



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

ENVIRONMENTÁLNÍ ASPEKTY PROVOZU VOZŮ NA CNG

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF CNG VEHICLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Raiskup

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vopařil

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Martin Raiskup
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jan Vopařil
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:

Environmentální aspekty provozu vozů na CNG

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce rešeršního charakteru popisující stlačený zemní plyn jakožto palivo pístových spalovacích motorů se zaměřením na jeho využití v osobních automobilech. V úvahu jsou brány aspekty využití paliva v širším pojetí, tzn. včetně analýzy tzv. od zdroje ke kolům (Well to Wheels Analysis).

Cíle bakalářské práce:

1. Popis CNG jako paliva pro pístové spalovací motory
2. Dopady spalování CNG ve vozidlech na životní prostředí
3. Porovnání CNG s dominantními palivy na trhu

Seznam literatury:

Kolektiv VÚNM a ČKD. Naftové motory čtyřdobé - 1 díl. 2. Vyd. Praha: státní nakladatelství technické literatury, 1962. 541 s. L123-b3-iv-41/2490

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

KAMEŠ, J. Alternativní pohony automobilů. 1. Vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2008. 232 s. ISBN 978-80-7300-127-8.

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

Tato bakalářská práce je zaměřená na téma environmentální aspekty provozu vozů na CNG. Nejprve je představen zemní plyn jako palivo pro spalovací motory. Jsou zhodnoceny jeho výhody a nevýhody. Dále jsou popsány jednotlivé spalovací systémy a komponenty motoru na stlačený zemní plyn. Hlavní část práce je zaměřená na ekologii. Je popsán vliv na životní prostředí u spalování stlačeného zemního plynu v porovnání s konvenčními palivy. Toto porovnání je provedeno také podle objektivnější Well to Wheels analýzy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Alternativní palivo, stlačený zemní plyn, CNG, emise, well to wheels

ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on matter of environmental aspects of cars powered by CNG. At first natural gas is introduced as a fuel for combustion engines. In the next step pros and cons are evaluated. Then there are described individual combustion systems and components of engine powered by natural gas. The main part of this thesis is focused on ecology. There is mentioned the impact on environment, comparing the impact of natural gas with other conventional fuels. This comparison is realised through the more objective Well to Wheels analysis as well.

KEYWORDS

Alternative fuel, compressed natural gas, CNG, emissions, well to wheels



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RAISKUP, M. *Environmentální aspekty provozu vozů na CNG*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vopařil.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 20. května 2016

.....

Jméno a přímení



PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Vopařilovi za cenné rady a věcné připomínky. Chtěl bych také poděkovat mým rodičům za to, že mi umožnili studovat na vysoké škole.



OBSAH

Úvod	8
1 Alternativní pohony	9
1.1 Důvody pro alternativní pohony	9
1.2 Druhy alternativních pohonů	10
2 Zemní plyn.....	13
2.1 Historie pohonu na plyn.....	13
2.2 Vlastnosti zemního plynu	14
2.2.1 Wobbeho index.....	15
2.3 Získávání a uchování plynu	15
2.4 Výhody a nevýhody CNG.....	16
2.4.1 Ekologie.....	16
2.4.2 Ekonomika.....	16
2.4.3 Bezpečnost.....	17
2.4.4 Infrastruktura	18
2.4.5 Komfort	19
3 Popis motoru.....	20
3.1 Spalovací motor	20
3.2 Motor spalující CNG	20
3.2.1 Pohon čistě na CNG	21
3.2.2 Dieselgas.....	21
3.2.3 Bi-fuel.....	22
3.2.4 HCNG.....	22
3.3 Komponenty CNG pohonu	23
3.4 Palivové systémy	25
3.5 Úprava vozidla na CNG.....	27
4 Vliv na životní prostředí.....	28
4.1 Emise	28
4.1.1 Oxid uhličitý.....	28
4.1.2 Oxid uhelnatý	29
4.1.3 Uhlovodíky	29
4.1.4 Oxidy dusíku	29
4.1.5 Oxid siřičitý.....	30
4.1.6 Pevné částice.....	30
4.2 Emisní limity.....	31
4.3 Dopady.....	31



4.4	Spalování CNG	32
4.5	Mikročástice.....	33
4.6	Komponenty pro snížení emisí	34
5	Well to wheels	36
5.1	Co to znamená well to wheels	36
5.2	Srovnání CNG a konvenční paliva	36
6	Srovnání technických údajů Škoda Octavia	40
	Závěr.....	41
	Seznam použitých zkratk a symbolů	45



ÚVOD

V dnešní době, době globalizace, je doprava velmi důležitou částí průmyslu. Mezi rozšířené způsoby přepravy patří železniční, námořní a letecká doprava. Mezi nejrozšířenější a nej pohodlnější způsob dopravy se řadí doprava silniční. Ve většině vyspělých zemí silniční doprava tvoří majoritní podíl v nákladní dopravě, zejména ve vnitrostátní. U osobní dopravy je tento podíl ještě větší, v některých státech EU dosahuje až 80%. Silniční doprava má řadu výhod jako je například flexibilita, pohodlnost, univerzálnost, úspora času a také hustá síť komunikací. Tento typ dopravy má ale také spoustu nevýhod. Tyto nevýhody se projevují zejména v posledních desetiletích, kdy prudce roste počet automobilů. Nebude dlouho trvat a například v USA připadne na jednoho obyvatele jedno vozidlo. Z toho, kromě jiného, plyne nevýhoda největší – negativní vliv na životní prostředí.

Jednou z cest, jak u dopravy snížit tento negativní vliv na životní prostředí, je hledání nových alternativních pohonů. V bakalářské práci se zabývám jedním z těchto alternativních pohonů, a to stlačeným zemním plynem (compressed natural gas – CNG). Toto palivo má velký potenciál alespoň z části nahradit konvenční paliva benzín a naftu. Oproti konvenčním palivům má dvě hlavní výhody – je šetrnější k životnímu prostředí a je levnější než benzín nebo nafta.

V této práci jsou popsány vlastnosti zemního plynu, komponenty vozidel na stlačený zemní plyn včetně různých typů palivových systémů. Cílem práce je posouzení dopadů na životní prostředí při spalování stlačeného zemního plynu a porovnání škodlivosti s konvenčními palivy.

.

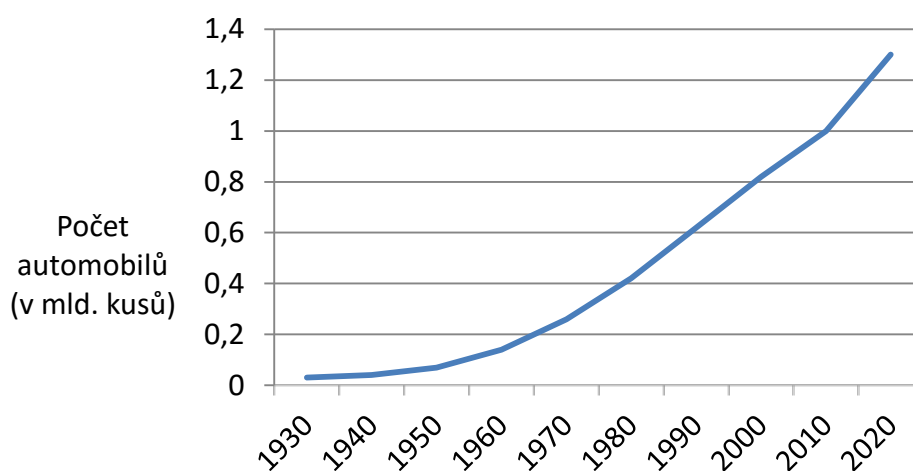


1 ALTERNATIVNÍ POHONY

1.1 DŮVODY PRO ALTERNATIVNÍ POHONY

Proč se vůbec zajímat o alternativní pohony vozidel? Především proto, že počet automobilů ve světě neustále roste a s tím rostou i problémy se stále více znečištěným životním prostředím. Naopak světové zásoby ropy se neustále zmenšují.

V roce 1970 bylo na světě okolo 250 milionů vozidel. Za 16 let se toto číslo zdvojnásobilo. Absolutní počet motorových vozidel sice přesně určit nelze, ale dle odhadů během roku 2010 překročil hranici 1 miliardy registrovaných vozidel. V roce 2015 to bylo přes 1,2 miliardy. Dle hypotéz by hranice 2 miliard mohla být překročena někdy mezi lety 2035 až 2040. V takovém případě by na světě připadalo v průměru na jeden automobil méně než čtyři osoby. [3]



Obrázek 1.1 - Počet automobilů na světě (miliardy) [3]

Zatím co se počet vozidel rozrůstá, zásoby ropy se tenčí. Ropa neslouží jenom jako palivo, ale je důležitou součástí chemického průmyslu. V současnosti jsou odhadované zásoby ropy okolo 1600 miliard barelů. Tento odhad není úplně přesný. Pomocí dnešních technologií se ještě všechna ložiska nedají nalézt a některé státy také o svých zásobách ropy neuvádí ze strategických důvodů přesné informace. Denní spotřeba ropy se blíží 90 milionům barelů. To by při stávajících zásobách a spotřebě vydrželo na 48 let. Zásoby ropy jsou velkým problémem, ale mají řešení v podobě využívání obnovitelných zdrojů. [4]

Druhým problémem, ještě větším než zásoby ropy, je nárůst škodlivých emisí výfuků. Jednotlivé státy i celosvětové organizace se pomocí mezinárodních smluv snaží emise snižovat. Již v roce 1997 byl sepsán Kjótský protokol, který zavazoval ke snížení emisí, ovšem Čína a Spojené státy ho odmítly podepsat. Vzhledem k tomu, že tyto dva státy jsou dvěma největšími znečišťovateli, výsledky jsou spíš zklamáním.



V Evropské unii platí v automobilovém průmyslu emisní normy EURO. Od roku 2015 je nyní v platnosti norma EURO 6, která omezuje povolené množství vypouštěných škodlivin u nových automobilů. Nejčastěji zmiňovanou škodlivinou je oxid uhličitý – CO₂ a to kvůli tomu, že způsobuje tzv. skleníkový efekt, který vede především k oteplování zemského klimatu. CO₂ je někdy chybně zaměňován s emisemi výfukových plynů. To není přesné, protože CO₂ je pouze jednou z mnoha škodlivých složek v emisích. Další škodlivé látky jsou například oxid uhelnatý, oxidy dusíků, pevné částice.



Obrázek 1.2 - Smog v Pekingu [5]

Docházející zásoby ropy, narůstající počet automobilů a ochrana životního prostředí. Toto jsou tři základní důvody, které by společnost měly motivovat objevovat nové a vylepšovat stávající alternativní pohony.

1.2 DRUHY ALTERNATIVNÍCH POHONŮ

Alternativními pohony nazýváme ty typy pohonů, kde jako palivo neslouží benzin nebo nafta.

[1] Mezi známé alternativní pohony s potenciálem pro větší využívání se považují zejména:

- zkapalněné ropné rafinerské plyny (LPG),
- stlačený zemní plyn (CNG) a zkapalněný zemní plyn (LNG),
- bionafta,
- bioethanol,
- vodík,
- elektrický proud.

ZKAPALNĚNÝ PLYN

LPG (Liquefied Petroleum Gas) se získává v rafineriích současně se zpracováním ropy nebo úpravou při těžbě zemního plynu. Tato směs propanu a butanu je nejvíce rozšířená alternativní palivo. V České republice na LPG již jezdí přes 200 000 vozidel. [6] LPG vozidla se dají koupit přímo od výrobce nebo jsou specializované firmy, které provádí přestavby vozidel se stávajícími benzinovými/naftovými motory. Ceny přestavby začínají na 20 000 Kč. Po přestavbě se jízdní vlastnosti výrazně nezmění. Mírně se zvedne spotřeba, ale při průměrné ceně LPG 13 Kč/l, jsou náklady na pohonné hmoty o 50 % nižší než u benzínu. Spalováním LPG snížíme množství škodlivin, avšak ne tolik jako u CNG.



ZEMNÍ PLYN

CNG (Compressed Natural Gas) neboli stlačený zemní plyn. Jedná se o běžný plyn, který je v domácnostech používán k topení. Pro použití jako palivo je potřeba jej stlačit na 20 MPa. Jeho hlavní složkou, až 90 %, je metan. Metan má nejlepší poměr uhlíku s vodíkem – 1:4, takže tvoří méně karcinogenních uhlovodíků. Odtud plyne to, že patří mezi nejméně škodlivá paliva. Kromě toho, že je šetrný k životnímu prostředí, jeho další výhodou je nízká cena. Díky minimální spotřební dani lze jezdit za 1 – 1,30 Kč/km.

LNG (Liquefied Natural Gas) je zkapalněný zemní plyn. Jedná se o stejnou směs. Rozdíl spočívá ve způsobu skladování. Zatímco CNG se skladuje v nádobách pod tlakem 20 MPa, LNG se skladuje v nádobách podchlazených na -162 °C. Různý je také způsob dopravy. CNG se dopravuje potrubím, což je lepší na menší vzdálenosti. LNG se dopravuje v izolovaných nádržích i na velké vzdálenosti. Výhodou oproti CNG je i to, že zabírá třetinový objem. To znamená, že s nádrží o stejném objemu urazí téměř trojnásobnou vzdálenost.

BIONAFTA

Je palivo získávané rostlinným původem, nejčastěji z řepky olejky. Látka získaná z těchto plodin, která tvoří základ tohoto paliva, se nazývá metylester. Avšak výroba metylesteru je nákladnější než výroba nafty. Z tohoto důvodu se nafta a metylester mísí. Výsledkem je kvalitní palivo s menší škodlivostí. Při určitých poměrech není potřeba upravovat motor. V ČR je dokonce povolen k normální motorové naftě přimíchávat podíl bionafty až do 6 %. Nevýhodou bionafty je kromě krátké doby skladování také to, že při její výrobě vzniká velké množství skleníkových plynů.

BIOETHANOL

Samotný bioethanol se moc nevyskytuje, u nás můžeme narazit na jeho směs s benzinem. Tato směs se nazývá E85 a tvoří ji bioethanol z 85 % a natural 95 z 15 %. Pro provoz vozidla na toto palivo je potřeba motor upravit. Po úpravě naroste výkon, ale i spotřeba. Jeho výhodou je nižší cena, díky osvobození od daně jako u CNG a také šetrnost k životnímu prostředí. Emise oxidu uhličitého při provozu klesnou až o 70 %, ale při jeho celkové produkci v konečném důsledku vznikne víc CO₂ než při spalování nafty. V ČR toto palivo moc rozšířeno není.

VODÍK

Toto palivo patří spíš do budoucnosti než přítomnosti. Na rozdíl od biopaliv nebo zemního plynu je jeho éra teprve v začátcích. Jedná se o velmi čisté palivo, při jeho spalování vzniká jen vodní pára a malé množství oxidů dusíku. Vodík se získává elektrolýzou nebo termickým rozkladem. Tato výroba je v dnešní době nákladná, proto se uvažuje o trochu jiném využití vodíku a to v podobě palivových článků. Auto pohaní elektromotor a elektřina do něj se vyrábí elektrochemickou reakcí samotného vodíku. Oproti klasickým akumulátorům elektromotorů mají tyto články vyšší dojezd a nezatěžují prostředí těžkými kovy.



ELEKTRICKÝ PROUD

V automobilu je elektromotor, který je poháněn elektrickou energií z akumulátoru. Největší problém je zde s kapacitou akumulátoru, kdy tento pohon zatím nedosahuje takových dojezdových vzdáleností jako u spalovacích motorů. Průměrný dojezd elektromobilů je maximálně 200 km. Je zde také vyšší pořizovací cena. Elektromotor při provozu neprodukuje žádné škodlivé plyny, ovšem při započítání i emisí z výroby elektrické energie je celková produkce škodlivých látek u stejného typu vozu oproti konvenčnímu pohonu zhruba stejná. Velkou revoluci v oblasti elektromobilů způsobil Elon Musk, který v roce 2012 uvedl na trh unikátní vozidlo – Tesla Model S. Toto vozidlo vybavené dvěma elektromotory o výkonu až 700 koní, se zrychlením 0 – 100 km pod 3 vteřiny a dojezdem necelých 500 km změnilo vnímání elektromobilů jako pouze malých městských vozidel. [7]



Obrázek 1.3 - Elektromobil Tesla model S [7]

Která paliva si dokážou na automobilovém trhu najít svůj prostor, ukáže až čas. V této práci je rozebrán jen jeden z těchto alternativních pohonů – stlačený zemní plyn. Dle mého názoru má největší šanci na masové rozšíření, kdy do 20 let by podíl motorů spalujících zemní plyn na trhu mohl být více jak 10%. Pro představu, i kdyby v Evropě podíl vozidel na zemní plyn dosáhl 5 %, znamenalo by to zvýšení celkové spotřeby plynu pouze o 2,5 %. [8] Z toho plyne, že by v Evropě nedošlo k žádné dramatické změně ve spotřebě plynu, a tak by nebylo potřeba žádných významných úprav plynárenských sítí.

2 ZEMNÍ PLYN

2.1 HISTORIE POHONU NA PLYN

Počátky experimentů se spalovacími motory na plyn se datují do roku 1777, kdy italský fyzik Alessandro Volta sestavuje pistol, ve které jako výbušnou směs využívá bahenní plyn a vzduch. Tento vynález můžeme považovat jako předchůdce spalovacího motoru. Na Voltu navazuje o 30 let později francouzsko-švýcarský vynálezce Isaac de Rivaz a na principu jeho pistole sestavuje v roce 1807 první provozuschopný vůz. Tento vůz byl poháněn jednoválcovým plynovým pohonem. Palivem byl svítiplyn, který se elektricky zapaloval. Rivaz na tento objev získal patent, avšak jeho motor nebyl nějak víc komerčně úspěšný. [1]

V první polovině 19. století se o sestavení spolehlivého a prakticky využitelného stroje pokoušela celá řada vynálezců. Největších úspěchů dosáhl francouzský vynálezce belgického původu Jean Joseph Étienne Lenoir, který jeho motor dotáhl do takového stavu, že jej bylo možné prakticky využít. Jednalo se o dvojčinný plynový motor poháněný svítiplynnem dosahující rychlosti 6 km/h, který představil v roce 1863 v Paříži. Kromě svítiplynu se používaly i další pohonné hmoty. V roce 1872 se poprvé v Ottově motoru použil jako palivo zemní plyn – metan. Později se více používaly jako pohonné hmoty benzin a nafta, které se v té době zdály být výhodnější. Proto se taky na přelomu 18. a 19. století vývoj motorů na plyn dostal na vedlejší kolej a začaly se preferovat motory, kde jako hlavní palivo sloužil právě benzin a nafta. [1] [9]



Obrázek 2.1 - Vozidlo na plyn, Londýn, 1943 [10]

Návrat vozidel na plynový pohon se uskutečnil až během světových válek kvůli nedostatku kapalných pohonných hmot. Dalšímu rozvoji automobilů na plyn přispěla i možnost výroby kvalitnějších a lehčích tlakových láhví pro nádrže. Již v této době se ukazovalo, že užívání plynu je levnější a taky ekologičtější. Plyn nesloužil jako pohonná hmota pouze u osobních



automobilů, ale také u nákladních a u hromadné dopravy. Jako první s využitím svítiplynu v automobilové dopravě přišla v 30. letech v Britanii společnost Belliss and Morcom, která pomocí stlačeného svítiplynu v tlakových láhvích poháněla autobusy. Následovaly dopravní společnosti v Německu, Francii a dalších zemích. Po druhé světové válce ovšem došlo opět k odsunu plynových pohonů do pozadí. K jejich dalšímu rozvoji dochází postupem času až v průběhu 80. a 90. let, kdy se společnost snaží vymyslet alternativu za ropu, především z důvodu ekologie. [1] [10]

2.2 VLASTNOSTI ZEMNÍHO PLYNU

Zemní plyn se skládá z metanu, dusíku, oxidu uhličitého a vyšších uhlovodíků. Hlavní složkou zemního plynu je čistý metan (CH_4). Ten se zde vyskytuje až do 90%, v ČR dokonce až do 98%. Metan je nejjednodušší uhlovodík, za pokojové teploty bez barvy a zápachu. Je to hořlavý, se vzduchem výbušný plyn. Výbušnou směs se vzduchem tvoří pouze v koncentračním poměru 5 – 15%. Metan se kromě zemního plynu nachází také v ropě nebo v uhelných ložiscích. Část metanu pochází z produkce živých organismů. Další složky jako vyšší uhlovodíky, dusík a oxid uhličitý se vyskytují v řádu desetin až jednotek procent.

Skupenství, barva, zápach		plynné, bezbarvý, bez zápachu	
Teplota	tání	-182,5	°C
	varu	-161,6	°C
Meze výbušnosti	horní	15	%
	dolní	4,4	%
Hustota		0,7138	kg.m ⁻³ při 0°C a 101,325 kPa
Teplota vznícení výbušné atmosféry		537	°C
Max. výbušný tlak		0,68	MPa
Min. zápalná energie		0,28	mJ při 8,5 % obj. CH_4 ve vzduchu
Max. spalovací rychlost		0,338	m.s ⁻¹
Spalné teplo		39,858	MJ.m ⁻³
Výhřevné teplo		35,923	MJ.m ⁻³
Adiabatická teplota spalování		2055	°C
Teoretická spotřeba vzduchu		9,52	m ³ .m ⁻³
Oktanové číslo v.m.		128	

Obrázek 2.2 - Vlastnosti CNG [11]



2.2.1 WOBBEHO INDEX

Zemní plyn těžený na různých místech nemá stejné chemické složení. Z toho plynou rozdíly v obsahu energie, spalovacích vlastnostech a podílu nečistot. Energetický obsah závisí na kalorické hodnotě plynu. Kalorická hodnota klesá s vyšším obsahem dusíku. Energetická hodnota se porovnává podle spalného tepla a výhřevnosti. Výhřevnost udává množství tepla uvolněné spálením určitého množství paliva. Veličinu výhřevnost dnes u plynů nahrazuje spalné teplo. To udává množství tepla uvolněné dokonalým spálením určitého množství paliva i s výparným teplem (bez zkondenzované vody). Spalné teplo se stanovuje dle vzorce

$$\Delta H^\circ = \frac{Q_s}{m}$$

kde H° je spalné teplo, Q_s uvolněné teplo, m hmotnost.

U plyných paliv se používá místo jednotky KJ/kg, jednotka KJ/m³. Hodnoty spalných tepel zemního plynu se v závislosti původu pohybují od 35000 KJ/m³ do 45000 KJ/m³.

Spalovací vlastnosti jsou popsány Wobbeho číslem. Plyny, které mají stejné Wobbe číslo, při spálení vytvoří stejné množství tepla. Wobbeho číslo se stanovuje dle vzorce

$$W_s = \frac{\Delta H^\circ}{\sqrt{\rho}}$$

kde W_s je Wobbeho číslo, H° je spalné teplo, ρ je poměrná hustota.

Spalované plyny v určitém zařízení by měly mít podobné Wobbeho číslo. Pokud by toto číslo bylo hodně rozdílné, hrozí poškození zařízení. Plyn se upravuje v mísících stanicích, aby se ke konečnému odběrateli dostával vždy ve stejné kvalitě a se stejným Wobbeho číslem. [12]

2.3 ZÍSKÁVÁNÍ A UCHOVÁNÍ PLYNU

Zemní plyn byl vytvořen rozpadem pozůstatků prehistorických rostlin a živočichů. Těží se hloubkovými vrty, které jsou na souši i pod mořským dnem. Před distribucí je nutné plyn vyčistit. Druhou možností je výroba plynu z biomasy. Vzhledem k tomu, že zemní plyn je lehčí než vzduch, tak se při úniku rychle rozptýlí do atmosféry a nehrozí výbuch. To je taky důvod, proč vozidla na CNG mají povolený vjezd do některých podzemních garáží na rozdíl třeba od LPG, které se skládá z propanu a butanu, což je těžší než vzduch a usazuje se na podlaze. Převazuje se v potrubí. Zemní plyn se uchovává v atestovaných tlakových nádržích vyrobených z oceli, hliníku nebo kompozitu, které vydrží desítky let. Nádoby musí být chráněny před sálavým teplem. U tlakových lahví jsou od výrobce po určitých intervalech předepsané kontroly těsnosti. Ve vozidlech je zemní plyn v nádrži stlačen na tlak 200 bar.



2.4 VÝHODY A NEVÝHODY CNG

Spalování stlačeného zemního plynu má oproti spalování benzínu a nafty mnoho ekologických výhod. Motory na zemní plyn nabízejí také značné množství technických i ekonomických přínosů. Ovšem najdeme zde i několik nevýhod.

Výhody

- Ekologie
- Ekonomika
- Bezpečnost
- Distribuce
- Snížení hluku

Nevýhody

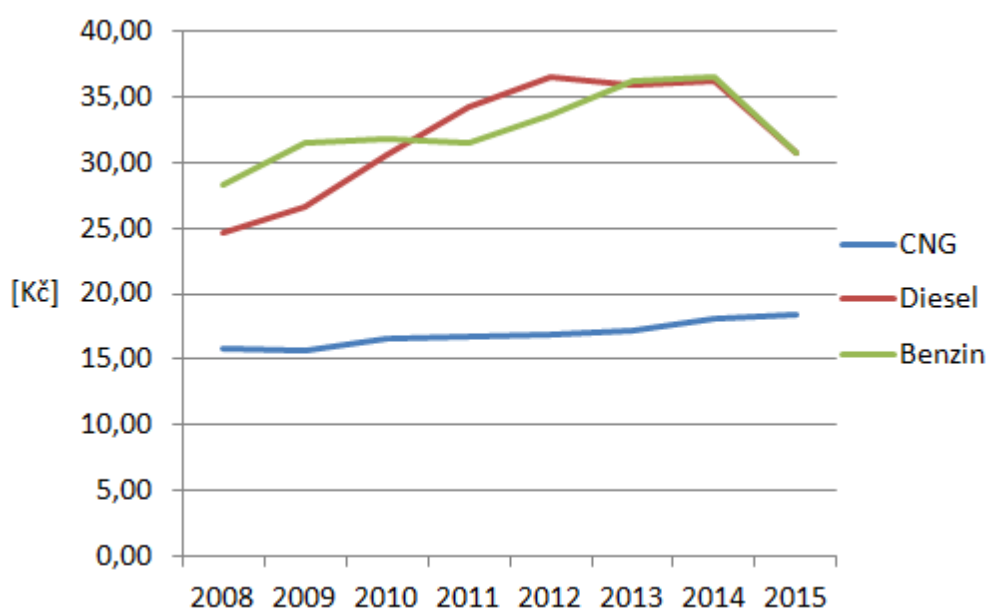
- Pořizovací náklady
- Infrastruktura
- Menší komfort
- Malý dojezd

2.4.1 EKOLOGIE

Vozidla s pohonem na zemní plyn jsou obecně šetrnější k životnímu prostředí a produkují výrazně méně škodlivin než vozidla s klasickým palivem. Jedná se o vůbec jeden z nejčistších pohonů. Environmentální aspekty provozu těchto vozidel je jedním z hlavních bodů této práce, proto je ekologii věnována celá kapitola 4.

2.4.2 EKONOMIKA

Náklady na pohonné hmoty jsou u plynu zhruba poloviční jako u konvenčních paliv. Jak je zřejmé z údajů v obrázku 1.6, cena plynu sice meziročně mírně rostla a u nafty s benzínem v posledním roce klesla. To by mohlo způsobovat mylnou představu o tom, že se ceny budou postupně vyrovnávat. Což ovšem není pravděpodobné. Pokles ceny ropy je spíše dočasný a způsoben konkurenčními boji v těžářském průmyslu. Vzhledem ke klesajícím zásobám ropy by tento trend poklesu ceny ropy již neměl dále pokračovat.



Obrázek 2.3 - Vývoj ceny paliv v ČR (Kč)[13]



Cenu plynu v České republice také pozitivně ovlivňují směrnice Evropské unie, které dávají možnosti uplatňování rozdílných daní ve prospěch některých alternativních paliv oproti ropným produktům. Díky tomu v České republice existuje dohoda mezi vládou a plynárenskými společnostmi, která stanovuje nižší daňové sazby na stlačený zemní plyn. Snížení daní na plyn by mělo přispět k rychlejšímu rozvoji tohoto typu pohonu.

Tabulka 2.1 - Sazby spotřební daně na CNG [14]

Datum platnosti	Sazba [Kč/t]	Sazba [Kč/m ³]
1. 1. 2008 - 31. 12. 2011	0 Kč/t	0
1. 1. 2012 - 31. 12. 2014	500 Kč/t	0,36 Kč/m ³
1. 1. 2015 - 31. 12. 2017	1000 Kč/t	0,72 Kč/m ³
1. 1. 2018 - 31. 12. 2019	2000 Kč/t	1,44 Kč/m ³
1. 1. 2020	3355 Kč/t	2,41 Kč/m ³

Přepočet zemního plynu $1 \text{ m}^3 = 1,4 \text{ kg}$

Sazba spotřební daně se postupně navyšuje až na hodnotu 2,41 Kč za metr krychlový. To je minimální hodnota nařízena Evropskou unií. Avšak i tato hodnota bude pořád velmi nízká v porovnání s benzinem (12,84 Kč/l) a naftou (10,95 Kč/l). Z toho vyplývá, že zemní plyn je levnější o 30% než nafta a o 40% než benzín. [14]

2.4.3 BEZPEČNOST

Zemní plyn je na rozdíl od nafty, benzínu nebo LPG lehčí než vzduch, takže při jeho úniku nehrozí, že by někam natekl a hromadil se. Má dvojnásobnou zápalnou teplotu. Tlakové nádrže jsou vyrobeny z pevných materiálů, a tak při nehodě odolají větším tlakům než obyčejné benzinové nádrže. Nádrže před uvedením do provozu procházejí několika bezpečnostními testy. Je zde automatický pojistný ventil, který při nehodě zastaví dodávání paliva do motoru. Vedle automatického ventilu je na nádrži i ventil, kterým lze nádrž uzavřít ručně.

2.4.4 INFRASTRUKTURA

Problém, který trápí majitele vozidel na CNG, je řídká síť plnicích stanic. Avšak se stoupajícím počtem vozů na plyn se jejich síť rychle rozrůstá. V tabulce lze vidět, že počet veřejných plnicích stanic v České republice je již přes 100. Do konce roku 2016 by mělo být v ČR 150 – 160 plnicích stanic. V sousedním Německu je to desetkrát víc. V Německu a Itálii je plnicích stanic nejvíc, to plyne z toho, že jsou zde díky automobilkám Fiat a VW vozidla CNG v rámci Evropy nejvíce rozšířena. Ve světě má toto palivo největší zastoupení v Asii a Jižní Americe.

Tabulka 2.2 - Počet automobilů na CNG a počet plnicích stanic v ČR [15]

Rok	Svět	EU	ČR	PS (ČR)
2009	10 106 444	1 120 992	1800	23
2010	11 111 615	1 452 798	2500	32
2011	14 550 720	1 559 005	3250	34
2012	17 193 023	1 730 693	4300	45
2013	19 872 932	1 902 982	6300	50
2014	22 335 773	1 960 253	8055	75
2015	24 943 326	2 094 203	12 000	108

Malý počet čerpacích stanic v okolí má řešení, a to v podobě domácí plnicí stanice. Jedná se o malé zařízení, které lze umístit na zahradu nebo pro menší kapacity 5 m³/h do větrané garáže. Plnička se zapojí k plynové a elektrické přípoje (3x400V). Jedná se o pomalý typ plnění, který probíhá několik hodin, zpravidla přes noc. Cena těchto zařízení začíná na 150 000 Kč.



Obrázek 2.4- Mapa CNG plnicích stanic [16]



2.4.5 KOMFORT

U vozidel s pohonem na zemní plyn se dříve vyskytoval problém, že v důsledku nutnosti potřeby dalších palivových nádrží byl zmenšen zavazadlový prostor. Tento problém je dnes řešen tak, aby nádrže místo nezabíraly. Nyní se obvykle nádrže umísťují pod zadní sedadla a pod zavazadlový prostor, kde většinu bylo rezervní kolo. Pro větší bezpečnost jsou nádrže zespoda chráněny, aby nedošlo k jejich poškození. Další nevýhodou zapříčiněnou instalací palivových nádrží bylo také zvětšení hmotnosti vozidla. Ocelové lahve navýší hmotnost až o 100 kg, i když zde je možnost nahrazení tlakovými lahvemi z kompozitu, které jsou několikanásobně lehčí.



Obrázek 2.5 - Zmenšení zavazadlového prostoru - Škoda Octavia [17]

Se zmenšením pohodlnosti také souvisí poměrně malé dojezdové vzdálenosti u vozidel na CNG (průměrný dojezd vozidel na CNG je okolo 350 km). Ovšem tento problém má řešení v podobě Bi-fuel pohonů, kdy vozidlo má nádrže na plyn i na benzín a může dle volby řidiče jezdit na obě pohonné látky.

Za další snížení komfortu se dá považovat mírný pokles výkonu vozidla, když u CNG není tak razantní jako například u LPG. Dojde k drobnému poklesu krouticího momentu a zrychlení. Podle uživatelů CNG vozidel se však změny v jízdních vlastnostech při přepnutí benzinu na plyn skoro nepozorují.



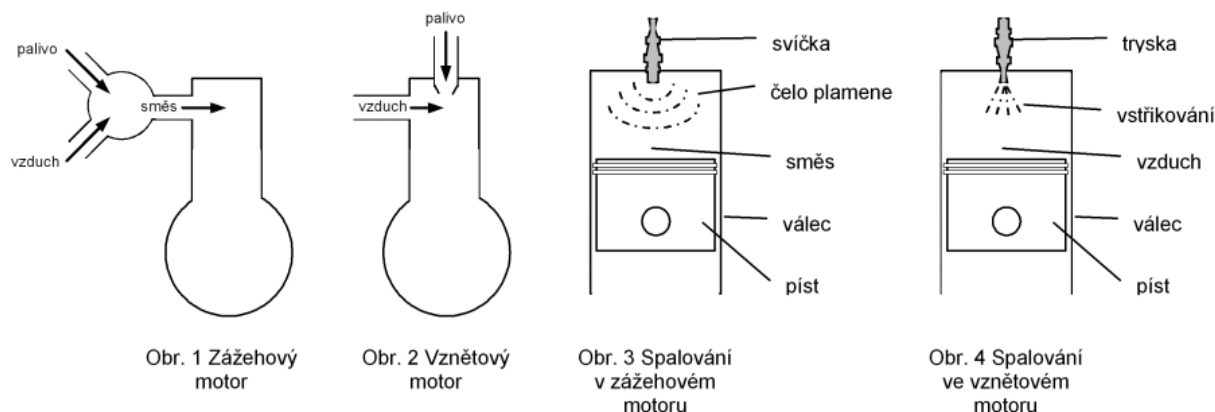
3 POPIS MOTORU

3.1 SPALOVACÍ MOTOR

Spalovací motory jsou tepelné hnací stroje, ve kterých se tepelná energie získaná spalováním kapalných nebo plyných paliv mění s poměrně vysokou účinností na mechanickou práci. Směs paliva a vzduchu se ve vhodném poměru spaluje ve válci. Směs vybuchne, vznikne tepelná energie, která tlačí na píst. Z pístu se energie pomocí ojnice přeneší na klikovou hřídel. Takto se přemění tepelná energie na mechanickou. Podle druhu paliva a způsobu jeho zapálení dělíme spalovací motory na zážehové a vznětové. [2]

U zážehového motoru je směs paliva a vzduchu uzavřena ve válci, který je postupně stlačován. V požadovaném okamžiku, kdy píst dosáhne téměř svého nejvyššího postavení, dojde k jejímu zapálení pomocí elektrické jiskry. Primární palivo pro zážehové motory je benzin, ovšem po úpravě jsou bez problémů schopné jezdit na LPG, CNG nebo alkohol.

Vznětový motor byl vynalezen koncem 19. století Rudolfem Dieselem, proto se také někdy nazývá Dieselmův motor. Vznětový motor se od zážehového liší především v přípravě zápalné směsi. Ve válci je pouze čistý vzduch, který je stlačován a tím prudce roste jeho teplota. Jakmile se píst ve válci blíží nejvýše postavenému bodu, je tryskou vstříknuta jemná směs paliva. Díky užívání paliva s vyšší destilační teplotou a nižší teplotou samovznícení a díky vysoké teplotě vzduchu dojde ve válci k samovznícení směsi. Jako palivo se v Dieselmově cyklu využívá především nafta.



Obrázek 3.1- Schéma zážehová a vznětový motor [18]

3.2 MOTOR SPALUJÍCÍ CNG

Motory s pohonem na CNG můžeme rozdělit do dvou základních skupin. Do první skupiny patří motory, které jsou poháněny čistě jenom na CNG. Tyto pohony nejsou moc rozšířeny, a to zejména z důvodu malých dojezdových vzdáleností. Druhá skupina motorů je poháněna dvěma palivy. Buď to lze vybírat palivo pomocí přepínače bezin/plyn (Bi-Fuel) nebo je palivo automaticky mícháno v určitém poměru (Dual Fuel) - tzv. Diesलगas. S manuálním přepínáním paliva se setkáváme spíše u osobních automobilů. Systém Diesलगas je vhodnější



pro větší objemy naftových motorů, takže se hodí více pro nákladní automobily, autobusy nebo stroje.

Pohon na bázi stlačeného zemního plynu má velký potenciál, avšak je zde zatím stále hodně prostoru pro jeho vývoj a zlepšení. Velký prostor pro vylepšování je v oblasti vefukování paliva a jeho komponentů jako vstříky a tlakový reduktor. Jednou z větších překážek je výkon motoru. Plynná fáze zemního plynu má sice výhodu rychlého míšení, nicméně plynná fáze je také příčinou nižší objemové účinnosti. Řešením tohoto problému může být systém přímého vstřikování čtvrté generace. V tomto systému pracuje vstřikovač s pístem, který zesiluje systémový tlak v liště a umožňuje dosáhnout vstřikovacích tlaků až do 2500 barů. Požadovaný tlak se vytváří až ve vstřikovači, takže se v samotném řídicím systému pracuje s nižším tlakem, který je snadněji ovladatelný. Palivo tedy není náhle vstříknuto, ale díky snadnější ovladatelnosti a speciálnímu geometrickému dimenzování vstřikovače je vefukováno postupně pod rostoucím tlakem, z čehož plyne zvýšení objemové účinnosti motoru a výkonu motoru. Při tomto spalování také vzniká méně škodlivin.

3.2.1 POHON ČISTĚ NA CNG

Tento typ motoru používá zemní plyn jako svůj jediný zdroj paliva. Motor má tu výhodu, že je optimalizovaný pro provoz na zemní plyn, čímž je zajištěna maximální účinnost a optimální výsledky emisí. Zemní plyn má oktanové číslo až 130, takže motor má větší odolnost proti tzv. klepání, tudíž lze navyšovat kompresní poměr a tím zvyšovat jeho účinnost. Na druhou stranu kvůli krátkému dojezdu je vhodný na menší pravidelné trasy, například pro zásobovací dodávky nebo autobusy.

Některá specializovaná vozidla jsou také vybavena benzínovou rezervní nádrží, která má být použita v případě, že dojdou zásoby zemního plynu. Vzhledem k tomu, že tato vozidla jsou optimalizována primárně pro zemní plyn, měly by být tyto rezervní nádrže použity pouze pro krátké vzdálenosti a neměly by být používány pravidelně.

3.2.2 DIESELGAS

Použitím dvou paliv různých vlastností najednou lze dosáhnout několika výrazných výhod. V Evropě se *Dieselgas* začal objevovat až v poslední době v souvislosti s dramatickým zvyšováním cen pohonných hmot. Avšak v Austrálii nebo Severní Americe je systém *Dieselgas* využíván v nákladní dopravě již mnoho let.

Přidáním správné dávky CNG ve správný okamžik v každé pozici pracovního režimu diesellového motoru dochází k jiné kvalitě a účinnosti spalování směsi ve válcích. Plyn je přidáván do nasávaného vzduchu, který proudí sacím potrubím do válce a poté stlačen při kompresi. Směs se zapálí pomocí nafty, kdy je proveden tzv. pilotní vstřík na konci komprese. Nafta se vznítí v důsledku kompresního tepla a poté zapálí zbylé CNG, které produkuje práci ve válci motoru.

Rychlejší zapálení směsi a její mnohem účinnější prohoření se projevuje v lepší efektivitě využití spáleného paliva. V této souvislosti dochází k částečnému zvýšení výkonu motoru, respektive nárůstem krouticího momentu v nižších otáčkách motoru, takže není nutné tolik šlapat na plynový pedál a je možné dříve řadit vyšší rychlostní stupně při nižších otáčkách pro zachování stejných jízdních výkonů jako při spalování samotné nafty. V praxi to znamená, že



jsou při srovnatelném jízdním režimu snížené dávky nafty doplňovány levnějším CNG. Systém *Diesलगas* je schopen generovat úsporu značně přesahující výši 30 % oproti konvenčnímu pohonu na motorovou naftu. Díky příznivým vlastnostem CNG jako jsou vynikající antidetonační vlastnosti a široký rozsah hoření směsi s vysokým přebytkem vzduchu je možné přidávat vysoké procento CNG do naftového motoru (až 80 %) a tím nahradit spalovanou naftu. Princip úspory spočívá, velmi zjednodušeně řečeno, v tom, že přidáním dalšího paliva do motorem nasávaného vzduchu stačí méně nafty, aby motor měl stejný výkon. Tímto způsobem lze také dosáhnout značných úspor na pohonných hmotách a to hlavně u nákladních vozidel, tahačů, ale i stavebních strojů jako jsou bagry, buldozery, traktory apod. Tato technologie je schopná vrátit se k 100% užívání nafty.

Přidávaný plyn nepůsobí pouze jako náhrada paliva, ale funguje také jako katalyzátor hoření směsi. Zemní plyn tvoří homogennější směs a má nižší toxicitu výfukových plynů. Díky tomu je při provozu na *Diesलगas* až o 70 % nižší obsah pevných částic ve výfukových plynech oproti spalování samotné nafty. Při zachování stejné tepelné účinnosti klesne až o třetinu i koncentrace oxidů dusíku a oxidu uhličitého. [19]

3.2.3 BI-FUEL

U osobních automobilů zcela nejvíce využívaný pohon. Osobní automobily s tímto systémem jsou vyráběny sériově v automobilkách nebo je možné předělat na Bi-fuel starší vozidla. Vozidla s kombinovaným pohonem s možností přepínání pohonu na benzín a na zemní plyn v podstatě pracují na stejném principu jako klasický zážehový motor. Zemní plyn se tak jako benzín mísí ve válci se vzduchem a poté je zapálen jiskrou od zapalovací svíčky. Na vozidle je ovšem několik změn a úprav oproti běžnému vozidlu pouze na benzín. Tu nejviditelnější a nejdražší představuje palivová nádrž umístěná většinou za zadními sedadly nebo pod zavazadlovým prostorem. Další důležitou součástí je regulátor paliva pro snížení tlaku zemního plynu. Vzhledem k tomu, že zemní plyn a benzín mají rozdílný ideální kompresní poměr, musí být mírně upraveno vstřikování.

3.2.4 HCNG

V dnešní době se nejvíce zmiňuje jako palivo budoucnosti vodík. Zdroje vodíku jsou obrovské, a proto je považován za jednu z nejslibnějších pohonných hmot pro automobilový průmysl. Vzhledem k nedořešené technologii a žádné infrastruktuře je využívání samotného vodíku v blízké době nereálné. Jedním z řešení, jak alespoň částečně využívat vodík ve spalovacích motorech, je HCNG (hydrogen compressed natural gas). Je to stlačený zemní plyn s určitým podílem vodíku. Toto palivo využívá kombinaci výhod zemního plynu a vodíku. Vodík je výborná přísada do uhlovodíkových paliv zejména pro svou nízkou zápalnou teplotu, vysokou reaktivitu, difuzivitu a rychlost hoření. Obvyklý podíl vodíku se pohybuje mezi 5–30 %. Vyšší podíl způsobuje negativní jevy jako klepání motoru, vyšší tlaky a nadměrná teplota v motoru a vznik většího počtu škodlivých mikročástic. Vliv složení paliva, poměr plynu a vodíku, na chod motoru může být charakterizován Wobbeho indexem. Pokud Wobbeho index zůstává konstantní, nedochází k zásadním změnám při spalování ani ke změnám stechiometrického poměru.

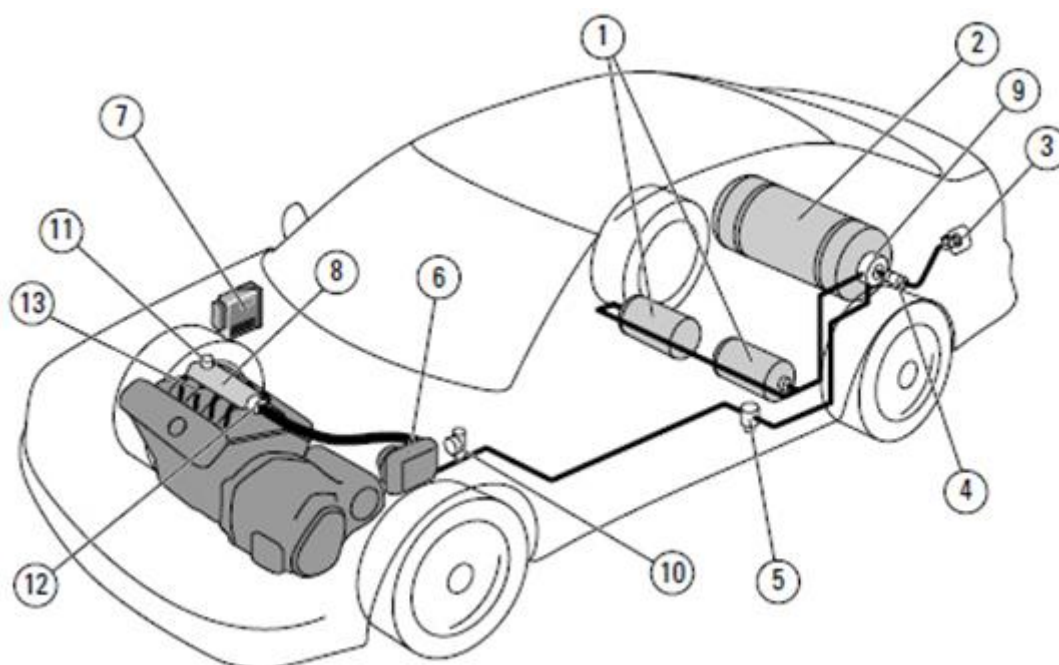
Výhodou HCNG je také to, že může být spalováno v motoru na klasický zemní plyn s minimálními úpravami. Není potřeba žádná zásadní změna v palivovém systému. Ten je podobný klasickému Bi-Fuel CNG systému. Může také využívat současnou infrastrukturu pro



zemní plyn. Ta vyžaduje jenom prostor pro skladování vodíku a zařízení k následnému míchání vodíku se zemním plynem.

HCNG má oproti CNG několik odlišných vlastností. Vodík v palivu zvyšuje poměr vodíku s uhlíkem. Z toho plyne nižší tvorba oxidu uhličitého. Vodík má rychlost spálení osmkrát větší, což zvyšuje rychlost spalování a tepelnou účinnost. Vede to také k mírnému poklesu emisí NO_x . Nejnižší emise NO_x vznikají u směsi bohatší na vzduch, kdy je přebytek poměru vzduchu 1,2 – 1,8. K nejdokonalějšímu spalování dochází ve směsi s 15-30 % vodíku. Při tomto poměru se tvoří méně emisí HC i CO. Klesá i množství CH_4 . Přidáním vodíku se zvyšuje tepelná účinnost, výkon motoru a snižuje spotřeba. [20]

3.3 KOMPONENTY CNG POHONU



Obrázek 3.2 - Komponenty CNG pohonu [1]

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 Palivové nádrže | 8 Ovládání vstřikování paliva |
| 2 Hlavní palivová nádrž | 9 Senzor přetlaku paliva |
| 3 Plnicí koncovka | 10 Přepínač plyn/benzin |
| 4 Pojistný ventil | 11 Senzor teploty |
| 5 Manuální uzavírací ventil | 12 Tlakový bezpečnostní senzor |
| 6 Regulátor tlaku paliva | 13 Vstřikování paliva |
| 7 Řídicí jednotka | |



PALIVOVÉ NÁDRŽE

Vysokotlaká palivová nádrž nebo někdy i více palivových nádrží představují největší zásah do konstrukce vozidla. A to z důvodu svého specifického tvaru – tlakové nádrže musí mít válcový tvar a z důvodu velké velikosti mají objem až 60 litrů. Jsou zkoušeny na tlak až 30 MPa, avšak plyn je v nich uskladněn pod tlakem 20 MPa. Vyrábí se z oceli nebo z kevlaru. Ocel je levnější variantou, ovšem kevlarové nádrže mají menší hmotnost, což se poté může mírně odrážet ve spotřebě. Jsou umístěny za zadními sedadly nebo pod zavazadlovým prostorem. Při zvýšené teplotě, například v případě požáru, ochranná pojistka zaručí bezpečné vypuštění plynu z nádrže do ovzduší.



Obrázek 3.3 - Uložení palivových nádrží ve vozidle [21]

PLNICÍ SYSTÉM

Plnicí koncovka je většinou umístěna pod víčkem vedle klasické benzinové koncovky. Slouží k plnění tlakových nádrží plynem. Za ní následuje víceúčelový ventil. V Evropě se z velké části využívá NGV1 ventil. Itálie má své speciální ventily, na které je v našich podmínkách potřebná redukce. Ventil je součástí plnicího hrdla. Plyn přes něj putuje do tlakové láhve nebo do regulátoru. Plní také bezpečnostní funkce. Elektronicky zabezpečuje, aby byl plyn dodáván pouze za chodu motoru. Zastaví dodávku plynu, pokud dojde ke snížení tlaku v potrubí v důsledku netěsnosti systému nebo v důsledku dopravní nehody. Na nádrži i na potrubí je také manuální uzavírací ventil, kterým se dá dodávka plynu zastavit ručně.

REGULÁTOR TLAKU PALIVA

Úkolem regulátoru tlaku paliva neboli redukčního ventilu je snižovat tlak paliva. To je dopravováno z tlakových nádrží pod tlakem 200 barů na vstřikovací tlak pro spalovací komoru, který je podle palivového systému 2 – 9 barů. Regulátor by měl zajišťovat konstantní tlak na vstřikovacím railu nezávisle na průtoku. Ventil je vybaven filtry k čištění nečistot v palivu. Při tak velkém snižování tlaku musí být regulátor ohříván, aby nezamrzl. To se děje pomocí tepla z motoru.



ŘÍDICÍ JEDNOTKA

Řídicí jednotka plynové části spolupracuje s řídicí jednotkou benzínové části motoru a zajišťuje správný chod motoru ve všech jeho režimech. Upravuje časování a fázování paliva, aby splňovalo stechiometrické potřeby směsi.

PŘEPÍNAČ PLYN/BENZIN

Nachází se uvnitř auta na palubové desce nebo pod volantem. Řidič si může manuálně přepínat mezi plynem a benzínem.

VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

Palivová směs je míchána ve směšovačích nebo tvořena za pomoci novějších vstřikovacích zařízení. Pro další snižování emisí jsou vstřikovací systémy nesmírně důležité. Hlavní palivové systémy jsou dále popsány v následující kapitole.

3.4 PALIVOVÉ SYSTÉMY

Účelem palivového systému je zásobovat motor za každého provozního stavu palivem. Dříve používané směšovače nahrazuje přesnější řízené vstřikování paliva pomocí řídicích jednotek, a to z prostých důvodů - úspory paliva, snížení zátěže na životní prostředí, zvýšení výkonu a zabránění zpětného vznícení v sacím potrubí, jelikož v sacím potrubí není palivo, protože to je vstřikováno až těsně před nasáním.

Palivové systémy se dělí dle konstrukce:

- systém se směšovačem,
- systém s jednobodovým vstřikováním paliva,
- systém s vícebodovým vstřikováním paliva,
- systém s přímým vstřikováním paliva.

SYSTÉM SE SMĚŠOVAČEM

Jde o nejstarší a nejjednodušší palivový systém. Tvorba směsi paliva a vzduchu se provádí mimo válec v sacím potrubí. Pro správné zapálení a shoření směsi musí být smísená v určitém směšovací poměru. Směšovací poměr udává poměr paliva a vzduchu. Pokud je zde vyšší podíl paliva, nazývá se směs bohatou a narůstá spotřeba. Pokud je nižší podíl paliva, jedná se o chudou směs a dochází ke snížení výkonu. Když má směs ideální poměr, je součinitel přebytku vzduchu $\lambda = 1$ a motor získává přesně tolik vzduchu, kolik je pro dokonalé spálení palivové směsi potřeba. Směšovač funguje na podobném principu jako karburátor. Jeho úlohou je správné promísení plynu se vzduchem. Plyn proudí z palivové nádrže přes regulátor, kde se snižuje tlak a reguluje množství plynu. Dále proudí pomocí podtlaku do směšovače a zde se mísí se vzduchem, který je nasáván přes vzduchové filtry. Takto vzniklá homogenní palivová směs je dávkována přes sací ventily do spalovacího prostoru motoru. Směšovací poměr nasávané směsi je zde regulována škrtkicím šroubem, který je umístěn v plynové hadici mezi reduktorem a směšovačem. Ovšem u toho systému nelze zajistit ideální dávku paliva v různých režimech práce motoru. Z toho plyne vyšší spotřeba, možnost nárůstu klepání motoru a oproti jiným systémům horší výsledky při měření emisí. [22]



SYSTÉM S JEDNOBODOVÝM VSTŘIKOVÁNÍM PALIVA

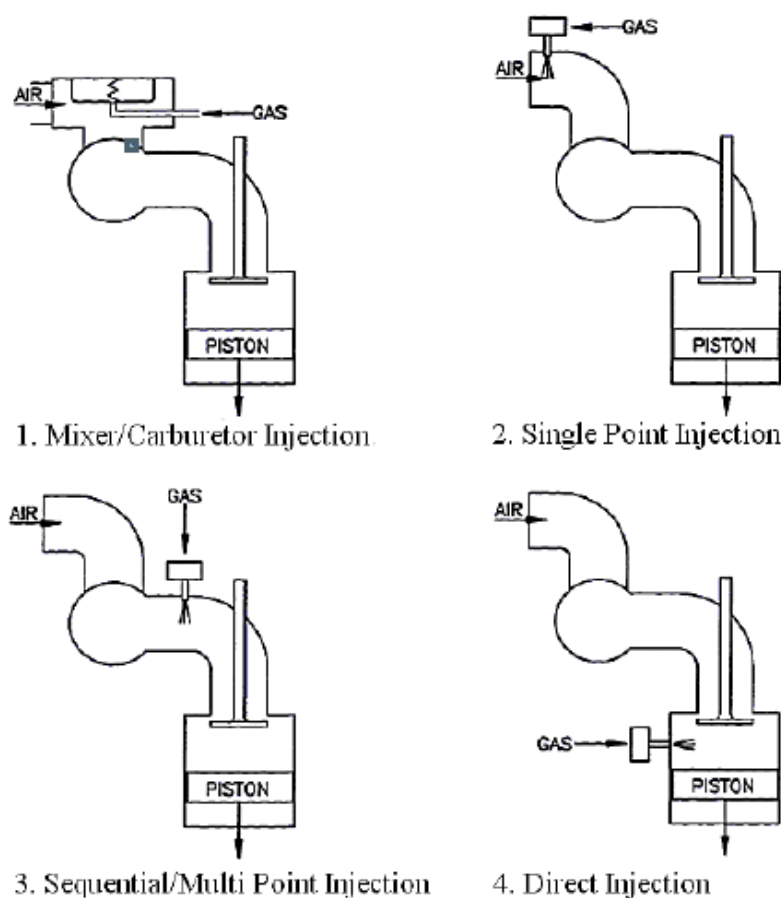
Zde se palivová směs na rozdíl od předchozího systému netvoří ve směšovači, ale je tvořena v sacím potrubí. Uplatňuje se zde nepřímé vstřikování, což znamená, že palivo je za pomoci vstřikovacího ventilu vstřikováno do vzduchu už v sacím potrubí. Palivo je vstřikováno pomocí jediného vstřiku, z čehož plyne možná drobná úspora za vstřikovací ventily oproti vícebodovému vstřikování, ovšem problémem je, že tak jako u směšovače se plyn se vzduchem mísí v potrubí na jednom místě, takže se nedá regulovat množství směsi na jednotlivé válce motoru. Optimální vstřikování plynu reguluje řídicí jednotka vozidla. Řídicí jednotka také dostává zpětnou vazbu od lambda sondy. Ta je umístěna ve výfukovém potrubí, kde zjišťuje bohatost spálené směsi. Řídicí jednotka tyto údaje vyhodnocuje a dle potřeby mění poměr plynu se vzduchem, z čeho samozřejmě plyne nižší spotřeba a menší množství emisí. [22]

SYSTÉM S VÍCEBODOVÝM VSTŘIKOVÁNÍM PALIVA

Jedná se o nejpoužívanější palivový systém, který je podobný jako předchozí. Vícebodové vstřikování postupně nahrazuje jednobodové. Vstřikování paliva neprobíhá hromadně pro všechny válce do sacího potrubí, ale je vstřikováno pomocí vstřikovacích trysek těsně před začátkem sání přímo do sacího kanálu pro každý válec zvlášť. Palivo přichází z palivové nádrže přes redukční ventil do lišty. Oproti jednobodovému vstřikování je zde více vstřiků. Na liště ke každému válci připadá jedna tryska. Tyto trysky podle pořadí zapalování válců vstřikují dávku paliva těsně před začátkem sání. Vše kontroluje řídicí jednotka. Dochází k ještě větší úspoře paliva a zvýšení výkonu, protože pro každý válec je tvořena dle podmínek provozu originální homogenní palivová směs. [22]

SYSTÉM S PŘÍMÝM VSTŘIKOVÁNÍM PALIVA

Nejmodernější, ale zároveň nejsložitější. I když je tato technika známá u benzinových motorů více jak 50 let, tak se její hlavní cíl změnil ze zvyšování výkonu motoru na snižování spotřeby paliva. Palivová směs vzduchu a paliva se nepřipravuje před válcem, ale palivo se vstřikuje přímo do válce. Systém je podobný na technologii common rail, avšak tlaky jsou zde o řád nižší. Je zde kompresor, který drží palivo pod tlakem větším než je ve spalovací komoře, aby bylo možné palivo vstříknout do válce. Odtud je palivo pod tlakem okolo 20 MPa přiváděno ke vstřikovacím ventilům na válci. Tato technologie jako jediná umožňuje používat plyn kromě benzinových také u dieselových motorů. U předchozích systémů je problém v zápalné teplotě plynu, která je skoro 5x vyšší než u nafty. K zapálení směsi se užívá vznícené nafty, která poté zapálí vstříknutý zemní plyn. [22]



Obrázek 3.4 - Druhy systémů vstřikování CNG [22]

- 1) Systém se směšovačem 2) Systém s jednobodovým vstřikováním
 3) Systém s vícebodovým vstřikováním 4) Systém s přímým vstřikováním

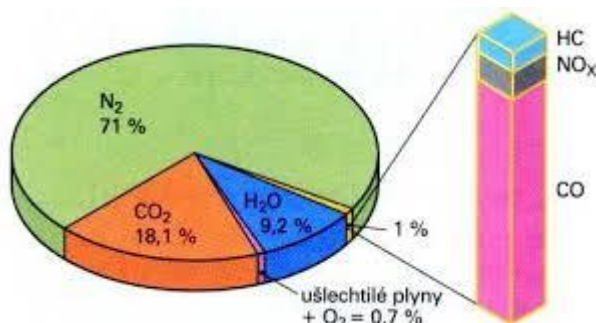
3.5 ÚPRAVA VOZIDLA NA CNG

Benzínové motory jsou z hlediska nákladů na přestavbu na tento druh pohonu vhodnější, protože nevyžadují tak velké konstrukční zásahy. Naftové motory naproti tomu vyžadují zásadní úpravu v podobě přidání zapalovacího systému. Při úpravě je benzínový motor potřeba optimalizovat na zemní plyn, poté následuje montáž regulátoru a elektroniky. Do zadní části vozu se namontují tlakové láhve, pod ně se nesmí zapomenout nainstalovat ochranný kryt. Poté se namontuje potrubí pro přívod plynu s ochranným ventilem. Na závěr plnicí koncovka, která se zabuduje obvykle pod víčko vedle otvoru na benzín, ale její montáž na nárazník nebo přímo do motoru není výjimkou. Ceny přestaveb vozidel se zážehovými motory začínají na 50 000 Kč.

4 VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

4.1 EMISE

Emise obecně udávají množství znečišťujících složek dostávajících se do ovzduší z určitého zdroje, konkrétně u aut z výfukových plynů. U motoru se podíl těchto emisí skládá z pevných, kapalných a plyných složek. Množství těchto škodlivých složek mimo jiné závisí na směšovací poměru a průběhu spalování. U průběhu spalování se snažíme přiblížit modelu ideálního spalování. Výsledkem ideálního spalování je pouze vodní pára a oxid uhličitý. Ostatní látky se procesu spalování neúčastní. Ideální spalování může proběhnout pouze za určitých podmínek, a ty zrovna u zážehových motorů nelze zajistit. Dochází k tepelným ztrátám, nedokonalému promísení paliva a nedokonalému hoření v důsledku krátké reakční doby. Kvůli těmto nedostatkům, namísto dvou výše zmíněných, vzniká celá řada dalších nežádoucích složek. V následujícím textu jsou uvedeny ty hlavní, které nalezneme při spalování CNG ve výfukových plynech.



Obrázek 4.1- Podíl látek ve výfukových plynech [23]

4.1.1 OXID UHLIČITÝ

Tato složka s chemickou značkou CO₂ je dnes jedním z hlavních kritérií při posuzování ekologičnosti auta. Je to bezbarvý plyn bez zápachu, který je nedýchatelný, ale není jako CO jedovatý. Vzniká spalováním uhlíku z paliva za pomoci kyslíku z nasávaného vzduchu. Oxid uhličitý je asi nejznámější složkou výfukových plynů a je neustále probírán s ohledem na globální oteplování. Ovšem v oblasti skleníkových plynů stojícími za globálním oteplováním je až na druhé pozici za vodní parou, která se podílí 10 – 20 %. Na obranu automobilového průmyslu je potřeba zmínit, že celková doprava má celosvětově na svědomí „jen“ 20 % vypouštěného CO₂. Z toho nadpoloviční podíl tvoří doprava silniční (až 70 %). Největší znečišťovatele hledejme v těžbařském průmyslu, energetice nebo zemědělství. Před 10 lety byl průměrný obsah CO₂ u osobních automobilů s konvenčními palivy okolo 160 g/km. Pro rok 2015 se obsah CO₂ pohyboval v průměru 120 g/km. Podle plánu Evropské komise má tato složka emisí klesnout do roku 2021 až na 95 g/km. Těchto hodnot dosahují motory s pohonem na CNG již dnes. [24]

Oxid uhličitý je také měřítkem kvality spalování. Čím je hodnota CO₂ vyšší, tedy čím víc se blíží maximu, tím je spalování dokonalejší a vzniká méně CO a HC. Naopak pokud je hodnota CO₂ nízká a zbylé dvě vyšší, dochází k nedokonalému spalování. Pokud jsou hodnoty CO a HC nižší zároveň s nízkou hodnotou CO₂, spalování je v pořádku. Problém může být netěsnící výfukový systém, který potom umožňuje, aby se výfukové plyny ředily se vzduchem.



Podle několika různých Well to Wheel analýz klesá množství vypouštěného CO₂ při spalování CNG u osobních automobilů o 20 – 30% u nafty a 25 – 35 % oproti benzínu.

4.1.2 OXID UHELNATÝ

Stejně jako u oxidu uhličitého jde o bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, avšak na rozdíl od oxidu uhličitého jde o plyn jedovatý. Chemická značka oxidu uhelnatého je CO. Vzniká spalováním v palivové směsi s větším poměrem paliva. Důvodem vzniku je nedostatečné množství kyslíku v bohaté směsi, kde dochází k nedokonalému spalování uhlíku. Jeho největší nebezpečí pro člověka spočívá v tom, že je hůře detekovatelný a váže se na krevní barvivo rychleji než kyslík, což zabraňuje okysličování orgánu a to vede k jejich poškození. Kromě toho v atmosféře reaguje s ozónem (O₃), kde tvoří CO₂ a ten ničí ozonovou vrstvu. K zabránění vypouštění CO slouží trojcestný katalyzátor. Díky vysoké hořlavosti CNG přispívá k lepšímu spalování a menší tvorbě oxidu uhličitého.

4.1.3 UHLOVODÍKY

Tyto plyny se zápachem jsou souhrnně označovány HC. Také vznikají při nedokonalém spalování při malém přísunu kyslíku nebo při nedostatečném prohoření směsi. Tlak ve válci během expanze nasaje zbytek uhlovodíků z nespáleného paliva, z nichž se část poté dostane do výfukových plynů. Množství uvolněných uhlovodíků je ovlivněno molekulární hmotností v palivu. Na organismus působí různě, některé jsou karcinogenní, některé mají vliv na smyslové orgány nebo dráždí dýchací cesty. Mají vliv na tvorbu smogu. Se zvyšujícím se zatížením klesá jejich tvorba. U zážehových motorů představují diagnostický parametr. Aromatických uhlovodíků je při spalování CNG méně, díky vysokému poměru metanu v zemním plynu, který pomáhá zabráňovat jejich tvorbě. [25]

4.1.4 OXIDY DUSÍKU

Obecně se značí NO_x, mezi hlavní složku patří oxid dusnatý NO (až 90%), dále sem patří NO₂, N₂O, N₂O₂, N₂O₃, N₂O₄ a N₂O₅. Vznikají při vysokých teplotách. Na rozdíl od CO nebo HC vznikají v chudší směsi, kdy zůstává přebytek kyslíku. Ke snižování spotřeby je potřeba co nejlepší spalování, a to lépe probíhá za vyšších teplot, což paradoxně vede ke zvýšení tvorby těchto škodlivin. Doprava přispívá 50 % k celkové produkci oxidů dusíku. Některé oxidy dusíku jsou zdraví škodlivé – dráždí dýchací cesty. NO_x se společně s uhlovodíky (HC) podílí na tvorbě smogu a kyselých dešťů. Snižování oxidů dusíku dochází pomocí SCR katalyzátorů, která pomocí kapaliny AdBlue umožňuje redukovat tyto složky až o 90 %.

CNG se spaluje při nižší adiabatické teplotě než nafta a benzin, což má za následek nižší NO_x emise. Některé studie prokázaly snížení emisí u CNG o 50-80 % oproti emisím u nákladních vozidel s naftovým motorem. U osobních automobilů je toto snížení pozorovatelné v menší míře a to o 20-30%. [26] Ovšem názory na problematiku oxidu dusíku se velmi různí. Podle některých jiných studií CNG produkci oxidu dusíku nesnižuje, ale naopak ještě zvyšuje. Jako například podle švédské studie Hallquist, kdy testovali několik desítek autobusů na CNG i naftu. Výsledky emisí u naftových motorů jsou 2-11 g/km, výsledky emisí u motorů na zemní plyn 4-21 g/km. Možné příčiny rozdílných výsledků mohou být buďto v údržbě vozidel nebo v různém složení CNG. [27]



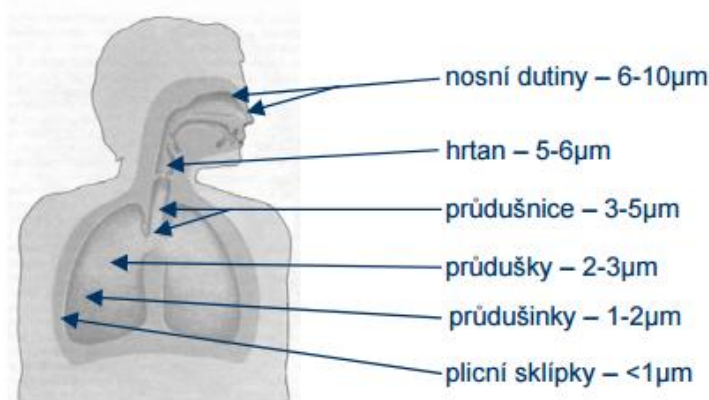
4.1.5 OXID SIŘIČITÝ

Oxid siřičitý, SO_2 , vzniká slučováním síry s kyslíkem obsaženým v nasávaném vzduchu. Síra je obsažena v palivu, přičemž limitní hodnoty jsou vyšší u motorové nafty než u benzínu. Sloučením SO_2 s vodou vznikají sírné kyseliny, které škodí životnímu prostředí ve formě kyselých dešťů. Vzhledem k malému obsahu síry v palivech není tento produkt spalování v motorech tak významný. Spalováním CNG nevzniká žádné významné množství.

4.1.6 PEVNÉ ČÁSTICE

Pevné částice (PM) jsou mikroskopické částice tvořené shlukem pevných a kapalných částic rozptýlených ve vzduchu. Zahrnují se sem sírany, dusičnany, ionty sodíku, hořčíku, vápníku a draslíku, amonné ionty, organický i elementární uhlík, kovy a polycyklické aromatické uhlovodíky. Vznikají ve vznětových motorech při plném zatížení v důsledku krakování, vysoké teploty a místního nedostatku vzduchu. Vlastnosti, ale i množství těchto částic je ovlivněno mechanismem vzniku, transformací částic v ovzduší, vzdáleností od zdroje a meteorologickými podmínkami.

Dle těchto vlastností, především však dle jejich velikosti, se tyto částice dělí do frakcí. Velikost těchto částic se pohybuje od několika nanometrů až po desetiny milimetru. Obvykle se však problematika pevných částic zabývá složkami do velikosti $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM_{10}). Větší částice jsou za krátký časový úsek odstraněny gravitační silou. Důležitou skupinou pevných částic pro porovnávání CNG a konvenčních paliv je frakce do velikosti částic $2,5\text{ }\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$). Některé studie uvádějí v tomto směru u CNG větší škodlivost než u benzínu nebo nafty. [28]



Obrázek 4.2 Průnik jednotlivých velikostních frakcí prachu do dýchacích cest [28]

Jako čistý uhlík obecně saze neohrožují zdraví člověka, ovšem mohou obtěžovat a omezovat viditelnost. Pokud jsou součástí sazí i uhlovodíky, počítáme je mezi škodlivé částice. Když se velmi malé částice sazí dostanou hluboko do plic, mohou při velké koncentraci nastat stejné potíže jako při vdechování jemných prachových částic. Při delším intervalu působení těchto látek na lidský organismus vede k vážnějším onemocněním. Velikost těchto škodlivých částic se pohybuje v mikrometrech. Jejich malá velikost je ten největší problém, protože lidské dýchací ústrojí na ně nemá žádné „filtry“.



4.2 EMISNÍ LIMITY

Od roku 1992 vydává Evropská unie emisní normy Euro, které stanovují maximální povolené množství škodlivin vypouštěných ve výfukových plynech. Tato norma reguluje množství oxidu uhelnatého, uhlovodíky, oxidy dusíku a pevné částice. Oxidem uhličitým se normy Euro nezabývají. Limity se s každou novou normou snižují. [29]

Tabulka 4.1 - Emisní limity EURO pro osobní vozidla s dieslovým motorem (g/km) [29]

	Rok	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
EURO 1	1992	3,16	-	0,97	-	0,14
EURO 2	1996	1,00	-	0,90	-	0,08
EURO 3	2000	0,64	-	0,56	0,50	0,05
EURO 4	2005	0,50	-	0,30	0,25	0,03
EURO 5	2009	0,50	-	0,23	0,18	0,005
EURO 6	2014	0,50	-	0,17	0,08	0,005

Tabulka 4.2 - Emisní limity EURO pro osobní vozidla s benzínovým motorem (g/km) [29]

	Rok	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
EURO 1	1992	3,16	-	0,97	-	-
EURO 2	1996	2,20	-	0,50	-	-
EURO 3	2000	2,30	0,20	-	0,15	-
EURO 4	2005	1,00	0,10	-	0,08	-
EURO 5	2009	1,00	0,10	-	0,06	0,005
EURO 6	2014	1,00	0,10	-	0,06	0,005

Nové normy platí vždy pouze pro nově vyráběné vozy. Některé státy EU, mezi nimi i Česká republika, uvalují na starší vozy tzv. ekologickou daň. Tato jednorázová daň se v ČR platí při koupi starších vozidel. Pokud vozidlo nesplňuje žádnou normu, tato daň činí 10 000 Kč. Za vozidla splňující EURO 1 je poplatek 5 000 Kč a na vozidla splňující EURO 2 je daň 3 000 Kč. Ostatní vozidla jsou od ekologické daně zatím osvobozena. Cílem této daně je zredukovat počet vozidel s vysokým obsahem škodlivých látek ve výfukových plynech.

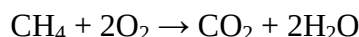
4.3 DOPADY

Všechny tyto látky mají kromě negativních dopadů na lidské zdraví i dopad v dalších oblastech. Nejdiskutovanější je dopad na životní prostředí v oblasti skleníkových plynů. Největším znečišťovatelem v této oblasti je oxid uhličitý tvořící 87 – 99 % skleníkových plynů. Dalším je metan, který má dvacetinásobně větší potenciál k oteplování planety a oxid dusičitý s až třistakrát vyšším potenciálem než oxid uhličitý, ovšem tato látka se pohybuje ve výfukových plynech jen v desetinách procent. [30] Vypouštěním těchto látek do ovzduší dochází k oteplování planety, které podle pesimistických odhadů povede ke zvýšení průměrné teploty v roce 2100 oproti roku 2000 až o 6°C a zvýšení hladiny oceánů až o 50 cm. Další je oblast zemědělství, kdy jsou plodiny, stejně jako lesy, poškozovány kyselými dešti a půda i podzemní voda poškozována oxidy dusíku. Ve stavebnictví mohou pevné částice znečišťovat fasády budov a oxidy dusíku a oxid siřičitý degradovat materiál v důsledku koroze.

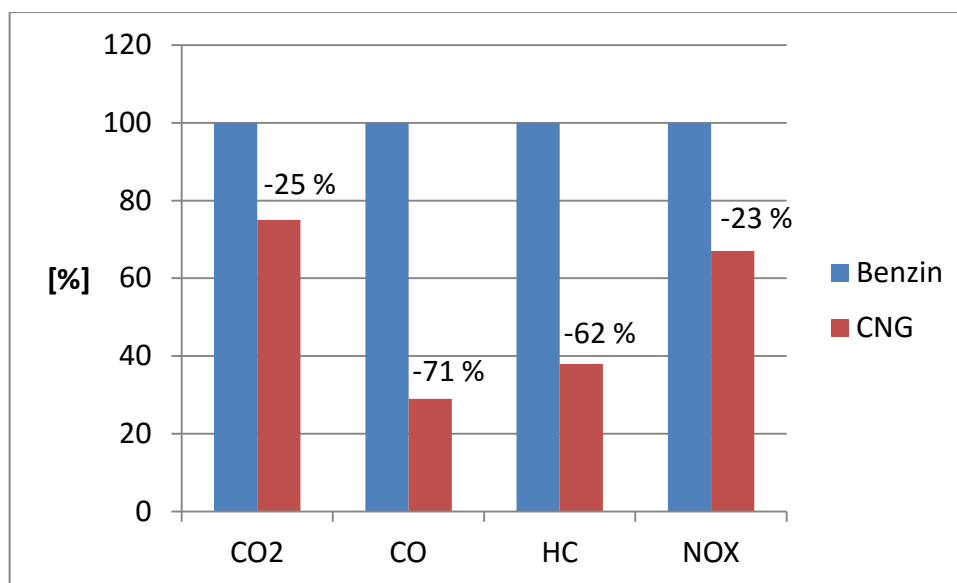


4.4 SPALOVÁNÍ CNG

Dochází ke snížení vypouštěného oxidu uhličitého oproti naftě o 10 %, oproti benzinu až o 25 %. Vypouštění emisí oxidu uhličitého vysoce závisí na poměru uhlíku a vodíku v palivu. CNG je na tom nejlépe, protože většina je metan s poměrem H/C 4:1. Benzin má poměr uhlíku s vodíkem 2,3:1 a nafta pouze 1,95:1. CNG sestává většinou z metanu, od kterého nezbyvá mnoho uhlíku, a tak zmenšuje pravděpodobnost tvorby benzenových kruhů. To vede ke snížení tvorby karcinogenních aromatických uhlovodíků. [30] Vysoký poměr H/C a menší obsah aromatických látek zmírňuje emise těkavých organických látek. Většina CH₄ se sice spálí, ovšem malá část se nespálí a emituje ve výfukových plynech. Metan není toxický, ale jeho vliv na globální oteplování je 23x větší jako u CO₂. Tento problém má řešení v podobě katalyzátoru. Ten přeměňuje zbylý metan na vodu a oxid uhličitý dle rovnice:

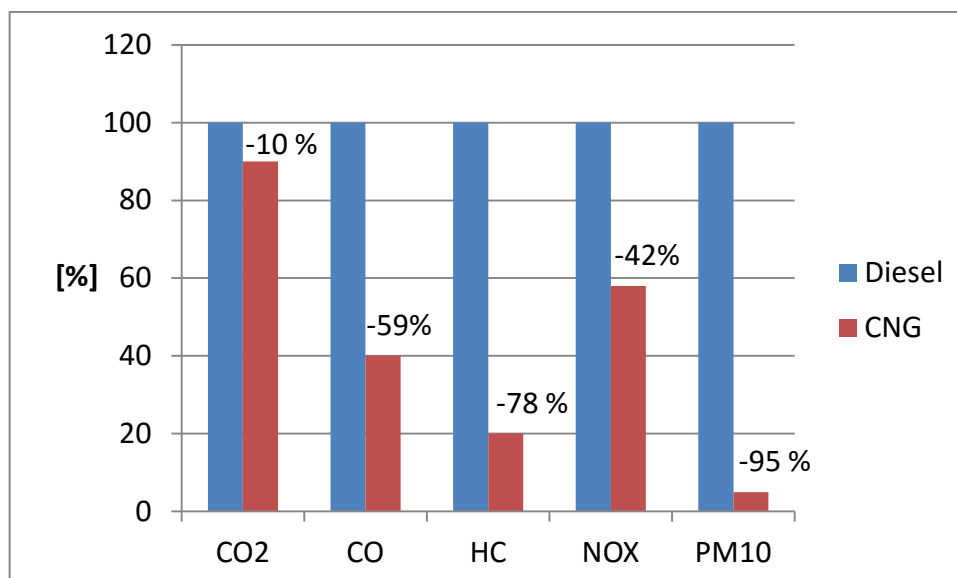


Pro nejefektivnější spalování a tedy nejmenší tvorbu emisí je nutné dodržovat stechiometrický poměr při spalování směsi. Pro benzin je to 14,7:1, pro CNG 17,2:1. Při spalování CNG s mírně chudou směsí vzniká více oxidů dusíku, ale množství oxidu uhelnatého je nižší.



Obrázek 4.3 - Snížení emisí při spalování CNG v porovnání s benzinem [28]

Z grafů (obr. 4.3 a obr. 4.4) je patrné, že potenciál CNG ve snižování emisí je vůči konvenčním palivům obrovský. Motory na zemní plyn obecně vedou ke snížení emisí reaktivních uhlovodíků, oxidu uhelnatého, oxidu dusíku, stejně jako pevných částic, které jsou především u naftových motorů považovány za nejškodlivější z důvodu karcinogenních a mutagenních účinků. Dle grafu (obr. 4.4) dochází ke snížení pevných částic až o 95%. Je nutné poznamenat, že zde nejsou zahrnuty mikročástice, ale pouze pevné částice do velikosti 10 µm. Hodnota oxidu siřičitého je při spalování CNG téměř nulová. [31]



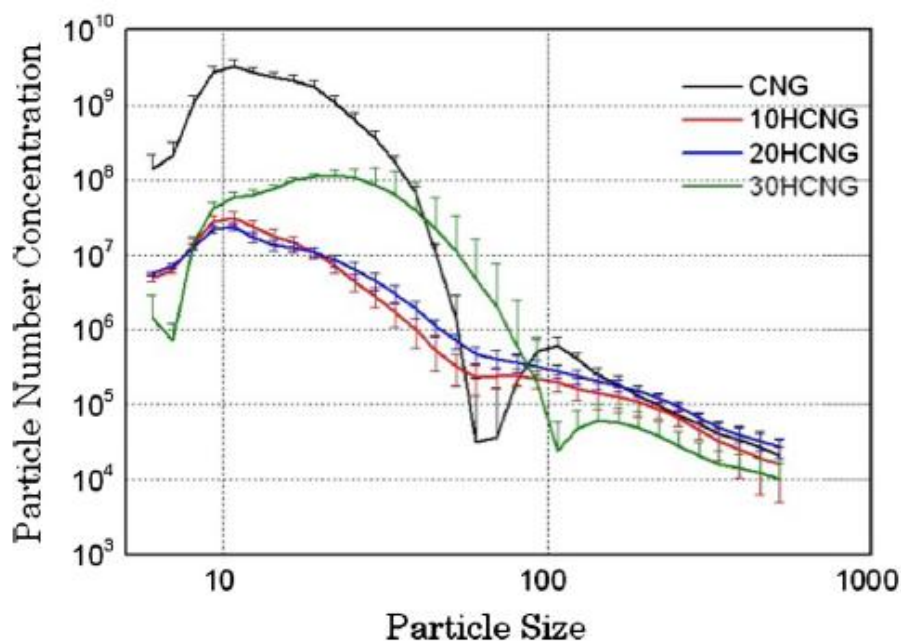
Obrázek 4.4 - Snížení emisí při spalování CNG v porovnání s naftou [28]

V těchto dvou grafech je znázorněno o kolik procent je možné snížit množství jednotlivých složek emisí při spalování CNG oproti spalování benzínu nebo nafty. Nesmí se ovšem zapomínat, že tyto hodnoty jsou vysoce závislé na mnoha faktorech. Jeden z hlavních faktorů je určitě to, že zemní plyn není homogenní směs. Vlastnosti plynu se mění v závislosti na produkční oblasti. Z toho také plynou rozdílné výsledky při emisních testech.

4.5 MIKROČÁSTICE

Problém u tohoto paliva nastává v oblasti pevných mikročástic. Mikročástice vznikají při špatném spalování chudé směsi nebo spalováním paliv s nízkým obsahem uhlíku. Vznikají také v důsledku užívání mazacího oleje, který je zásadní pro mazání pohyblivých částí motoru, ale bohužel zlomek tohoto oleje vstupuje podél mezer mezi pístními kroužky a vložkou válce nebo přes ventily do spalovací komory. Z tohoto oleje se poté tvoří při spalování jemné částice, které jsou pro zdraví škodlivé. Podle normy EURO 5 mají sice automobily při porovnání spalování CNG a nafty menší celkovou hmotnost pevných částic, ovšem norma neudává velikost těchto měřených částic. Podíl mikročástic u spalování CNG je několikanásobně vyšší. Větší množství mikročástic představuje větší riziko než malé množství velkých částic z pohledu na životní prostředí a zdraví. Mikročástice nabízejí větší prostor pro tvorbu karcinogenních látek, což způsobuje větší hrozbu rakoviny pro lidské tělo.

Tento problém by mohl mít řešení v podobě přidávání paliva, které by zlepšovalo shoření směsi. Jednou z přídatných látek může být vodík. Pokud by se přidával v 10 – 20 %, zvýší se rychlost a kvalita spalování, zároveň klesne tvorba pevných částic všech velikostí. Ovšem přidávání vodíku více jak 30 % vede k větším tlakům a nárůstu tepla, což má vliv na klepání motoru a vliv na příspěvek k množství mikročástic od mazacího oleje. Vodík v palivu mírně zvyšuje tvorbu oxidů dusíku – NO_x. [32]



Obrázek 4.5- Závislost velikosti částic (nm) na koncentraci částic při spalování CNG s vodíkem [32]

4.6 KOMPONENTY PRO SNÍŽENÍ EMISÍ

KATALYZÁTOR

Slouží k čištění spalin ve výfukových plynech. Skládá se z keramického nebo kovového pláště uvnitř pokrytého vzácnými kovy (platina, rhodium). Katalyzátor se dělí na dvoucestný a třicestný. Dvoucestný redukuje emise oxidu uhelnatého a uhlovodíků, třicestný ještě navíc snižuje množství oxidů dusíku. V katalyzátoru probíhají chemické reakce oxidace, které mění oxid uhelnatý na oxid uhličitý a uhlovodíky na vodu. U třicestného probíhá ještě redukce oxidů dusíku na dusík a oxid uhličitý. V současné době je katalyzátor schopen odstranit až 97 % uhlovodíků, 96 % oxidu uhelnatého a 90 % oxidů dusíku. [33]



Obrázek 4.6 - Katalyzátor s lambda sondou [33]

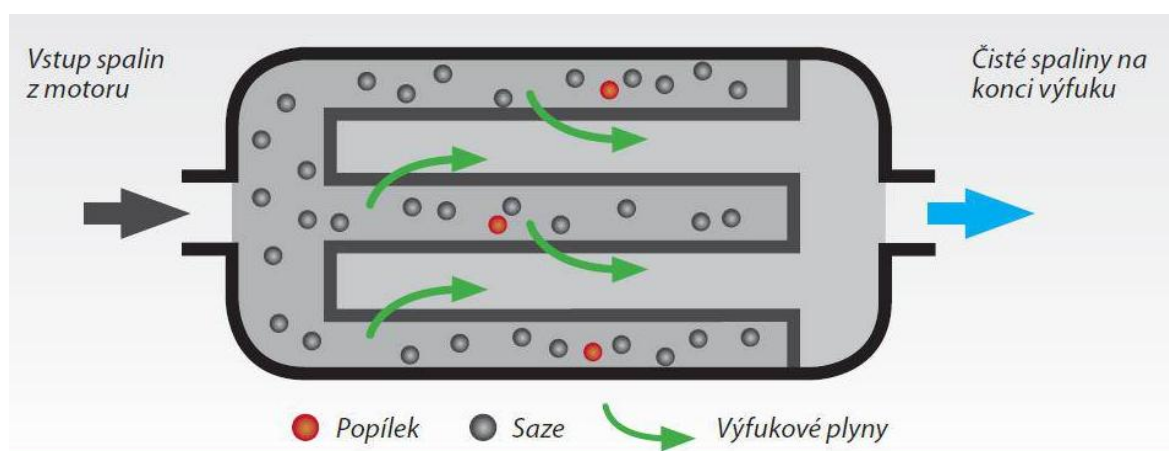


LAMBDA SONDA

Lambda sonda je součást výfukového potrubí. Její úkol je měření a hodnocení složení výfukových plynů. Tyto informace posílá řídicí jednotce. Ta poté upravuje množství vstříkovaného paliva tak, aby stechiometrický poměr byl 1. Pokud je stechiometrický menší než 1, narůstá obsah oxidu dusíku. Je-li poměr vyšší než 1, zvyšuje se obsah oxidu uhlíku.

FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC

Slouží k zachytávání pevných částic vznikajících převážně při spalování nafty. Částice se zachytávají na porézní materiál v kanálcích filtru. Současné filtry jsou schopny zachytávat i karcinogenní mikročástice do 0,005 mm. Filtry je po určitém ujetém počtu kilometrů nutné vyměnit. Nejvíce se poškozuje při jízdě krátkých tras, kdy se nestačí dostatečně zahřát a zregenerovat.



Obrázek 4.7 - Řez filtrem pevných částic [34]



5 WELL TO WHEELS

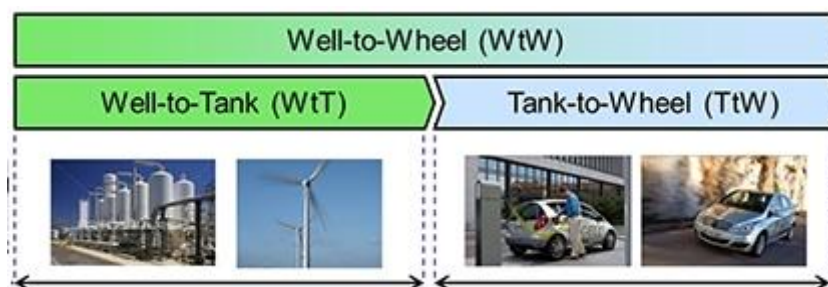
5.1 CO TO ZNAMENÁ WELL TO WHEELS

Well to wheels je analýza, která bere v úvahu nejenom emise při spalování paliva, ale i při výrobě a distribuci. Jedná se o typ analýzy, která umožňuje srovnávat emise v průběhu celého životního cyklu vozidla. To znamená porovnávat energie používané k těžbě a distribuci surovin až po přímé emise z výfuku. O to více je porovnání konvenčních paliv s alternativním pohonem komplexnější. Názorný příklad se dá uvést u elektromobilu. Ačkoli jsou elektromobily obecně brány jako k ovzduší velmi přátelská vozidla, což znamená, že neprodukují žádné emise ve výfukových plynech, tak toto tvrzení není zcela pravdivé.

K výrobě elektrické energie používané k jejich pohonu se produkuje také určité množství emisí. Takže při výrobě elektřiny pomocí spalování uhlí může jejich množství dosahovat stejné úrovně jako u konvenčních paliv. Pro všestrannější posouzení slouží právě Well to wheels analýza. WTW analýzu můžeme rozdělit na dvě části. První Well to Tank a druhou Tank to Wheels.

Well to Tank zahrnuje emise, případně energii vynaloženou na získání paliva a jeho dopravení do nádrže vozidla. To znamená těžbu suroviny, její transport, výrobu paliva a poté distribuci.

Tank to Wheels zahrnuje energii vynaloženou pro chod vozidla a emise vzniklé jeho provozem.



Obrázek 5.1 Well to Wheels analýza [35]

5.2 SROVNÁNÍ CNG A KONVENČNÍ PALIVA

Zemní plyn se z velké části těží z podzemních zásobníků, které jsou několik kilometrů pod povrchem. Energetická náročnost těžby závisí na tlaku uloženého plynu a na čistotě plynu. Surový zemní plyn obsahuje nežádoucí složky, nečistoty, písek a vodní páry, které musí být odstraněny. Poté může být plyn dále distribuován plynovým potrubím.

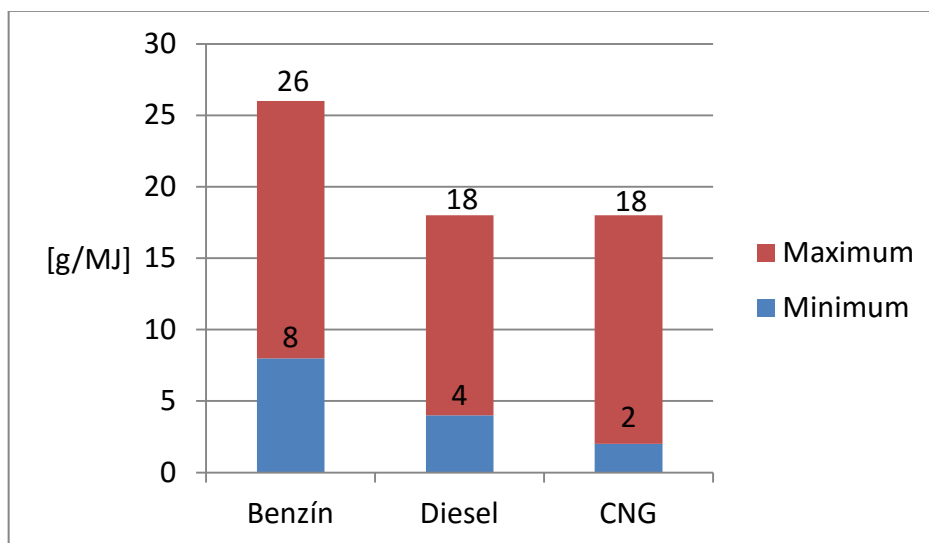
Ropa se čerpá také z podzemních zásobníků na pevnině i pod hladinou moře. Společně s ropou se dá těžit i zemní plyn. Část ropy vytéká pod tlakem, ale zbytek se těží pomocí pump. Ropa se přepravuje do rafinerií, kde se z nich vyrábí benzin nebo nafta. Proces výroby benzínu a nafty se nazývá rafinace. Tyto produkty jsou dále distribuovány tankery, lokálně kamiony.



Tabulka 5.1- Efektivita spotřeby energie při výrobě paliva [%] [36]

	Benzín	Diesel	CNG
Těžba	92,3 - 98,8	92,3 - 98,8	94,3 - 100,0
Transport	98,2 - 99,4	98,2 - 99,4	
Výroba	81,5 - 91,5	89,0 - 96,0	88,1 - 96,2
Distribuce	98,1 - 99,9	98,1 - 99,9	93,3 - 99,2
Celkem	73,0 - 90,0	80,0 - 94,0	79,0 - 97,0

Well to Tank analýza se zaměřuje také na spotřebu energie. Porovnání náročnosti těžby CNG a ropy závisí na mnoha aspektech, proto se nedá jednoznačně určit co je výhodnější. Zemní plyn má tu výhodu, že kromě odstranění nečistot nemusí být dále nijak upravován. U dopravy pomocí plynovodu odpadá potřeba dalších dopravních prostředků, které spotřebovávají energii. Záleží ovšem na vzdálenosti. Pokud se plyn dopravuje na kratší vzdálenosti pohybující se v řádu stovek kilometrů, klesá spotřeba energie o 5%, jsou-li tyto vzdálenosti tisícikilometrové, spotřeba energie je srovnatelná. U distribuce je to s energetickou náročností naopak. Distribuce plynu, kdy plyn musí být kompresory stlačován na požadovaných 20 MPa, je spotřeba energie až desetinásobná oproti distribuci konvenčních paliv.



Obrázek 5.2- Produkce CO₂ při výrobě paliva [g/MJ] [36]

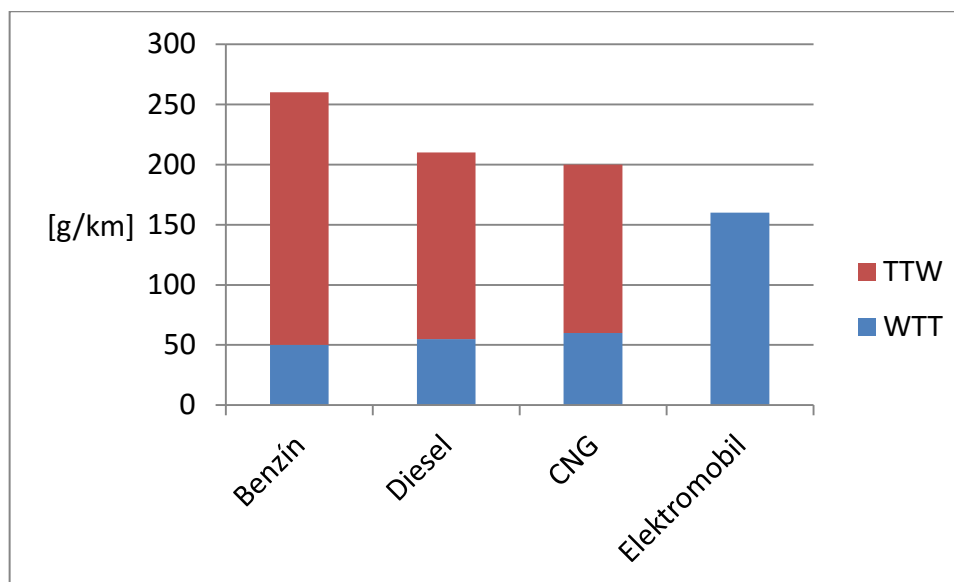
Další součástí Well to Wheels analýzy je srovnání emisních složek. Na obrázku 5.2 je uvedena tvorba oxidu uhličitého při výrobě paliva obsahující 1 MJ energie. Při výrobě benzínu vznikne nejvíc CO₂, což je způsobeno nejnáročnější výrobou. Tabulka 5.2 udává spotřebu energie, efektivitu paliva a vypuštěné emise CO₂ pro osobní automobil dle Well to Wheels analýzy. Spotřeba energie a efektivita paliva u benzínu nedosahuje takových hodnot jako diesel a CNG. Z těchto hodnot vyplývá, že se CNG může plnohodnotně srovnávat s konvenčními palivy a má potenciál je nahradit. V produkci oxidu uhličitého je na tom CNG také nejlépe, zatímco při spalování benzínu a nafty vznikne průměrně 70 g/MJ, u stlačeného zemního plynu je to o 10 g/MJ méně.

Tabulka 5.2 – WtW Srovnání efektivity paliv a jejich emisí CO₂ [36]

	Spotřeba energie [MJ/km]	Efektivita paliva [%]	Emise CO ₂ [g/km]
Benzín	2,3 - 3,7	11,0 - 18,0	165 - 269
Diesel	1,8 - 3,0	13,6 - 22,6	132 - 219
CNG	2,0 - 3,2	12,6 - 20,4	120 - 198

Z obrázku 5.3 je zřejmé, že dle WTW analýzy vzniká při ujetí jednoho kilometru u pohonu na CNG méně oxidu uhličitého než u konvenčních paliv. U benzínu vzniká nejvíce CO₂ z důvodu nižší efektivity při spalování. Pohon na naftu a CNG je u osobních automobilů z hlediska tvorby CO₂ hodně podobný. Například Škoda Octavia se stejně výkonným motorem (81 kW) při pohonu na CNG vypouští do ovzduší 94 g/km oxidu uhličitého, na naftu 99 g/km. Motor o stejném výkonu v benzínovém provedení produkuje 124 g/km. [37]

Elektromobil neprodukuje žádný oxid uhličitý při provozu automobilu v tzv. Tank to Wheels části. Avšak z obrázku 5.3 lze díky Well to Wheel analýze vidět, že produkce CO₂ při celém cyklu tvorby pohonu tohoto automobilu není zanedbatelná. Produkce CO₂ u elektromobilu závisí hlavně na zdroji elektrické energie. Pokud by tato energie byla z obnovitelných zdrojů, je hodnota CO₂ minimální, ale je potřeba si uvědomit, že nejvíce elektrické energie je vyráběno v tepelných elektrárnách z fosilních paliv (především hnědé a černé uhlí) a v jaderných elektrárnách. V České republice je podíl tepelných a jaderných elektráren okolo 80 %.

Obrázek 5.3- WTW průměrná produkce CO₂ u osobního automobilu [30]

Oxid uhličitý není jediná sledovaná látka. V následující tabulce je srovnání ostatních složek emisí pomocí well to wheels analýzy. Srovnání CNG s benzínem a naftou je provedeno tak, že konvenční palivo je vždy považováno za 100 %. V tabulce jsou uvedeny snížené, respektive zvýšené hodnoty emisí při spalování CNG v procentech v poměru k benzínu nebo naftě.



Tabulka 5.3 - WTW srovnání složek emisí [%] [38][39][40]

	CO	NO _x	HC	PM
CNG/benzín	55-75	70-130	35-50	50-70
CNG/diesel	62-80	25-45	55-75	60-80

Stlačený zemní plyn dosahuje u většiny emisních složek lepších výsledků. Starší analýzy uvádějí v oblasti pevných částic ještě výraznější snížení. CNG je schopno produkovat až o 90 % méně částic PM₁₀. Dnes jsou měřicí přístroje přesnější a normy přísnější a tak se měří i částice PM_{2,5}, kterých vzniká naopak při spalování CNG nejvíce. Z toho plyne, že snížení celkové produkce pevných částic u plynu není tak jednoznačné. [40]

U CNG by se nemělo zapomínat na metan, který vzniká při nedokonalém spalování nebo v důsledku netěsností. Metanu vzniká až 6 krát více než u konvenčních paliv. [40]

Tyto výsledky jsou pouze orientační, protože zde záleží na mnoha aspektech – například na výrobě a distribuci paliva, typu vozidla a druhu trasy. V městském provozu jsou výsledky jiné než při dlouhé vzdálenosti. Velký vliv na tyto hodnoty má také oblast původu, protože zemní plyn nemá po celém světě homogenní složení.



6 SROVNÁNÍ TECHNICKÝCH ÚDAJŮ ŠKODA OCTAVIA

Model Škody Octavia se již sériově vyrábí i s Bi-Fuel 1.4 TSI G-TEC pohonem na CNG. Podle automobilky se tato jednotka vůči běžnému benzinovému agregátu vyznačuje celou řadou úprav, které zaručují odolnost a trvanlivost jejích komponent při provozu na zemní plyn. Vozidlo s jednou nádrží na benzin a dvěma na zemní plyn má dojezd 1370 km. Po vyprázdnění plynových nádrží se motor po 430 km přepne na benzin a je schopen ujet dalších 940 km.



Obrázek 6.1 - Uložení nádrží v automobilu Škoda Octavia

Jak je patrné z tabulky 5.5, u pohonu na CNG dochází k mírnému poklesu výkonu. Mohlo by se také zdát, že se zvýší spotřeba, ale nesmí se zapomínat, že CNG je oproti benzinu o několik desítek procent levnější a díky minimální výši spotřební daně také v následujících letech bude. Podstatné je snížení emisí, kdy vypouštěné množství CO_2 klesne na úroveň 94 g/km a množství pevných částic (PM_{10}) je sníženo na několik procent. Emise NO_x jsou nižší až o 80% než u benzinových motorů. Ekologii napomáhá také Start-Stop systém.

Tabulka 6.1 - Srovnání technických parametrů Škoda Octavia [37]

Palivo	benzin	benzin / CNG	nafta
Motor	1,2 TSI	1,4 TSI / G-TEC	1,6 TDI
Počet válců	4	4	4
Zdvihový objem (cm ³)	1197	1395	1598
Celková hmotnost (kg)	1780	1878	1855
Max. výkon / otáčky (kW/min-1)	81/4600-5600	81/4800-6000	81/3200-4000
Max. rychlost (km/h)	199	195	197
Spotřeba město (l/100km)	6,1	6,9/CNG: 6,8 m ³	4,4
Spotřeba mimo město (l/100km)	4,2	4,4/CNG: 4,4 m ³	3,4
Spotřeba kombinovaná (l/100km)	4,9	5,3/CNG: 5,3 m ³	3,8
Emise CO₂ (g/km)	114	124/CNG: 94	99
Náklady na PHM (Kč/km)	1,76	0,9	1,42
Cena (Kč)	446 900	504 900	489 900



ZÁVĚR

CNG je velmi perspektivní palivo, které se bude nadále více rozšiřovat nejenom v hromadné dopravě, ale i v osobních automobilech. Ostatní alternativní pohony nyní nemají takový potenciál pro rozšíření jako CNG. LPG je sice po benzínu a naftě třetí nejrozšířenější palivo, pro které je zde vybudována široká síť čerpacích stanic, ale problémem je jeho výroba, která je závislá na těžbě ropy. U biopaliv není pravděpodobné další velké rozšiřování, a to zejména z důvodu negativních ohlasů na nutnost dalšího zabírání orné půdy. Elektromobily mají vysokou pořizovací cenu a krátký dojezd. Krátký dojezd mají také vozy na CNG, ovšem zde je u většiny vozů možnost přepnout na benzín a CNG na nejbližší plnicí stanici dotankovat. To u elektromobilů nejde, zde je doba nabíjení v řádu hodin. Z výše uvedeného shrnutí vyplývá, že CNG má do budoucna velký potenciál, který může s podporou plynárenských společností a státu ještě dále růst. Toto palivo může být jedním z mostů mezi érou ropných paliv a érou vodíku a vodíkových článků.

Na to, aby CNG v České republice získalo větší prostor na trhu s palivy, je potřeba čas pro zlepšení informovanosti populace a pro rozvoj infrastruktury. Pozitivní je, že počet nově otevřených plnicích stanic meziročně narůstá a ceny soukromých plnicích stanic klesají. Prodej CNG v České republice se za poslední dva roky zdvojnásobil a oproti roku 2011 je prodej čtyřnásobný. To ukazuje, jak rychle se v ČR rozšiřuje. Společně s úsporou za pohonné hmoty a snížením negativních dopadů na životní prostředí by se mohlo jednat o nejatraktivnější alternativní pohon následujících desetiletí.

Z hlediska vlivu na životní prostředí patří CNG k nejčistším palivům. Spalováním stlačeného zemního plynu vzniká o několik jednotek až desítek procent méně škodlivin ve výfukových plynech než u konvenčních paliv. Spalováním CNG se produkuje méně HC a CO₂, množství SO₂ a PM₁₀ je téměř zanedbatelné. Otázka mikročástic není úplně jednoznačná, ovšem celkově je k životnímu prostředí šetrnější než bezin nebo nafta. Tyto aspekty budou v budoucnu hrát stále větší roli, jelikož množství automobilů neustále narůstá. Se stoupajícím počtem automobilů se navyšuje také množství škodlivin vypouštěných do ovzduší a současně s tím narůstá také množství zdravotních obtíží, zvláště ve velkých městech kde je hustota provozu největší. Ekologické výhody CNG ve spojení s výhodami ekonomickými by mohly motivovat vlády jednotlivých států k většímu prosazování tohoto alternativního paliva, což by vedlo k rychlejšímu rozvoji zemního plynu v dopravě.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [2] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily. 3, Motory*. 5. vyd. Brno: Avid, 2008. ISBN 978-80-87143-06-3brož.
- [3] *Wards auto* [online]. 2011 [cit. 2016-01-23]. Dostupné z: <http://wardsauto.com/news-analysis/world-vehicle-population-tops-1-billion-units>
- [4] International Energy Statistics. *Total Petroleum Consumption* [online]. [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=5&pid=5&aid=2>
- [5] Peking zahalil rekordný smog. *Teraz* [online]. 2013 [cit. 2016-02-14]. Dostupné z: <http://www.teraz.sk/zahranicie/peking-smog-rekord/34367-clanok.html>
- [6] Lidové noviny. *Archiv lidových novin* [online]. 2015 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.lidovenoviny.cz/archiv.aspx?d=2.+7.+2015>
- [7] Auto.cz. *Tesla model S* [online]. 2015 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/test-tesla-model-s-p85d-tohle-je-budoucnost-87792>
- [8] European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy. *Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context* [online]. European Union, 2011 [cit. 2016-02-26]. DOI: 10.2788/79018. ISSN 1831-9424.
- [9] NaturalGas. *History* [online]. 2013 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://naturalgas.org/overview/history/>
- [10] CNG.cz. *Historie* [online]. 2015 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/historie-130/>
- [11] Zemní plyn. *Co je zemní plyn* [online]. 2013 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://www.zemniplyn.cz/plyn/>
- [12] ZACHARIAH-WOLFF, J. Leslie, Tineke M. EGYEDI a Kas HEMMES. From natural gas to hydrogen via the Wobbe index: The role of standardized gateways in sustainable infrastructure transitions. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. Elsevier Ltd, 2007, **32**(9), 1235-1245 [cit. 2016-04-14]. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2006.07.024. ISSN 0360-3199.
- [13] CNG 4 you. *Vývoj cen paliv* [online]. 2015 [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/kolik-to-stoji/vyvoj-cen-cng-v-cr-a-dalsich-paliv.html>
- [14] CNG+. *Legislativa* [online]. 2015 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://www.cngplus.cz/o-cng/legislativa.html>
- [15] CNG 4 you. *Statistiky* [online]. 2015 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/statistiky.html>



- [16] Cng. *Stanice* [online]. 2015 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/interaktivni-mapa/>
- [17] Hybrid. *Přestavba škoda octavia* [online]. 2011 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/test-cng-prestavba-skody-octavia-combi>
- [18] Tepelné motory [online]. 2011 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://www.scrigroup.com/limba/ceha-slovaca/51/Tepeln-motory51638.php>
- [19] STETTLER, Marc E J, William J B MIDGLEY, Jacob J SWANSON, David CEBON a Adam M BOIES. Greenhouse Gas and Noxious Emissions from Dual Fuel Diesel and Natural Gas Heavy Goods Vehicles. *Environmental science & technology* [online]. 2016, **50**(4), 2018 [cit. 2016-03-18]. DOI: 10.1021/acs.est.5b04240.
- [20] DENG, Jiao, Fanhua MA, Shun LI, Yituan HE, Mingyue WANG, Long JIANG a Shuli ZHAO. Experimental study on combustion and emission characteristics of a hydrogen-enriched compressed natural gas engine under idling condition. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. Elsevier Ltd, 2011, **36**(20), 13150-13157 [cit. 2016-04-11]. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.07.036. ISSN 0360-3199.
- [21] Auto moto revue. *Česká televize* [online]. 2010 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/porady/1170433294-auto-moto-revue/210562221500008/3867-automobily/?clanek=909>
- [22] ABU, Rosli, K. KADIRGAMA, M.M. RAHMAN, K.V. SHARMA a SEMI. Application of Natural Gas for Internal Combustion Engines. *Advances in Natural Gas Technology* [online]. InTech, 2012 [cit. 2016-03-08]. DOI: 10.5772/38896. ISBN 978-953-51-0507-7. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/advances-in-natural-gas-technology/application-of-natural-gas-for-internal-combustion-engines>
- [23] Palivové soustavy zážehových motorů se vstřikováním paliva. *TZNJ* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: http://www.tznj.cz/uploads/ucebnice_top1/files/16.html
- [24] International Energy Agency. *CO2 Emissions From Fuel Combustion Highlights* [online]. France, 2013 [cit. 2016-03-08].
- [25] RISTOVSKI, Z, L MORAWSKA, G.A AYOKO, G JOHNSON, D GILBERT a C GREENAWAY. Emissions from a vehicle fitted to operate on either petrol or compressed natural gas. *Science of the Total Environment* [online]. 2004, **323**(1), 179-194 [cit. 2016-02-23]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2003.10.023. ISSN 0048-9697.
- [26] ITANO, Yasuyuki, et al. Impact of NO_x reduction on long-term ozone trends in an urban atmosphere. *Science of the total environment*, 2007, **379**.1: 46-55.
- [27] Å. M. HALLQUIST, M. JERKSJÖ, H. FALLGREN, J. WESTERLUND a Å. SJÖDIN. Particle and gaseous emissions from individual diesel and CNG buses. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* [online]. 2012, **12**(10), 27737-27773 [cit. 2016-02-22]. DOI: 10.5194/acpd-12-27737-2012. ISSN 1680-7367
- [28] KHAN, Muhammad, Tabassum YASMIN a Abdul SHAKOOR. International experience with compressed natural gas (CNG) as environmental friendly fuel. *Energy*



- Systems* [online]. Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 0151n. l., 6(4), 507-531 [cit. 2016-03-21]. DOI: 10.1007/s12667-015-0152-x. ISSN 1868-3967.
- [29] Dieselnets. *Emission Standards* [online]. 2015 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <https://www.dieselnets.com/standards/eu/ld.php>
- [30] CURRAN, Scott J., Robert M. WAGNER, Ronald L. GRAVES, Martin KELLER a Johny B. GREEN. Well-to-wheel analysis of direct and indirect use of natural gas in passenger vehicles. *Energy* [online]. Elsevier Ltd, 2014, 75, 194-203 [cit. 2016-03-26]. DOI: 10.1016/j.energy.2014.07.035. ISSN 0360-5442.
- [31] CNG. *Ekologie* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/ekologie>
- [32] DENG, Jiao, Fanhua MA, Shun LI, Yituan HE, Mingyue WANG, Long JIANG a Shuli ZHAO. Experimental study on combustion and emission characteristics of a hydrogen-enriched compressed natural gas engine under idling condition. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. Elsevier Ltd, 2011, 36(20), 13150-13157 [cit. 2016-04-18]. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.07.036. ISSN 0360-3199.
- [33] Autolexicon. *Katalyzátor* [online]. 2012 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/katalyzator/>
- [34] Filtry pevných částic. *Elit* [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.elit.cz/produkty/filtry-pevných-castic-dpffap.html>
- [35] Fuel cell. *Well-to-Wheel - Integral Efficiency Analysis* [online]. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.fuel-cell-e-mobility.com/h2-infrastructure/well-to-wheel-en/>
- [36] HEKKERT, Marko P., Franka H.J.F. HENDRIKS, Andre P.C. FAAIJ a Maarten L. NEELIS. Natural gas as an alternative to crude oil in automotive fuel chains well-to-wheel analysis and transition strategy development. *Energy Policy* [online]. 2005, 33(5), 579-594 [cit. 2016-03-15]. DOI: 10.1016/j.enpol.2003.08.018. ISSN 0301-4215
- [37] Škoda-auto. *Škoda octavia* [online]. 2016 [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/SiteCollectionDocuments/skoda-auto/ke-stazeni/octavia-katalog.pdf>
- [38] EDWARDS, Robert, Heinz HASS, Jean-François LARIVÉ, Laura LONZA, Heiko MASS a David RICKEARD. WELL-TO-WHEELS ANALYSIS OF FUTURE AUTOMOTIVE FUELS AND POWERTRAINS IN THE EUROPEAN CONTEXT. *WELL-TO-WHEELS Report Version 4.a* [online]. 2014 [cit. 2016-04-19].
- [39] SHEN, Wei, Weijian HAN, David CHOCK, Qinhua CHAI a Aling ZHANG. Well-to-wheels life-cycle analysis of alternative fuels and vehicle technologies in China. *Energy Policy* [online]. 2012, 49, 296-307 [cit. 2016-04-19]. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.06.038. ISSN 0301-4215.
- [40] HUO, Hong, Ye WU a Michael WANG. Total versus urban: Well-to-wheels assessment of criteria pollutant emissions from various vehicle/fuel systems. *Atmospheric Environment* [online]. 2009, 43(10), 1796-1804 [cit. 2016-04-19]. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.12.025. ISSN 1352-2310.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CH ₄	Metan
CNG	Compressed natural gas – stlačený zemní ply
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
HC	Hydro-carbon - uhlovodík
HCNG	Hydrogen enriched compressed natural gas (CNG + vodík)
LNG	Liquefied Natural Gas – zkapalněný zemní plyn
LPG	Liquefied Petroleum Gas – zkapalněný ropný plyn
NO _x	Oxidy dusíku
PM	Particulate matter – pevné částice
SO ₂	Oxid siřičitý