínovým. [50] U vozidel s pohonem na CNG slouží k pohonu v první řadě CNG, nádrž na benzín slouží pouze jako rezerva. [68]

Zemní plyn je v nádržích uchováván stlačený, při nominálním tlaku 200 bar, tento tlak musí být pro další použití snížen. [3]

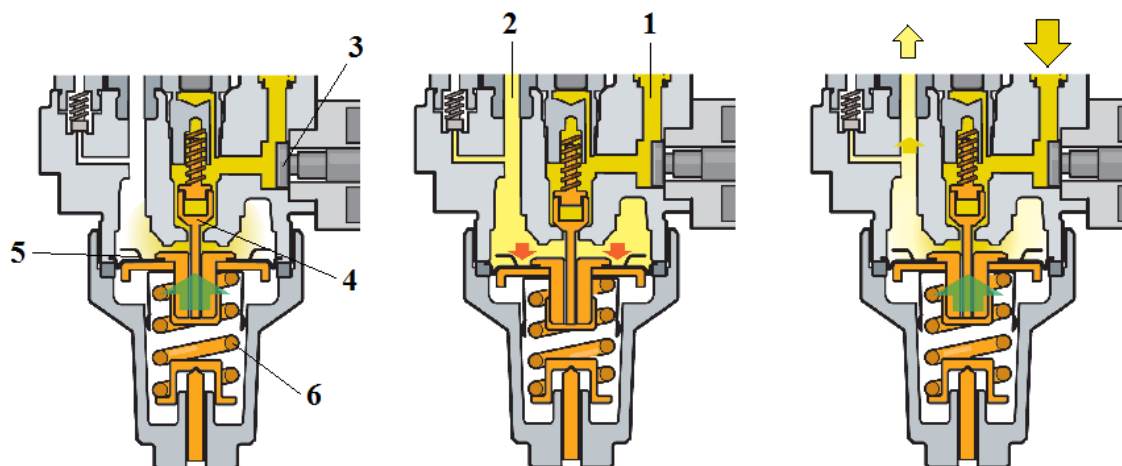
2.2.2 PŘECHODOVÁ ČÁST

Vysokotlaký zemní plyn je přiváděn v potrubí do skupiny zařízení, která se nazývá skupina redukčního ventilu a bývá instalována přímo v motorovém prostoru vozu. [3] Provedení redukčních ventilů se liší, můžeme se setkat s jednostupňovým mechanickým, či dvoustupňovým elektronicky řízeným typem u novějších vozidel. [62] Celá skupina ventilů je pak z pravidla tvořena samotným redukčním ventilem, odpojovacím elektromagnetickým ventilem a tlakovým snímačem. [3]

V důsledku rychlé expanze plynu z vysokého tlaku, na tlak nízký dochází k prudkému snížení teploty regulátoru. [3] Tento proces se podobá chování chladiva ve výparníku klimatizace. Aby z tohoto důvodu nedošlo k zamrznutí regulátoru, což by znemožnilo jeho funkci, tak je celý regulátor připojen k chladicímu okruhu vozidla, který jej ohřívá. [87]

Jednostupňový regulátor funguje čistě na mechanickém principu. Pokud elektromagnetický ventil dostane impuls k otevření kanálku od řídicí jednotky motoru, dojde k proudění zemního plynu pod vysokým tlakem k regulačnímu pístu ve vysokotlaké komoře. Regulační píst je pomocí membrány zatížen pružinou spojen s nízkotlakou komorou. Pokud je tlak zemního plynu v nízkotlaké komoře nižší, než požadovaný, stlačí přitlačná pružina membránu a regulační píst směrem nahoru. Regulační píst otevře spojení z vysokotlaké do nízkotlaké komory. Pronikáním zemního plynu stoupá tlak v nízkotlaké komoře. Při dosažení

požadovaného tlaku stlačí tento tlak membránu proti síle pružiny směrem dolů. S membránou spojený regulační píst tak uzavře spojení s vysokotlakou komorou. Spotřebuje-li motor zemní plyn, opět klesne tlak v nízkotlaké komoře. Pružina stlačí membránu opět směrem nahoru a otevře se tak regulační píst. Do nízkotlaké komory proudí opět zemní plyn a děj se neustále opakuje. [87]



Obr. 2-4 Řez pracovní částí jednostupňového regulátoru tlaku [87]
1-vysokotlaká komora, 2-nízkotlaká komora, 3-elektromagnetický ventil, 4-regulační píst,
5-membrána, 6-pružina

V případě, že je vozidlo vybaveno dvoustupňovým regulátorem, pak dochází v první fázi k mechanické regulaci tlaku nejprve na 20 bar. Poté nastane druhý stupeň regulace, který je prováděn elektronicky vysokotlakým ventilem. Ten hýbe regulační jehlou a zajišťuje regulaci. V závislosti na požadavcích řídicí jednotky se pak tlak vhodně snižuje. [62]

Tlaky zemního plynu, které jsou na výstupu z tlakového regulátoru, bývají pro různé automobily rozdílné, pohybují se však mezi 5-9 bary. [87, 62, 3]

2.2.3 NÍZKOTLAKÁ STRANA

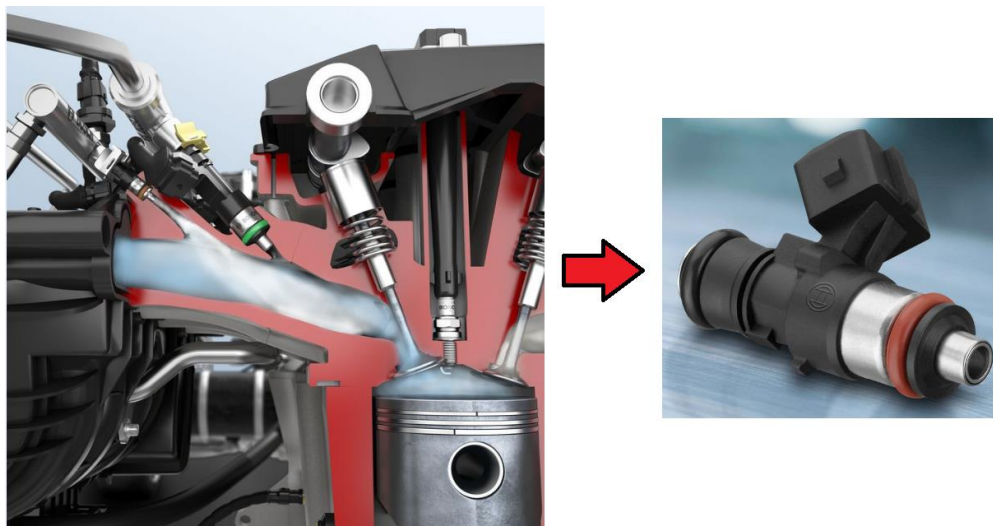
Na počátcích využívání zemního plynu v automobilech se směs zemního plynu se vzduchem vytvářela ve směšovačích. Podstatně kvalitněji je možno vytvořit tuto směs vstřikováním plynu do jednotlivých sacích potrubí motoru přes vstřikovací ventily. Vstřikování benzínu i plynu je ovládáno skrze elektronickou řídicí jednotku. [59] Řídicí jednotka zajišťuje správný provoz vozidla na zemní plyn a řídí dávkování paliva. [15]

Do palivové lišty se zemní plyn přivádí z nízkotlakého potrubí od regulátoru plynu. Zemní plyn je palivovou lištou dále rozváděn k jednotlivým vstřikovačům, které zajišťují vstřikování plynu do jednotlivých válců. [15] Palivová lišta obsahuje kromě jednotlivých vstřikovačů plynu také snímač tlaku a teploty zemního plynu. [3] Signál z tohoto snímače je důležitý pro řídicí jednotku z hlediska vyhodnocení, jestli je v palivové liště dostatečný tlak paliva pro provoz v režimu na CNG, dále pak pro vyhodnocení délky otevření vstřikovače a tím určení dávky paliva. V neposlední řadě u vozidel s dvoustupňovou regulací tlaku plynu



pak poskytuje údaje pro nastavení optimálního tlaku na výstupu z regulátoru. [62] Množství vstřikovaného plynu závisí pouze na době otevření elektronicky ovládaného vstřikovače, kterou určuje řídicí jednotka. [3] Konkrétní doby otevření vstřikovačů závisí na otáčkách motoru, zatížení motoru, kvalitě zemního plynu a aktuálního tlaku v tlakové liště. [62]

Vstřikovače zemního plynu bývají ovládány sekvenčně, to znamená, že všechny vstřikovače jsou ovládány individuálně na základě sekvence sání motorových válců, zatímco dodávka paliva do všech válců může začít již ve fázi expanze a trvat do fáze započatého nasávání. [3]

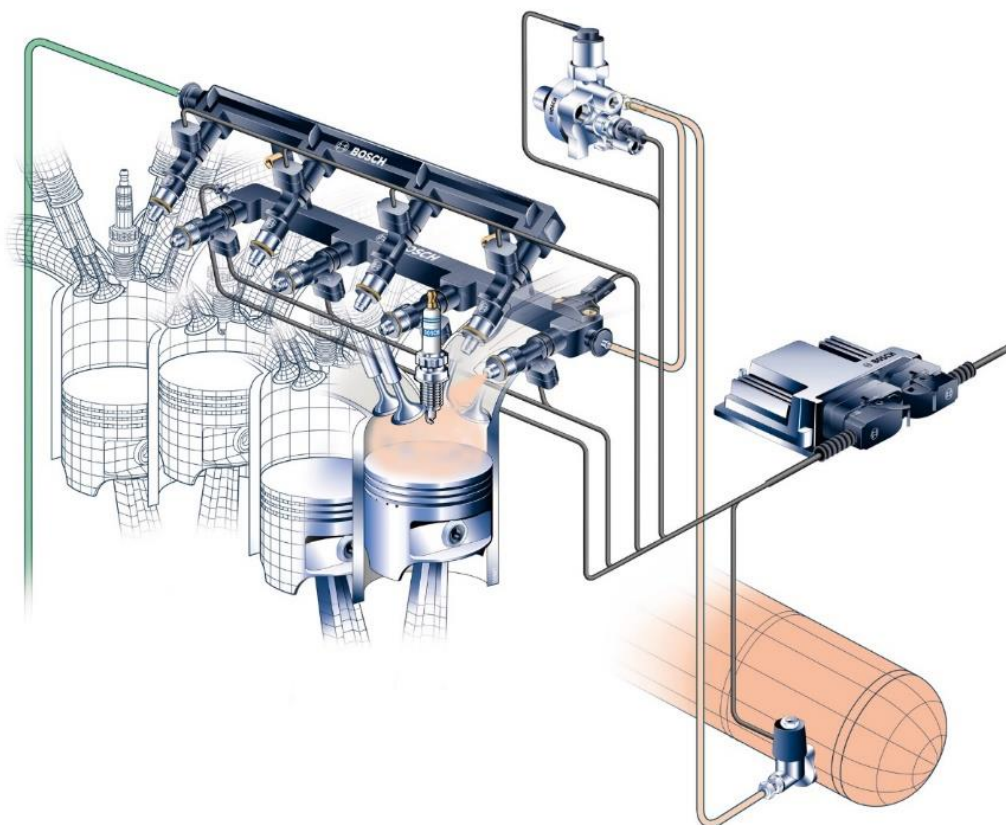


Obr. 2-5 Dvoupalivový vstřikovací systém vlevo [23] a vpravo vstřikovač typu NGI-2 [96]

Světové automobilky, jako je Volkswagen Group, Fiat a Opel nabízejí zákazníkům vozidla, které jsou vybaveny prvky palivové soustavy od firmy Bosch. [93]

Výrobce autopříslušenství, firma Bosch, nabízí pro dvoupalivové systémy zážehových motorů svůj systém NG-Motronic, který se skládá z řídicí jednotky motoru Bifuel-Motronic, vstřikovačů zemního plynu NGI2, podavače paliva, senzoru tlaku v nádržích a senzorů plynu, teploty a nízkého tlaku. [95] Výhodou řídicí jednotky je, že se jedná o takzvanou dvoupalivovou řídicí jednotku, která vychází ze systému řízení motoru pro vstřikování benzínu. Integrace obou palivových systémů do jedné řídicí jednotky spoří náklady a snižuje náročnost kabelového propojení ve voze. Zmíněný vstřikovač plynu NGI2 byl taktéž vyvinut speciálně pro požadavky dávkování zemního plynu. Byly použity speciální materiály se speciální povrchovou úpravou a tak je možné použití plynu bez přítomnosti oleje. Vnější tvar NGI2 odpovídá běžným benzínovým vstřikovačům. [12]

Systém od Bosch lze spustit v režimu CNG i když je zima, což znamená, že zákazníci mohou prakticky vždy jet na levnější zemní plyn. Jiné systémy musejí pro zahřátí v počáteční fázi použít drahý benzín. [58] Další výhodou je, že kdykoliv je potřeba, lze přepnout mezi CNG a benzinem bez toho, aby to řidič postřehl. [93]



Obr. 2-6 Schematicky znázorněný palivový systém NG-Motronic společnosti Bosch [22]

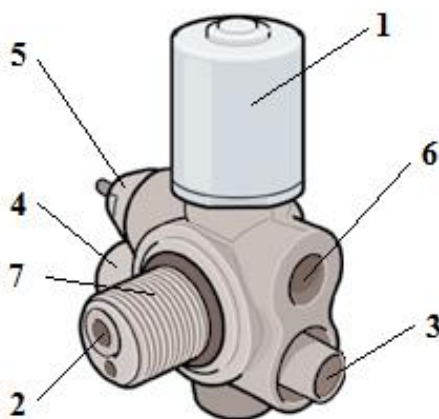
2.3 BEZPEČNOSTNÍ PRVKY

Celé zařízení na zemní plyn je namontováno tak, aby bylo co nejlépe chráněno před poškozením. Tlakové nádoby jsou velice stabilní a celý systém je doplněn o řadu bezpečnostních prvků pro zachování maximální bezpečnosti. [68] Nádoby moderních vozidel jsou testovány společností TÜV (Technical Inspection Agency) tlakem až 60 MPa, přičemž víme, že provozní tlak je 20MPa. [51] Vysokotlaká vedení plynu jsou zhotoveny jako bezešvé z ušlechtilé oceli a jsou instalovány mimo prostor pro cestující. [68]

Každá z tlakových nádob je osazena multifunkčním ventilem, který je vybaven vedle elektromagnetických zavíracích ventilů také integrovanou tepelnou pojistkou. Dále jsou vybaveny omezovačem průtoku, který v případě poškození vedení zabraňuje nekontrolovatelnému úniku plynu. V multifunkčních ventilech je navíc zabudovaný zpětný ventil, který zabraňuje zpětnému proudění plynu z tlakové nádoby na zemní plyn do plynového vedení od hrdla. [68] Pro případ přelplnění tlakové nádoby je součástí ventilu mechanické přetlakové zařízení. [3] U těch vozidel, kde je tlaková láhev s multifunkčním ventilem uvnitř vozidla, je potřeba, aby byl ventil hermeticky uzavřen speciální plynotěsnou skříní, která je v jejím nejvyšším místě spojena s atmosférou aby mohl případně odpuštěný plyn být bezpečně odveden mimo vozidlo. [82]



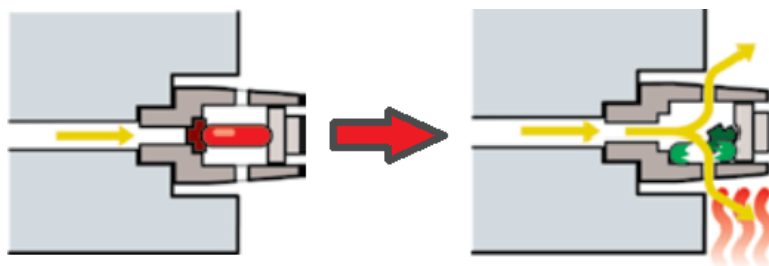
Popis jednotlivých částí multifunkčního ventilu vyobrazeného na obrázku 2-7 a dále popsáno:



Obr. 2-7 Multifunkční ventil tlakové nádoby [68]

1-ventil uzavření nádoby na zemní plyn, 2-omezovač průtoku, 3-tepelná pojistka, 4-mechanické zabezpečovací zařízení, 5-ruční uzávěr, 6-přípojka se závitem pro vedení plynu, 7-závitová přípojka k tlakové nádobě na zemní plyn

- Ventil uzavření tlakové nádoby na zemní plyn je implementován do multifunkčního ventilu, tento elektromagnetický ventil je během provozu na CNG otvírán řídicí jednotkou motoru. Při přepnutí provozu na benzín, vypnutí motoru, při závažnější nehodě nebo výpadku napájení se ventil automaticky uzavře. [68]
- Omezovač průtoku je taktéž součástí multifunkčního ventilu. Jedná se o bezpečnostní ventil umístěný v přípojovací přírubě ventilu tlakové nádoby na zemní plyn. Zabraňuje nechtěnému prudkému úniku plynu z tlakové nádoby na zemní plyn v důsledku poškození plynových vedení nebo regulátoru tlaku plynu. Je-li vysoký tlak rovnoměrný, zůstává omezovač průtoku otevřený. Při náhlém poklesu tlaku se omezovač průtoku uzavře. [68] Po zásahu omezovače je průtok omezen na hodnotu 0,5% oproti hodnotě nastavené pro normální činnost motoru. Omezovač je umístěn v závitovém dříku multifunkčního ventilu, který je zašroubován v tlakové nádobě tak, aby i po uražení ventilu byla zachována jeho funkce. [3]
- Důležitým prvkem je také tepelná pojistka obsažená v multifunkčním ventilu. Zabraňuje roztržení tlakové nádoby z důvodu nadměrného nárůstu tlaku v důsledku vysokých teplot. Tepelná pojistka je zabudována tak, aby bylo umožněno přímé odpouštění zemního plynu pod vozidlo. Akčním členem tepelné pojistky je skleněná trubička uzavírající výstup plynu, která při působení teploty cca 110 °C praskne a umožní únik plynu výpustným otvorem, tak jak je naznačeno na obrázku 2-8. [68] Výstupní otvor pro plyn je kalibrován tak, aby byl únik přesně řízený. [3]
- I přes všechna bezpečnostní opatření může dojít k přeplnění tlakové nádoby, pro tento případ je zde mechanické zabezpečovací zařízení s membránou, která se rozlomí při překročení tlaku 300 bar a umožní únik plynu přes kalibrováný otvor. [3]
- Poslední důležitou součástí multifunkčního ventilu je ruční uzávěr, pomocí kterého lze tlakovou nádobu na zemní plyn neprodyšně uzavřít. To je z bezpečnostních důvodů nutné při veškerých demontážních a montážních pracích nebo při odstavení havarovaného popřípadě poškozeného vozidla. Vypouštěcí kanál k tepelné pojistce je z bezpečnostních důvodů otevřený i při uzavřeném uzávěru. [68]

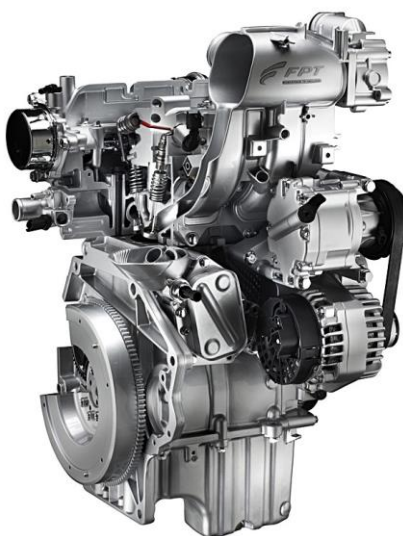


Obr. 2-8 Princip činnosti tepelné pojistky chránící nádrž před roztržením vlivem zvýšené teploty. [68]

2.4 MOTORY

Plynové motory musejí dohánět ztracený, sto let trvající vývoj benzínových a naftových motorů. Zatím jsou i přímo automobilkami vyráběné motory CNG spíše upravenými benzínovými motory. I tak ale dokáží díky vlastnostem nového paliva úspěšně konkurovat původní benzínové verzi. [4]

Proces spalování zemního plynu probíhá stejně, jako v případě benzínového motoru. [50] Rozdíl je v tom, že spalování zemního plynu je čistší a vyznačuje se vyšší odolností vůči klepání z důvodu vysokého oktanového čísla CNG. Vysoké oktanové číslo umožňuje zvětšit předstih zážehu, aniž by přitom docházelo k detonačnímu spalování. Zlepšuje se účinnost a tím stoupá i spalovací tlak a teplota ve spalovacím prostoru. Zemní plyn je velmi suchý a nemá takové mazací vlastnosti, jako benzín. Vše má za následek zvýšené zatížení motoru vyžadující změny v mechanické části. [62] Motor většiny sériově vyráběných vozidel na CNG je přednostně upraven na provoz s tímto palivem, takže při provozu na zemní plyn vykazuje lepší výkonové parametry. [76]



Obr. 2-9 Motor automobilky Fiat 0,9L TwinAir CNG [33]



Zvýšení kompresního poměru motoru výrobci docilují změnou tvaru pístu či jinými úpravami. [76] Písty bývají kované z hliníku. [50] Kované písty mají první a druhé drážky pro pístní kroužky vytvrzené. Aby z důvodu zvýšení kompresního poměru nedošlo k navýšení měrného tlaku mezi pístem a pístním čepem, dochází k prodloužení délky pístních čepů a tím ke snížení měrného tlaku. První pístní kroužek je opatřen povrchovou vrstvou s vysokou odolností proti opotřebení. [62] Z odolného materiálu musí být vyrobeny také sací ventily a sedla sacích a výfukových ventilů, bývají opatřeny odolnou vrstvou (nitridování, navaření tvrdé slitiny, pancéřování). [87] Vodítka ventilů jsou vyrobena z materiálu s vysokou odolností vůči opotřebení, jsou vybaveny nuceným mazáním dřívků ve vodítku ventilu. Materiály vložek ventilových sedel v hlavě válců bývají voleny s ohledem na odolnost vůči opotřebení a korozi. [62]

Z hlediska zapálení směsi plynu a vzduchu ve válcích dochází k odlišnostem od zapálení směsi benzínové. Směs plynu se vzduchem je obtížně zápalná. Je potřeba vyšší zapalovací napětí, které zatěžuje zapalovací cívky. Z důvodu snížení zapalovacího napětí se používají zapalovací svíčky se štíhlou středovou elektrodou s navařeným iridiovým hrotem, který si vystačí i s nižším napětím a zároveň dokonale odolává vyšším teplotám při spalování zemního plynu. Aby nedocházelo k rychlému opotřebení svíček, tak i kostřící elektrody mají odolné platinové hroty, zbytek kostřící elektrody je vyrobeno z mědi pro lepší odvod tepla. Speciální potahy pak chrání těleso zapalovacích svíček před korozí. [42]



Obr. 2-10 Zapalovací svíčky pro CNG motory od výrobce NGK [52]

Vzhledem k vysokým spalovacím teplotám při provozu na zemní plyn se dna pístů poměrně silně zahřívají, aby se teploty držely na co nejnižší úrovni, jsou ostříkovány z trysek, které jsou navrženy pro větší průtok oleje. S touto úpravou souvisí zvýšení výkonu olejového čerpadla pro dosažení vyšších tlaků oleje. Zvýšené tepelné zatížení motoru má také za následek použití výkonnějších čerpadel pro oběh chladicí kapaliny. [62]



3 PROVOZ VOZIDLA NA CNG

Vozidla, která jsou již z výroby upravena pro provoz na CNG jsou na silnicích k vidění čím dál tím častěji. Aktuálně u nás jezdí asi 13 000 vozidel, z toho jenom v roce 2015 přibýlo více než 4000. Největší podíl na tomto přírůstku měla automobilka Škoda, která dodala více než 69 % nových vozidel. [77] Ze zkušeností zatím větších podniků, které zakoupily nové flotily vozidel na zemní plyn, lze vyvodit závěry, že je jejich provoz bezproblémový a přináší řadu benefitů. Nejdůležitější je asi pro všechny finanční úspora, která plyne z nízkých provozních nákladů, která je značná i přes finančně náročnější údržbu vozidel. [39]

Česká pošta byla jedna z prvních, která si takovou flotilu vozidel pořídila a po zkušenostech z běžného provozu konstatuje až 40% úsporu na nákladech spojených s provozem vozového parku, úspory se tady pohybují v řádech milionů korun. [39] Přínosy se netýkají pouze nižších nákladů na provoz. Během jízdy vozidlo produkuje bezesporu menší množství škodlivin, jeho provoz je bezpečnější než u vozidel s běžnými palivy. Většina vozidel je vybavena dvoupalivovým systémem, který umožňuje provoz na aktuálně dostupné palivo a zvyšuje tak celkový dojezd, motory mají klidnější chod. Palivo z nádrže nelze odcizit, což je výhodou hlavně ve velkých dopravních podnicích, které takto ušetří další finanční prostředky. [76]

Nicméně je třeba nahlížet i na nevýhody, které i u těchto vozidel samozřejmě jsou. Tou hlavní je stále nedostatečná síť plnicích stanic, vyšší prvotní náklady na vozidlo a náklady spojené s údržbou vozu. [76]

3.1 EKONOMIKA PROVOZU

Zemní plyn jako pohonné palivo je bezkonkurenčně nejvýhodnější a spoří při každém čerpání peníze. [26] Náklady na 1 ujetý kilometr u vozidel na stlačený zemní plyn se pohybuje řádově na 40-50 % v porovnání s benzínovým pohonem a na cca 60-70 % v porovnání s naftovými motory. Cena provozu na CNG je ještě nižší, než cena provozu na LPG. [27] Náklady na ujetý kilometr se ve většině případů pohybují okolo 1 Kč, v případě přepřínovaných motorů TSI jsou při nižší spotřebě dokonce pod 1 Kč/km. [97] Asi jeden z nejúspěšnějších CNG motorů je osazen ve vozidle Fiat Panda, který se díky své kombinované spotřebě 3,1 kg/100 km a cenou plynu 25 Kč/kg dostává pod 80 haléřů/km. [2]

Cenová výhoda není na veřejných CNG stanicích zřetelná na první pohled. Důvodem je zobrazení ceny. U konvenčních paliv včetně LPG se zobrazují v litrech, cena CNG je ale udávána za kilogram. V 1 kg zemního plynu je přitom tolik energie, která odpovídá 1,5 l benzínu a cca. 1,3 l nafty, popřípadě 1,9 l LPG. Z toho pak můžeme vyvodit ekvivalent ceny. [26]

Německý autoklub ADAC pravidelně porovnává, který pohon vozidel je nejvýhodnější, a které modely v porovnání cena výkon mají náskok. V těchto rozborech jsou zohledněna fakta, jako jsou pořizovací náklady, ceny paliv, ztráty hodnoty vozidla, náklady na pravidelný servis, daně, pojištění a mnohé další. Při jednom z posledních testů došlo na porovnávání modelu Opel Zafira 1.6 CNG Turbo Eco Flex, jehož výsledky jsou nadmíru dobré. Na každém ujetém kilometru může v porovnání s benzínovou variantou být ušetřeno až 2 Kč. Při ročním nájezdu 30 000 km by úspora činila nemalých 60 000 Kč. [26]



Obr. 3-1 Srovnání ujeté vzdálenosti při provozu vozu Opel Zafira v podobné konfiguraci při natankování paliva v hodnotě 10 euro v Německu [69]

Pokud jsou vozidla na CNG používána k podnikání, pak jsou navíc zcela osvobozena od silniční daně, pokud však vozidlo nepřesahuje nejvýše povolenou hmotnost 12 tun. Tímto krokem dochází k úsporám několika tisíc korun ročně. [20] Tato daňová úleva není jediná, která souvisí se zemním plynem. Česká republika v reakci na strategii Evropské unie ohledně snižování škodlivých emisí a omezení závislosti na dovozu ropných produktů snížila do roku 2020 sazbu spotřební daně na CNG. [40] Dá se předpokládat, že dojde ještě k prodloužení doby, kdy bude stát prostřednictvím spotřební daně toto palivo podporovat. Očekává se prodloužení do roku 2025 tak, jak tomu je již dnes v Německu. [39]

3.2 BEZPEČNOST PROVOZU

Stlačený zemní plyn je pro pohon automobilů bezpečnější, než benzín. CNG je uskladněno v pevné nádrži z oceli nebo kompozitních materiálů. Tyto nádrže odolají úderu kladiva, nárazu i střelbě. [4] Navíc jsou umístěny v nejméně zranitelných a statisticky méně poškozovaných částech vozidla. Organizace American Gas Association shromažďuje statistické údaje 2 400 vozidel na CNG za deset let provozu, přičemž tato vozidla najela 280 miliónů kilometrů a stalo se 1 360 kolizí. Ve 180ti případech přišel náraz do zóny tlakových láhví, které přesto nebyly poškozeny. [39] Pokud by došlo k úniku zemního plynu z nádrže, tak nedojde k jeho rozlití, jako u benzínu po autě a jeho okolí, kde pak často dochází ke vznícení paliva. Zemní plyn je lehčí než vzduch, a proto ihned unikne vzhůru. Zápalná teplota je proti benzínu dvojnásobná. Při tankování či nehodě nemůže dojít ke znečištění případně proniknutí paliva do země. [4]

Na veškeré součásti, které nějakým způsobem souvisí s technologií CNG je kladena řada nároků, aby tato technika fungovala bezpečně. Bezpečnost jednotlivých prvků je důsledně testována a to jak v běžných, tak i v nestandardních podmínkách včetně parkování. Veškeré deklarované vlastnosti musí být zaručeny během celé životnosti vozidla. Soudobá technologie CNG je na vysoké úrovni. Již před několika lety byly zaváděny přísné zkušební postupy a kritéria. Nedílnou součástí všech prvků jsou homologační zkoušky, které jsou navíc



prováděny jak pro jednotlivé prvky, tak pro kompletní systémy v konkrétních modelech automobilů. [82]

Společnost ADAC prováděla crashtest vozidla Opel Zafira 1.6 CNG, při kterém se potvrdily výše zmíněné argumenty. Vozidlo bylo testováno na čelní náraz v rychlosti 64 km/h. Při nárazu nedošlo k žádnému poškození plynového systému, který zůstal plně těsný. Zcela bez poškození byl dokonce i systém vedení paliva přímo v nárazové zóně. Během pokusu o zapálení vozidla došlo po zahřátí nádrží k cílenému odpouštění zemního plynu, který vyhořel. Veškeré bezpečnostní prvky při testování fungovaly správně. Vlivem lehce vyšší hmotnosti vozidla však došlo k většímu zatížení pasažérů oproti běžné verzi tohoto vozu. Dá se říci, že testovaný vůz neprojevil i přes zabudovaný CNG palivový systém žádná slabá místa. [7]



Obr. 3-2 Vůz Opel Zafira 1.6 CNG po čelním nárazu [51]

3.3 DOPLŇOVÁNÍ PALIVA

Plnění vozidel stlačeným zemním plynem na tlak 20 MPa se provádí na CNG plnicích stanicích, které nejsou všechny stejného typu, jak je tomu u čerpacích stanic na benzín či naftu. [18] Rozdíl mezi jednotlivými stanicemi je ve způsobu provedení plnicího procesu, kdy jsou používány buď stanice pro rychlé plnění, nebo stanice pro pomalé plnění. U stanic využívajících systém rychlého plnění je doba plnění nádrží srovnatelná s dobou u čerpacích stanic na běžná paliva, tedy 3 až 5 minut. Pokud stanice využívá technologii pomalého plnění, pak se doba na naplnění prodlužuje zpravidla na několik hodin. [76]

3.3.1 POMALOPLNICÍ STANICE

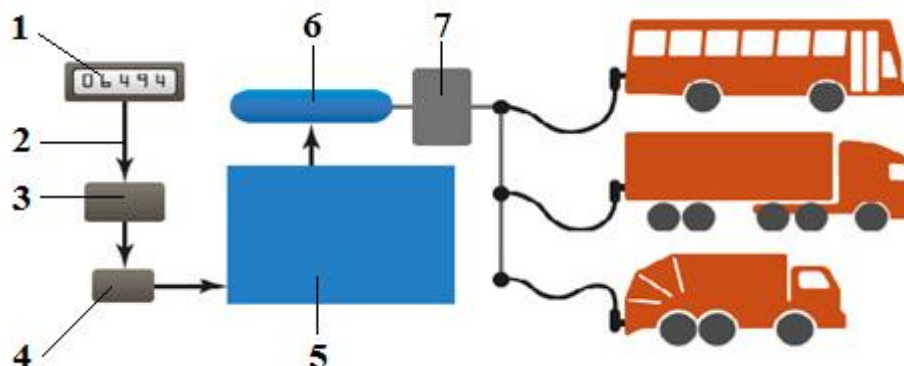
Jádrem pomaloplnicí stanice je kompresor, kterým je přímo prováděno plnění, přičemž je možné plnit současně několik vozidel. Doplnění paliva probíhá zpravidla několik hodin v době, kdy vozidlo není v provozu, nejčastěji v nočních hodinách nebo v přestávkách jízdy. [76]

Zemní plyn o nízkém tlaku je odebírán z plynovodu a po přefiltrování a vysušení je rovnou stlačován a čerpán přes chladič do nádrží ve vozidle. Průchod paliva chladičem je výhodný,

jelikož umožní do nádrží natankovat větší množství paliva než při rychlém plnění, kdy se plyn při plnění zahřívá. Plnicí stanice tohoto typu neobsahují zásobníky na uložení stlačeného zemního plynu, ale obsahují jen zásobník, který vyrovnává rozdíly tlaků od kompresoru. Výkony kompresorů se různí v závislosti na požadovaném plnicím výkonu stanice. [18]

S pořízením plnicí stanice tohoto typu souvisí několik výhod, mezi něž bezesporu patří jednoduchá instalace, která je navíc i rychlá. Plničku lze nainstalovat všude tam, kde je zaveden zemní plyn a elektřina. Její obsluha je jednoduchá a údržba nenáročná. Celé zařízení funguje plně automaticky, na plnění vozidla není nutné nijak dohlížet. Další výhodou je určitě nižší cena pohonné hmoty a nezávislost na veřejných plnicích stanicích. Samozřejmostí je bezpečnost celého zařízení, které je vybaveno bezpečnostními prvky. Ty automaticky přeruší plnění při úniku plynu nebo porušení hadice. [78]

Nevýhodou pomaloplnicí stanice je její cena. Malá stanice umožňuje běžně plnění 1 až 2 vozidel, v případě optimálního harmonogramu i 4 až 6 vozidel. Pro řadu podnikatelů nebo firem je však toto řešení spolu s převodem vozového parku na zemní plyn zajímavé ekonomické řešení. [78]

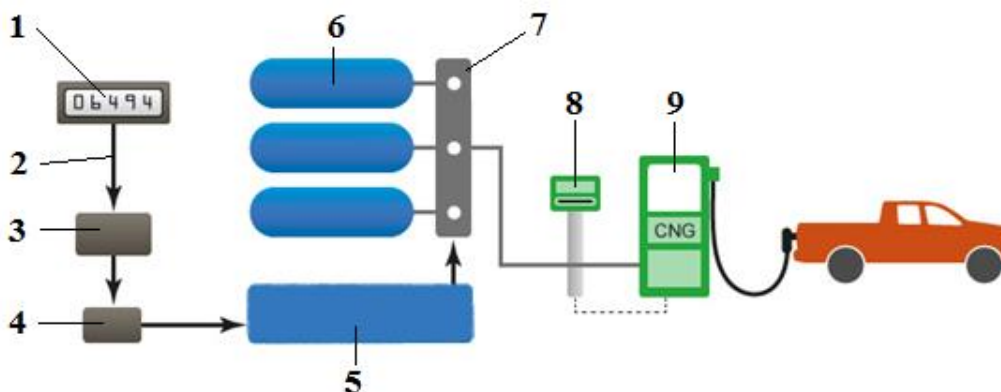


Obr. 3-3 Schéma pomaloplnicí stanice na CNG [85]

1 – plynoměr, 2 – plynové potrubí, 3 – vysoušeč, 4 – filtr, 5 – kompresor,
6 – vyrovnávací zásobník, 7 – chladič

3.3.2 RYCHLOPLNICÍ STANICE

Hlavním rozdílem v konstrukci oproti pomaloplnicí stanici je začlenění tlakových zásobníků do systému plnicí stanice, ve kterých je plyn nadále skladován. V oblastech, kde je k dispozici rozvod plynu, je stejně jako u pomaloplnicích stanic jádrem kompresor, který vysušený a přefiltrovaný zemní plyn stlačuje na vysoký tlak. Po stlačení je plyn odváděn do navzájem propojených skladovacích nádob, kde je prakticky ihned k dispozici pro rychlé natankování. [18] Stlačování plynu probíhá v několika kompresních stupních až na tlak 30 MPa. [76]



Obr. 3-4 Schéma rychloplnící stanice na CNG [32]

1 – plynoměr, 2 – plynové potrubí, 3 – vysoušeč, 4 – filtr, 5 – kompresor, 6 – skladovací nádoby, 7 – chladič s hmotnostním měřičem vydaného plynu, 8 – čtečka karet, 9 – výdejní stojan

K vlastnímu plnění vozu dochází prostřednictvím výdejního stojanu přepouštěním stlačeného plynu z tlakových zásobníků do tlakových láhví ve vozidle. Plnění trvá v řádech několika minut a z hlediska uživatele je plně srovnatelné s tankováním tradičních paliv u čerpacích stanic s benzínem nebo naftou. Kompresory neustále stlačují plyn do tlakových zásobníků před dobou čerpání tak, aby zásobníky byly stále plné a k dispozici pro plnění. Tento režim je využíván u veřejných CNG plnicích stanic a jeho nevýhodou je vyšší investiční náročnost. [83]

Počátkem roku 2016 bylo v České republice vystavěno 111 veřejných CNG plnicích stanic, na kterých mají motoristé možnost doplnit palivo. Síť čerpacích stanic se stále rozrůstá, do konce roku 2016 by mělo být v ČR nejméně 150 až 160 stanic, do roku 2020 pak celkem 200 až 300 CNG stanic. [89]



Obr. 3-5 Rozmístění CNG veřejných čerpacích stanic [44]



Plynárenské společnosti v České republice provozují jednotný platební karetní systém, kdy zákazník v rámci smlouvy obdrží platební kartu CNG Card Centra, na kterou samoobslužně tankuje ve většině CNG stanicích v ČR. Po skončení měsíce pak dostane fakturu s výpisem tankovaného CNG ve všech stanicích nebo může platit inkasem ze svého účtu. [97] Proces samoobslužného tankování při využití této služby je jednoduchý, zákazník je s jeho principem seznámen již při žádosti o vydání platební karty. Nejprve se připojuje plnicí koncovka k automobilu, poté se načte platební karta, kde stačí zadat bezpečnostní PIN na klávesnici či na displeji tankomatu a po schválení může tlačítkem či páčkou spustit tankování. Po skončení tankování zákazník obdrží lístek s množstvím natankovaného CNG a cenou, který má pouze informační charakter a není daňovým dokladem. Na některých plnicích stanicích tohoto typu lze platit i běžnými bankovními kartami. [60] Stanice jsou v provozu 24 hodin denně, tankovat lze tedy kdykoliv. [102]

3.4 KOMFORT JÍZDY

CNG automobily poskytují ve své podstatě stejný komfort, jako vozy na benzínové či naftové palivo. [31]

Z doposud nižšího počtu čerpacích stanic pramení trochu nepohodlné, plánované doplňování paliva, na které musíme myslet, pokud jedeme hlavně do oblastí, které jsou pro nás neznámé. Všechna vozidla však mají rezervní nádrž na benzín. Přepínání mezi jednotlivými palivy probíhá automaticky. [47]

Dojezd vozidel se různí v závislosti na modelu vozu. Takřka veškeré vozy jsou dvoupalivové koncepce, avšak rozdíl je v tom, zdali mají pouze dojezdovou nebo plnohodnotnou nádrž na benzín. Při provozu čistě na CNG dojezd vozidel začíná od 300 km a končí u vozů s dojezdem přes 500 km. Pokud se podíváme na celkový dojezd, kdy zcela využijeme obě nádrže, tak se dostaneme na vzdálenosti od zhruba 600 km do asi 1 300 km u těch nejlepších. Vůbec největší dojezd na CNG má Opel Zafira, který ujede na jedno naplnění 530 km, toto prvenství je vykoupeno velmi malou nádrží na benzín, kde naopak zmíněný Opel uzavírá statistiky s dojezdem na benzín vzdáleností 150 km. [6]

Zemní plyn má vyšší oktanové číslo, než benzín, což příznivě ovlivňuje chod motoru a jízdní vlastnosti. [4] Příznivý je i fakt, že vozidla, která jsou provozována na zemní plyn, bývají tišší, hluk uvnitř osobního vozidla dosahuje 60% snížení a vně pak 20% snížení. [25]

Z důvodu implementace palivových nádrží do vozidel dochází často k omezování zavazadlového nebo užitného prostoru. [80] V souvislosti s instalací nádrží souvisí i zvýšení celkové hmotnosti automobilu, a tím snížení povolené užitečné hmotnosti. Přídavné palivové nádrže mají však i výhodu v podobě zvýšení celkového dojezdu u dvoupalivových systémů. [76]

Jakési omezení by mohl představovat zákaz parkování v podzemních garážích, jak jsme na to zvyklí u vozidel na LPG. U vozidel na CNG však k tomuto omezení od roku 2015 nedochází, pokud jsou podzemní či patrové garáže vybaveny potřebnou technikou pro detekci a odvětrávání plynu. Tato technika je dnes samozřejmostí u nových staveb, u starších lze zařízení dodatečně přidat. U CNG je velmi nízké riziko výbuchu, daleko nižší i než u kapalných paliv. Výbušnost směsi plynu se vzduchem je dokonce osmkrát nižší. [55]



3.5 ÚDRŽBA VOZIDLA

Každé vozidlo si vyžaduje určitou údržbu, aby bezproblémově plnilo svou funkci. Každé vozidlo má předepsanou řadu servisních úkonů od výrobce, které je nutné dodržovat. Na údržbě motoru se ve své podstatě nic nemění oproti běžným automobilům, je nutné pravidelně měnit olej včetně všech potřebných filtrů. Životnost oleje je teoreticky prodloužena, jelikož nedochází ke zhoršování jeho vlastností vlivem absorbování sazí a jiných nečistot z procesu spalování běžných paliv. [48] Nicméně opět platí, že je prvořadé se držet doporučení od výrobce, jelikož domácí automobilka Škoda předepisuje dokonce zkrácený interval výměny oleje, než u svých ostatních modelů a to na 15 tisíc kilometrů. [79]

Ke zvýšenému namáhání dochází v případě prvků zapalování, je třeba důsledně kontrolovat stav zapalovacích svíček i celého vysokonapěťového vedení. Speciální péči si vyžadují také prvky plynové palivové soustavy. [48]

S pohonem na CNG jsou tedy oproti klasickým servisním úkonům spojeny i některé doplňující úkony a prohlídky plynových zástaveb. [76] Každé dva roky musí dojít ke kontrole stavu plnicího hrdla a uzávěru, vyčištění, kontrole těsnění a kontrole plynových zařízení. [16] Tlakové nádoby se zemním plynem musí být kontrolovány a revidovány každé 4 roky po datu registrace vozidla nebo v termínech stanovenými místními předpisy. Po provedení revize je pro příslušné vozidlo vydán štítek s datem příští povinné kontroly nádoby. Bez platné revize je zakázáno tlakové láhve nadále plnit. Životnost tlakových láhví na CNG je pak stanovena na 20 let po datu výroby, každá láhev je opatřena již z výroby datem, kdy vyprší dvacetiletá životnost. [3]

Díky čistotě zemního plynu se v celé palivové soustavě nehromadí nánosy nečistot, tak jako v jiných palivových soustavách, z čehož vyplývá menší počet oprav. [49]



Obr. 3-6 Tlaková láhev na CNG s pohledem na štítek s důležitými údaji o láhvi [19], [43]

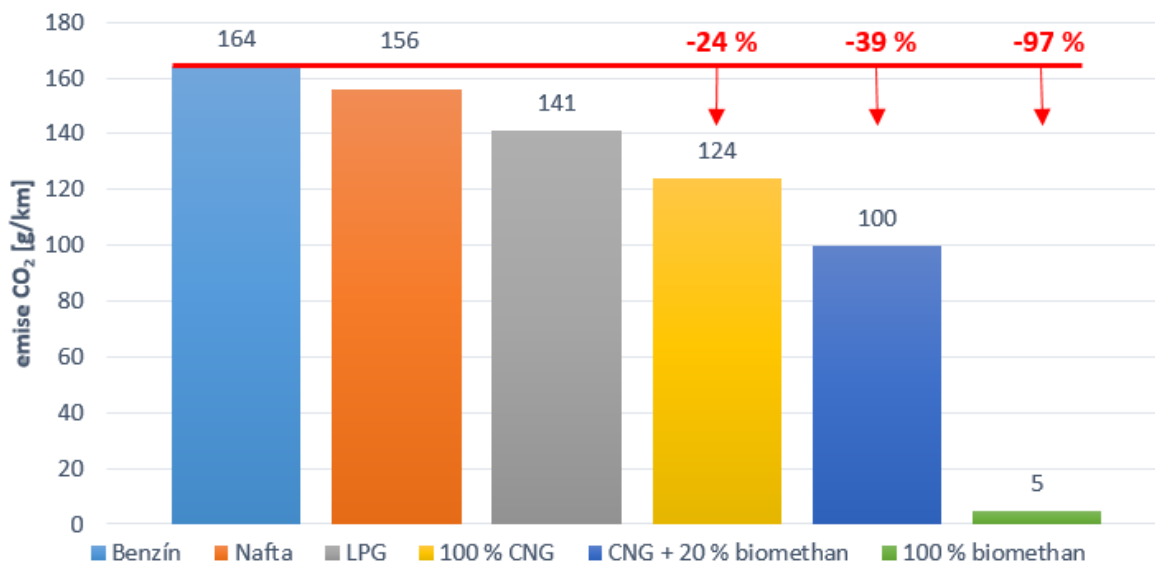


4 EKOLOGIE PROVOZU

Provozování vozidel v silniční dopravě má za následky znečišťování životního prostředí. Vozidla jsou v dnešní době čím dál tím více dostupná a používána širokou veřejností. V posledních desetiletích minulého století se začíná velmi vážně mluvit o skutečnosti, že světový provoz dopravní techniky začíná ve znečišťování předbíhat průmyslovou výrobu, která byla do té doby považována za hlavní zdroj znečištění a poškozování životního prostředí s následným oteplováním planety. Aby došlo k nápravě celé situace, dochází k zavádění emisních norem, které stanovují povolené množství produkce škodlivin ve formě NO_x , CO, CO_2 a sazí neboli pevných částic vypouštěných do volného prostoru. [67]

Jen málokterý krok ke zlepšení ovzduší a k ochraně zdraví lidí i přírody je zároveň ekonomicky výhodný, tak jako tomu je při plynofikaci dopravy. Ekologie zde není v rozporu s ekonomikou. [4] Z pohledu ekologie přináší zemní plyn jako palivo motorů vozidel celou řadu výhod. Vše začíná už při procesu výroby zemního plynu. Výroba zemního plynu je snazší než výroba benzínu či nafty, jelikož proces výroby nevyžaduje energeticky náročnou rafinaci ropy, která se negativně projevuje na životním prostředí. [24]

Při spalování zemního plynu pak vzniká prokazatelně méně škodlivin, než při spalování automobilového benzínu či nafty. Je to dáno vyšším obsahem vodíku a nižším podílem uhlíku, než u zmíněných běžných paliv. [24]

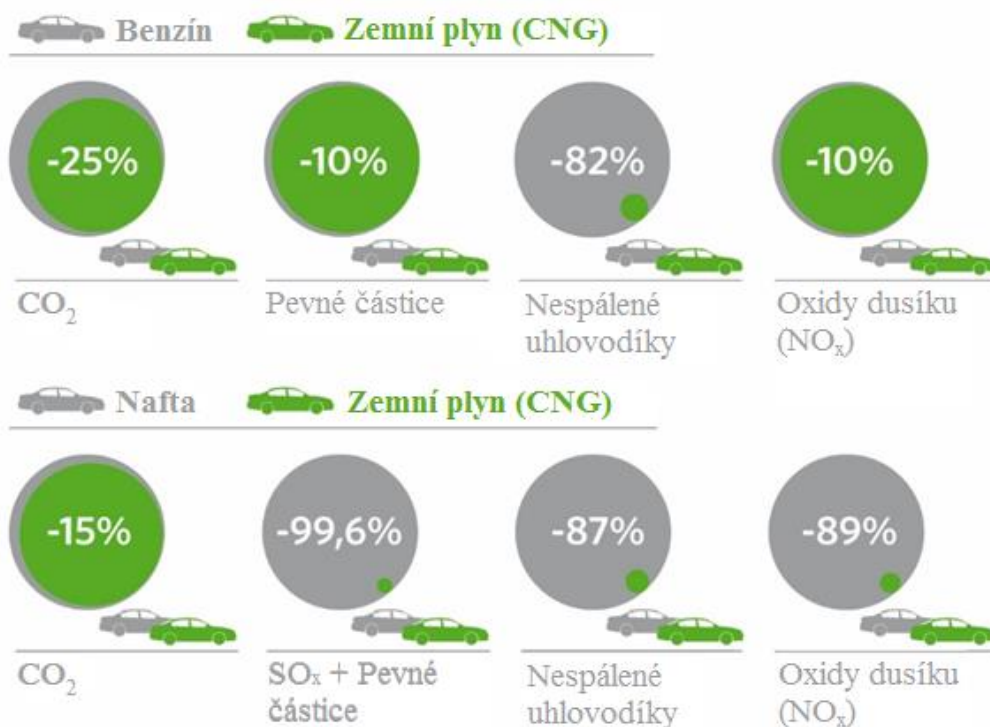


Obr. 4-1 Produkce oxidu uhličitého CO_2 v závislosti na druhu paliva [34]

Emise oxidu uhličitého CO_2 , jsou sníženy proti běžným palivům o 25 až 30 %, s budoucí optimalizací motorů na zemní plyn se odhaduje snížení o dalších 10 až 20 %. [17] Další snížení je již nyní možné po přimíšení biomethanu do směsi CNG, kdy po přimíchání pouze 20 % biomethanu dojde ke snížení emisí oxidu uhličitého o 40 % vůči běžným palivům. Použitím čistého biomethanu dochází k vůbec maximálnímu snížení až o 97 %. [1] Snižování CO_2 je důležité z hlediska skleníkového efektu, lidskému organismu přímo neškodí. [3]

CNG je bez aditiv a jiných karcinogenních přísad, proto také spaliny neobsahují žádný obsah oxidu siřičitého SO_2 , který podporuje vznik onemocnění dýchacích cest. [25] V podstatě na nulu klesají emise pevných částic, které jsou považovány z důvodu mutagenních a karcinogenních účinků za nejškodlivější. [63] Pevné částice představují stejné riziko jako azbest či arzen, což jsou známé karcinogeny. [25] Další nebezpečnou složkou výfukových plynů jsou některé oxidy dusíku NO_x , jejichž hladina je však při spalování zemního plynu nízká. [17]

Spalování v žádném motoru není zcela ideální, i v případě CNG tomu není jinak. Během nedokonalého spalování vznikají nespálené uhlovodíky z důvodu nedostatečného přísunu vzduchu nebo příliš chudé směsi, kdy obsah válce dokonale neprohoří. [28] V případě zemního plynu se nevyhořelé uhlovodíky ve výfukových plynech motoru téměř výlučně skládají ze samotného zemního plynu, který však není toxický. [3] Nespálené uhlovodíky běžných paliv pak obsahují karcinogenní aromáty, jedovaté aldehydy a nejedovaté alkeny a alkany plus další složky. Na slunečním světle reagují s oxidy dusíku a vytvářejí látky dráždivé sliznici. V létě se tyto látky podílejí na vzniku jedovatého přízemního ozónu. [28]



Obr. 4-2 Procentuální snížení produkce jednotlivých škodlivin při užití CNG jako paliva [29]

Nedokonalým spalováním uhlovodíků dochází také k produkci oxidu uhelnatého CO , který se extrémně rychle váže na hemoglobin, kde vytěsňuje kyslík a zabraňuje tak přenosu vzduchu z plic do tkání čímž způsobuje otravu. V normálních koncentracích v ovzduší poměrně brzy oxiduje na oxid uhličitý. [28] Redukce množství vypouštěného CO v případě CNG je až 90 % ve srovnání s benzínovým motorem. [38]



Skoro nulový obsah pevných částic a nízká hladina oxidů dusíku dělají ze zemního plynu ideální palivo pro rozsáhlé použití v městských oblastech. [17] Ve velkých aglomeracích mnohých západních zemí již dochází k omezování množství dopravních prostředků, které se mohou pohybovat v centrech měst v případě nepříznivé smogové situace. Vozidel na CNG se toto omezení netýká pro svůj čistý charakter provozu. [64]

Veškeré soudobé CNG tovární vozy splňují nejpřísnější ekologickou normu EURO 6, která je platná od září 2014, a dokonce dosahují ještě podstatně nižších hodnot emisí, než tato norma vyžaduje. [25]

Ekologické přínosy nejsou pouze ve zlepšení složení výfukových plynů. Dalším problémem je tzv. znečištění hlukem, které je spojováno s řadou zdravotních problémů. Hlavním zdrojem hluku v obcích a městech je silniční doprava. [36] Plynové motory však mají tišší chod, než motory spalující běžná paliva. Například úroveň hluku plynových autobusů oproti klasickým vznětovým je díky měkčímu spalování nižší o 50 % vně vozidel, o 60-70 % uvnitř vozidel. [76]

Mezi další výhody, které jsou přínosem v oblasti ekologie, rozhodně patří nemožnost kontaminace půdy v důsledku úniku kapalných paliv na silnici či v garáži, taktéž při tankování pohonných hmot nevznikají žádné ztráty paliva, tak jako je tomu u paliv, které se odpařují. [76]



5 TRH S OSOBNÍMI VOZIDLY

Světové automobilky nabízejí na 180 modelů sériově vyráběných modelů CNG automobilů. K nejvýznamnějším výrobcům v Evropě patří Mercedes Benz, skupina Volkswagen, Fiat, Opel, Ford, Citroen či Renault. [15] Cena vozidel je příznivá, dokonce je u některých CNG vozidel srovnatelná a leckdy i nižší, než cena výkonově a výbavou obdobného vozidla s dieselovým motorem. [57] Dobře je to vidět na příkladu nejprodávanějšího CNG vozu u nás, kterým je Škoda Octavia G-TEC. [14] Srovnatelná naftová verze Octavie s CNG verzí je dražší asi o 6 tisíc Kč, benzínové verze jsou naopak levnější. Cena modelu G-TEC je vůči benzínové verzi vyšší o 15 až 60 tisíc Kč. Sám výrobce uvádí ve svém katalogu propočet návratnosti investice, rentabilita CNG verze se dostaví nejpozději po najetí zhruba 33 tisíc km. [79] Díky těmto faktům je již každá desátá Octavie prodána v provedení na stlačený zemní plyn. [14]



Obr. 5-1 Škoda Octavia G-TEC s pohonnou jednotkou na CNG [56]

Nabídka vozidel je dnes již opravdu rozsáhlá, ať už v oblasti kompaktních minivozů, rodinných minivanů nebo sedanů. Různorodost vozidel na zemní plyn uspokojí většinu uživatelů. Na mezinárodních výstavách automobilů se každý rok prezentuje řada nových modelů. [84]

Jako extrémní případ jde uvést absenci vozidel v oblastech kabrioletů, sportovních vozidel nebo terénních vozů. [94] Avšak je pravdou, že automobilka Volkswagen vyvinula závodní speciál na CNG. Jednalo se o vozidlo Scirocco R-Cup, které mělo propagovat motoristický sport šetrný k životnímu prostředí. Toto upravené Scirocco je poháněno motorem o zdvihovém objemu 2,0 litru a disponuje výkonem 275 hp. Nejedná se ale o běžně prodejný vůz. [53]

Pokud se rozhodneme pro koupi sériového CNG vozu, pak máme největší výběr mezi vozidly nižší střední třídy. Výhodou vozidel spadajících do této kategorie je příznivá cena, která se ve valné většině extrémně neodlišuje od vozů s konvenčními pohonnými jednotkami. Nejoblíbenější je již výše zmíněná Škoda Octavia, vozy této kategorie jsou však zastoupeny i jinými značkami. Za zmínku stojí např. Mercedes-Benz se svým modelem B – Class,



Seat v modelu Leon nebo Golf od Volkswagenu či Audi A3. Návratnost vyšší kupní ceny je pak kolem jednoho roku. [94]

Menší výběr je v kategorii minivozů, výhodu představuje jejich nízká cena. Nejlevnějším vozidlem, které můžeme aktuálně na českém trhu zakoupit, je právě minivůz Seat Mii, jehož cena začíná od 266 900 Kč. Pro některé zákazníky může být nízká cena rozhodující, deset nejlevnějších vozidel na domácím trhu je proto vzestupně seřazeno v tabulce 5-1. [21]

Tab. 5-1 Přehled deseti nejlevnějších vozidel na českém trhu [21]

Model automobilu	Motorizace	Základní cena
Seat Mii	1.0 MPI	266 900 Kč
Škoda Citigo	1.0 MPI	270 200 Kč
Volkswagen Up!	1.0 MPI	285 900 Kč
Fiat Panda	0.9 TwinAir CNG	330 000 Kč
Fiat Qubo	1.4 Natural Power	334 400 Kč
Fiat Punto	1.4 Natural Power	337 000 Kč
Fiat 500L	0.9 TwinAir CNG	398 300 Kč
Fiat 500L Living	0.9 TwinAir CNG	439 900 Kč
Škoda Octavia	1.4 TSI G-TEC	448 900 Kč
Seat Leon ST	1.4 TGI	455 900 Kč

Zákazníci, kteří preferují rodinné vozy typu MPV, mohou uvažovat třeba o Fiatu Dobló Panorama, který je zákazníky této kategorie nejžádanější. Opel Zafira Tourer, Volkswagen Touran a mini MPV Fiat 500L jsou dalšími vozy z téže kategorie, které jsou k dispozici na našem trhu. Reálné rozdíly v kupní ceně CNG a běžné verze jsou v této kategorii o něco vyšší, návratnost investice je něco mezi 2mi až 3mi roky. [94]

Stlačený zemní plyn se pomalu začíná prosazovat do kategorie luxusních vozů. Ve vyšší střední třídě je k dispozici například model Mercedes-Benz E – Class. [94] Na podzim roku 2016 bude k dispozici pro zákazníky této třídy nová Audi A4 Avant g-tron. Audi bude osazena moderními systémy dnešní doby a motorem 2.0 TFSI poskytující výkon 125 kW s maximálním kroutícím momentem 270 N.m. [54]



Obr. 5-2 Audi A4 Avant g-tron s pohonnou jednotkou na CNG [5]



ZÁVĚR

Počátky v dopravě byly spojeny s využíváním plyných paliv pro spalovací motory, kterými byla poháněna silniční vozidla. Spolu s vývojem nových technologií se plyná paliva postupem času dostala na druhou kolej. Výjimkou bylo těžké období válek, kdy nahrazovala nedostatková konvenční paliva. Dnes je však situace jiná a vše nasvědčuje tomu, že naopak plyná paliva nahradí ta běžná, kapalná. Dle odhadu odborníků nynější zásoby ropy, ze které vyrábíme dnešní běžně užívané pohonné hmoty, vydrží asi 40 let. Je jasné, že dominantní motorová nafta a benzín budou muset být nahrazeny. Proto je nejvyšší čas hledat a vyvíjet nové alternativy.

Vozidlo představuje pro většinu obyvatel pohodlný způsob dopravy a přepravy, který je navíc čím dál tím dostupnější široké veřejnosti. Není tak divu, že se jejich počet na Zemi každý rok zvyšuje. S rostoucí dopravou ale narůstají i dopady na životní prostředí. Provoz vozidel znamená emitování řady škodlivých látek do ovzduší. Produkce emisí skleníkových plynů má globální dopady na celou naši planetu. I přes všeobecnou znalost tohoto problému řada obyvatel nehledí na možné následky, které s touto situací souvisí a nečinně přihlíží. Dochází ke změnám klimatu, čím dál tím častěji se pak setkáváme s výkyvy počasí, nad kterými někdy zůstává rozum stát. Celá situace je snad ještě řešitelná, výrobci automobilů vyvíjejí pohonné jednotky, které jsou s každou novou generací čím dál tím víc šetrné k přírodě. Nemají ani jinou možnost, jelikož je těžké plnit stále se zpřísňující emisní limity. Důležitou roli v celé této problematice do budoucna zcela jistě sehraje ještě alternativní pohony, mezi něž řadíme také právě pohon zemním plynem. Zemní plyn je z momentálně nabízených možností využití alternativních pohonů nejmasivněji rozšířený.

Moderní vozidla s pohonnou jednotkou na zemní plyn se začaly na trhu objevovat již v devadesátých letech minulého století. Jejich počet byl ale malý. K masivnějšímu vývoji a rozšíření dochází až posledních pár let, kdy se čím dál tím více prosazují na trhu. Vývoj těchto vozidel není ani zdaleka na svém vrcholu a už dnes přináší řadu výhod. Pro jejich využití hraje několik faktorů. Především nízké provozní náklady a hlavně velmi podstatné snížení množství vypouštěných škodlivin, které vznikají jejich provozem.

Vozy spalující čistě vytěžený zemní plyn jsou pouze mezikrokem k opravdu ekologickým vozidlům. Aby byl provoz maximálně ekologický, je nutné navýšit produkci biometanu, který zajistí maximální využití ekologického potenciálu těchto vozů, hlavně dalším snížením produkce oxidu uhličitého.

V cestě rychlejšímu rozvoji CNG technologií ve vozidlech v České republice stojí dle mého názoru stále relativně nízký počet čerpacích stanic a hlavně nedůvěra lidí v poměrně mladou technologii. Na trhu je podstatně menší výběr mezi nabízenými CNG modely, než je tomu u vozidel, které spalují běžná paliva. I přesto už lze mezi jednotlivými vozy vybírat a vzájemně je porovnávat. Bohužel jsou CNG vozy zpravidla nabízeny pouze v jedné motorizaci. Až se vyřeší některé nešvary a přibudou další výhody, tak bude celá situace určitě vypadat úplně jinak. Možné je i to, že se najde mnohem výhodnější cesta, než je využívání zemního plynu v dopravě.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] A clear conscience thanks to environmentally friendly fuel. *Information about COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) and BIOMETHANE as alternative fuel* [online]. c2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://www.erdgas-mobil.de/cng-as-fuel/environmentally-friendly/>
- [2] Aktuality: Panda Natural Power, užijte si a za méně peněz. *FIAT* [online]. FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES ČR, c2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.fiat.cz/aktuality/detail/74-fiat-panda-je-k-dispozici-ve-ctyrech-novych-verzich%253A-4x4-trekking-natural-power-a-easypower/>
- [3] FRYBERT, Jan. *Alternativní pohony*. 2015. Brno: Integrovaná střední škola automobilní, 2015. ISBN 978-80-260-7548-6.
- [4] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [5] Audi A4 Avant g-tron. *Audi MediaCenter* [online]. 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: https://audimediacentera.akamaihd.net/system/production/media/24588/images/7f33f0ba7c8616c48adcb6468dc789f91953ccbb/A158354_full.jpg?1441806512
- [6] HRABICA, Pavel. Auta na CNG: Jak dojedou daleko? *AutoRevue.cz – Auta, testy, novinky, fotografie* [online]. Serafico investment, 2013 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/auta-na-cng-jak-dojedou-daleko>
- [7] Automobilům na zemní plyn výbuch nehrozí. *CNG Company s.r.o.* [online]. Hředle, c2007-2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: http://www.cngcompany.cz/gallery/cng_adac.pdf
- [8] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily*. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2008. ISBN 978-80-87143-08-7.
- [9] Bezpečnost. *Volkswagen Česká republika* [online]. Volkswagen, c2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: http://www.volkswagen.cz/modely/cng/bezpe_nost
- [10] BioDiesel (FAME). *Skládování a prodej ropných produktů | Čepro a.s.* [online]. Praha, c2011 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://www.ceproas.cz/biodiesel>
- [11] Bionafta končí. Nová daň a levná ropa ji bleskově vytlačily z trhu. VLKOVÁ, Jitka. *IDNES.cz - zprávy, kterým můžete věřit* [online]. 2016 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: http://ekonomika.idnes.cz/konec-biopaliv-v-cesku-06t-/ekonomika.aspx?c=A160113_112954_ekonomika_chrs
- [12] Bosch vyvíjí systém řízení motoru pro provoz na zemní plyn. *BOSCH-Pressforum* [online]. 2005 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=438
- [13] ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. *CNG*. Praha. Dostupné také z: oppa-smad.tf.czu.cz/?q=system/files/10.%20CNG.ppt



- [14] CNG v České republice: pravdy, mýty a aktuální statistiky. *Hybrid.cz* [online]. Chamanne, 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/cng-v-ceske-republice-pravdy-myty-aktualni-statistiky>
- [15] CNG vozidla. *CNG4You* [online]. c2011 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/vozidla.html>
- [16] BLAŽEK, Honza. Co vzít v potaz, když uvažujete o Octavii na CNG? *Nezávislé testy a recenze aut, poradna - BLOG Honza Blažek* [online]. Zbuzany, 2014 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.autoblogger.cz/poradna/skoda-octavia-g-tec-plusy-minusy-octavie-cng/>
- [17] CO2 & Air Quality. *NGVA Europe* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.ngva.eu/co2-and-air-quality>
- [18] Compressed Natural Gas Fueling Stations. *EERE: Alternative Fuels Data Center* [online]. c2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_cng_stations.html
- [19] Cylinder Sticker. *NGV training, CNG fueling station technical consulting services* [online]. Natural Gas Vehicle Institute, c2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.ngvi.com/images/Cylinder_Sticker.jpg
- [20] Daňové zvýhodnění automobilů s pohonem na CNG a LPG. *Šlápní na plyn – Vše o provozu vozidel na CNG a LPG* [online]. abcRedakce.cz, 2013 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/danove-zvyhodneni-automobilu-s-pohonem-na-cng-a-lpg.htm>
- [21] Deset nejlevnějších aut na zemní plyn (CNG). *Vybermiauto.cz - nejlepší pomocník při výběru automobilu* [online]. Economia, 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.vybermiauto.cz/autodata/novinky/deset-nejlevnejsich-aut-na-zemni-plyn-cng>
- [22] Dvoupalivový systém Bosch. *BOSCH-Pressforum* [online]. 2005 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://press.bosch.cz/img/db/obrazky/1-GS-13058.jpg>
- [23] Dvoupalivový vstřikovací systém. In: *BOSCH-Pressforum* [online]. 2013 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://press.bosch.cz/img/db/obrazky/1-GS-19445.jpg>
- [24] Ekologie. *Originální CNG auta* [online]. EUROCNNG, c2012-2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.eurocng.cz/o-cng/ekologie/>
- [25] Ekologie, výkon, bezpečnost. *Aspell* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.aspell.cz/cs/cng/ekologie-vykon-bezpecnost/>
- [26] Ekonomika. *CNG+* [online]. c2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.cngplus.cz/o-cng/ekonomika.html>
- [27] Ekonomika provozu na CNG. *Originální CNG auta* [online]. EUROCNNG, c2012-2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.eurocng.cz/o-cng/ekonomika-provozu-na-cng/>



- [28] SAJDL, Jan. Emise výfukových plynů. *Www.autolexicon.net* [online]. 2011 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu/>
- [29] Emission benefits. *Information about COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) and BIOMETHANE as alternative fuel* [online]. c2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: https://www.erdgas-mobil.de/fileadmin/downloads/Presse/Bilderdownload/Grafiken/Grafik_Emissionbenefits_PRINT.jpg
- [30] EU Policy and Natural Gas Vehicles. *NGVA Europe* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.ngva.eu/eu-policy-and-ngvs>
- [31] FAQ – časté otázky. *MOTOR JIKOV CNG plnicí stanice* [online]. MOTOR JIKOV Group, c2013 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.jikovcng.cz/faq-caste-otazky/#rozdily>
- [32] Fast-Fill CNG Station. *EERE: Alternative Fuels Data Center* [online]. c2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.afdc.energy.gov/fuels/images/fast_fill_popup.jpg
- [33] Fiat's 0.9L TwinAir CNG motor. *Indian Autos Blog - Global Auto News provider from India* [online]. 2013 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://indianautosblog.com/2013/06/fiats-0-9l-twinair-cng-motor-is-the-world-green-engine-of-the-year-2013-80174>
- [34] Greenhouse gas emissions in the overall balance of different fuels. *Information about COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) and BIOMETHANE as alternative fuel* [online]. c2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: https://www.erdgas-mobil.de/typo3temp/fl_realurl_image/grafik-well-to-wheel-4e.jpg
- [35] Heat Values of Various Fuels. *World Nuclear Association* [online]. London, 2010 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx>
- [36] Hluk. *Evropská komise* [online]. 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/environment/basics/health-wellbeing/noise/index_cs.htm
- [37] BANÝR, Jiří a Pavel BENEŠ. *Chemie pro střední školy: obecná, anorganická, organická, analytická, biochemie*. Praha: SPN - pedagogické nakladatelství, 1995. ISBN 80-859-3711-5.
- [38] ŽÁK, Dalibor. Jestli vám záleží na vypouštěných emisích, jezděte na CNG. *AutoRevue.cz – Auta, testy, novinky, fotografie* [online]. 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/jestli-vam-zalezi-na-vypoustenych-emisich-jezdete-na-cng>
- [39] DVOŘÁK, František. Kdo vyzkouší auto na zemní plyn, benzin už nechce. Jezdí se za polovinu. *Auto iDNES.cz - Vše o autech* [online]. MAFRA, 2014 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/pohon-na-zemni-plyn-cng-075-/automoto.aspx?c=A140616_140453_automoto_fdv



- [40] Legislativa. CNG+ [online]. c2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.cngplus.cz/o-cng/legislativa.html>
- [41] LNG nádrž pro vozidla. *Suzhou Long-Range Cryogenic & Insulation Materials CO., LTD* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://longrange.com.cn/en/Images/SO2.jpg>
- [42] LPG/CNG zapalovací svíčky. *NGK Spark Plug Europe* [online]. c2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://www.ngk.de/cz/produkty-a-technologie/zapalovaci-svicky/technologie-zapalovacich-svicek/lpgcng-zapalovaci-svicky/>
- [43] PIELLISCH, Rich. Luxfer G-Stor Go Type IV CNG cylinder. *Fleets and Fuels.com* [online]. 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.fleetsandfuels.com/wp-content/uploads/LuxferG-StorGoTypeIV-675.jpg>
- [44] Mapa CNG stanic. CNG+ [online]. c2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.cngplus.cz/mapa-cng-stanic.html>
- [45] Mýty a fakta o CNG: 10 nejčastějších omylů. *Hybrid.cz* [online]. Chamanne, 2013 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/myty-fakta-o-cng-10-nejcastejsich-omylu>
- [46] Naše produkty. *Česká rafinérská, a.s.* [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.crc.cz/cz/motorova-nafta.aspx>
- [47] Natural gas filling stations – An extensive network. *Information about COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) and BIOMETHANE as alternative fuel* [online]. c2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://www.erdgas-mobil.de/cng-as-fuel/available/>
- [48] Natural Gas Vehicle Maintenance and Safety. *EERE: Alternative Fuels Data Center* [online]. 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: http://www.afdc.energy.gov/vehicles/natural_gas_maintenance_safety.html
- [49] Natural Gas Vehicles: Why Aren't We Buying Them? *Compare Car Insurance Quotes - Auto Insurance Comparison* [online]. c2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.compare.com/auto-insurance/guides/natural-gas-vehicles-guide>
- [50] HARRIS, William. Natural-gas Vehicle Design - How Natural - gas Vehicle Work. *HowStuffWorks - Learn How Everything Works!* [online]. c1998-2016 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/alternative-fuels/ngv3.htm>
- [51] NCAP crash test of the Opel Zafira CNG. *Information about COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) and BIOMETHANE as alternative fuel* [online]. c2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: https://www.erdgas-mobil.de/typo3temp/fl_realurl_image/sicherheit-erdgasfahrzeuge-1-29.jpg



- [52] NGK Spark Plugs. *AliExpress.com* [online]. 2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://g01.a.alicdn.com/kf/HTB1o0n7GXXXXXahXXXXq6xXFXXX5/221524818/HTB1o0n7GXXXXXahXXXXq6xXFXXX5.jpg?size=110499&height=750&width=750&hash=a599612f0c9d618bd06ef9c56665252e>
- [53] VW Scirocco R-Cup, the world cleanest motorsports race on Bio-CNG... NGVA - *Zemní plyn a biometan v dopravě* [online]. České Budějovice: Asociace NGV, 2010 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.ngva.cz/ngva-europe/15-eco-conscious-economical-sporty-ngva-europe-members-are-partners-of-the-vw-scirocco-r-cup-the-world-cleanest-motorsports-race-on-bio-cng.html>
- [54] HORČÍK, Jan. Nové Audi A4 Avant g-tron s pohonem na CNG. *Hybrid.cz* [online]. Chamanne, 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nove-audi-a4-avant-g-tron-s-pohonem-na-cng>
- [55] Nové garáže už umožňují vjezd CNG vozidel. *Hybrid.cz* [online]. Chamanne, 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nove-garaze-uz-umoznuji-vjezd-cng-vozidel>
- [56] Octavia G-TEC. *Autonetparts.gr* [online]. c2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://content-mcdn.caranddriver.gr/filesystem/images/20141021/low/wheels_LARGE_t_77761_271071.JPG
- [57] Originál nebo přestavba. *CNG Company s.r.o.* [online]. Hředle, c2007-2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: http://www.cngcompany.cz/113-original_nebo_prestavba
- [58] Osm doplňků od Bosch, díky kterým jsou nová vozidla úspornější. *BOSCH-Pressforum* [online]. 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=1184
- [59] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6461-5.
- [60] Plnění vozidel, CNG Card System. *CNG* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/plneni-vozidel-placeni-cng/>
- [61] Plnicí zařízení a plnicí stanice. *CNG* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/plnici-zatizeni-plnici-stanice/>
- [62] VOLKSWAGEN AG. *Pohon na zemní plyn EcoFuel ve spojení s motorem 1,4 l 110 kW TSI*. Wolfsburg, 2009. Dostupné také z: http://forum.cngklub.cz/down/281746931-uid16339-SSP425_cz.pdf
- [63] Pochyby o ekologickém přínosu CNG jsou zcestné. *MOTOR JIKOV CNG plnicí stanice* [online]. MOTOR JIKOV Group, c2013 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.jikovcng.cz/tiskove-zpravy/ekologicky-prinos-cng/>
- [64] Proč jezdit na CNG. *FIAT* [online]. FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES ČR, c2015 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.fiat.cz/cng/proc+jezdit+na+cng/>



- [65] Produkce ethanolu. *Thermal Fluid Systems, Process Heaters, Hot Oil Heaters and Heat Transfer Systems - Heat Exchange and Transfer* [online]. c2010 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.heat-inc.com/Heating_Industry_Applications/ManufacturingEthanol.html
- [66] ŠMERDA, Tomáš, Jiří ČUPERA a Pavel NOVÁK. Provoz traktorového motoru na CNG nebo bioplyn. *Biom.cz* [online]. 2011 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/provoz-traktoroveho-motoru-na-cng-nebo-bioplyn>
- [67] HOREJŠ, Karel a Vladimír MOTEJL. *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů*. Vyd. 4. Brno: Littera, 2009. Technické novinky. ISBN 978-80-85763-52-2.
- [68] ŠKODA AUTO, HZS ČESKÉ REPUBLIKY [HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ČESKÉ REPUBLIKY]. *Příručka pro záchranáře - zachraňování a vyprošťování z havarovaných vozidel ŠKODA*. 2013. Dostupné také z: <http://www.skoda-auto.cz/shared/SiteCollectionDocuments/download/rescue-data/cs/rescue-brochure.pdf>
- [69] Range with 10 Euro. *Information about COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) and BIOMETHANE as alternative fuel* [online]. c2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: https://www.erdgas-mobil.de/fileadmin/downloads/Presse/Bilderdownload/Grafiken/10_Euro_im_Tank_Rei chweite_englisch_CMYK.jpg
- [70] Ready for tomorrow, today. *Information about COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) and BIOMETHANE as alternative fuel* [online]. c2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://www.erdgas-mobil.de/cng-as-fuel/sustainable/>
- [71] KÁLAL, Jan. Řepka olejka. *Echo24.cz - Názorový deník* [online]. 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://echo24.cz/img/552687dee4b00e0c8b1b0c6a>
- [72] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů*. Dostupné také z: <http://www.tzb-info.cz/download.py?file=docu/predpisy/download/D28-2009.pdf>
- [73] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburátory, vstřikování paliva a optimalizace parametrů motoru*. Vyd. 3. Brno: Computer Press, 2009. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 978-80-251-2545-8.
- [74] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [75] ŽÁK, Dalibor. Speciál o spotřebě paliva - vše, co musíte vědět. *Magazín o autech | Autoweb.cz* [online]. Praha: Media Marketing Services a. s., 2013 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.autoweb.cz/special-o-spotrebe-paliva-vse-co-musite-vedet/>
- [76] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.



- [77] Spotřeba CNG rostla o 50 %, aut je přes 13 000. *Hybrid.cz* [online]. Chamanne, 2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/spotreba-cng-se-mezirocne-zvysila-temer-o-50-aut-je-pres-13-000>
- [78] Stanice pro pomalé plnění. *CNG* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/technologie-stanic-375/>
- [79] ŠKODA AUTO. *ŠKODA OCTAVIA G-TEC*. Dostupné také z: <http://www.skoda-auto.cz/SiteCollectionDocuments/skoda-auto/modely/octavia-g-tec/octavia-g-tec-brozura.pdf>
- [80] CHAMILLA, Ondřej. Škoda Octavia G-Tec na CNG: Vyplatí se? *Auto.cz - nejlepší jízda na webu: recenze, videa, testy* [online]. 2014 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/skoda-octavia-g-tec-na-cng-vyplati-se-81245>
- [81] Technologie bioplynových stanic. *Sigmat Olomouc, průmyslová čerpadla, hydročističe, elektromotory* [online]. Olomouc, c2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.sigmat.cz/sortiment/technologie-pro-bioplynovy-stanice>
- [82] TRNKA, Luboš. Technologie CNG v silničních vozidlech. *Technický týdeník* [online]. TUV SÜD Czech, 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/technologie-cn-g-v-silnicnich-vozidlech_30714.html
- [83] TECHNOLOGIE PLNĚNÍ A PLNICÍ STANICE. *MOTOR JIKOV CNG plnicí stanice* [online]. MOTOR JIKOV Group, c2013 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.jikovcng.cz/o-cng/technologie-plneni-a-plnici-stanice/>
- [84] The range of natural gas vehicles is extensive. *Information about COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) and BIOMETHANE as alternative fuel* [online]. c2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://www.erdgas-mobil.de/cng-as-fuel/versatile/>
- [85] Time-Fill CNG Station. *EERE: Alternative Fuels Data Center* [online]. c2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.afdc.energy.gov/fuels/images/time_fill_popup.jpg
- [86] Total energy demand by source. *NGVA Europe* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.ngva.eu/images/Pictures_new_website/energy_source_mode.jpg
- [87] VOLKSWAGEN AG. *Touran a Caddy EcoFuel - pohon zemním plynem*. Wolfsburg, 2006. Dostupné také z: http://forum.cngklub.cz/down/SSP373_Touran_Caddy_Ecofuel_cng_cz.pdf
- [88] JILEK, Petr a Jan POKORNÝ. *Úvod do spalovacích motorů*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-743-8.
- [89] V Česku je 111 veřejných CNG stanic. *Hybrid.cz* [online]. Chamanne, 2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/v-cesku-je-111-verejnych-cng-stanic>



- [90] Vliv emisí na zdraví (NOx, PM a další). *Hluk & Emise* [online]. c2007 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/emise/vliv-emisi-na-zdravi/#>
- [91] VACULÍK, Martin. Vodík v autě - Zázrak, nebo dokonalé placebo? *Auto.cz - nejlepší jízda na webu: recenze, videa, testy* [online]. 2013 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/vodik-aute-zazrak-dokonale-placebo-72642>
- [92] Volkswagen Golf TGI. *Volkswagen Česká republika* [online]. Volkswagen, c2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.volkswagen.cz/media/Basic_ImageEnlarge_EnlargeTag_Component/20261-93039-image-linkTag-child/default/4f40bf34607ec8f01fdc363811a25d9b/1454594867/golf3.jpg
- [93] Vozidla poháněná plynem: CNG není LPG. *BOSCH-Pressforum* [online]. 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=1209
- [94] Vozy na CNG jsou již k dispozici ve většině tříd. *Hybrid.cz* [online]. Chamanne, 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/vozy-na-cng-jsou-jiz-k-dispozici-ve-vetsine-trid>
- [95] Vstříkovací systémy Bosch pro alternativní paliva. *BOSCH-Pressforum* [online]. 2009 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=813
- [96] Vstříkovač zemního plynu typu NGI-2. *BOSCH-Pressforum* [online]. 2011 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/img/db/obrazky/1-GS-17854_IAA_Kraftstoffe_1_NG.jpg
- [97] Výhody CNG. *CNG* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/vyhody-cng/>
- [98] Výhody CNG. *CNG4You* [online]. c2011 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/vyhody-cng.html>
- [99] Výchřevnost. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 2014 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDh%C5%99evnost>
- [100] Výchřevnost paliv. *EKOBIOENERGO* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://ekobioenergo.cz/5-obnovitelne-zdroje/28-vyhrevnost-paliv.html>
- [101] Zakarbonizovaný ventil. GRAY, Allan. *Sunshine Coast Daily* [online]. 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: https://media.apnarm.net.au/img/media/images/2015/09/29/carbon-valve1-nhmw2a4fssvwu8rxk2_ct300x225.jpg
- [102] Zákaznická karta CNG Card Centrum. *CNG4You* [online]. c2011 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/stanice/zakaznicka-karta-cng-card-centrum.html>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CaČ	cetanové číslo
CFPP	teplota filtrovatelnosti
CNG	stlačený zemní plyn
CP	teplota vylučování parafínů
E85	85% bioethanol
E95	95% bioethanol
ETBE	etyltercbutyléter
LNG	zkapalněný zemní plyn
LPG	zkapalněné uhlovodíkové plyny
MEŘO	metylester řepkového oleje
OČ	oktanové číslo
PIN	osobní bezpečnostní kód
TSI	označení přeplňovaného benzínového motoru s technologií přímého vstřiku paliva
TÜV	technické kontrolní sdružení