



# PROJEKT PLNICÍHO ZAŘÍZENÍ CNG

## Diplomová práce

*Studijní program:* N2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení  
*Autor práce:* **Bc. Mirko Šída**  
*Vedoucí práce:* doc. Ing. Josef Laurin, CSc.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Mirko Šída**  
Osobní číslo: **S12000467**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**  
Název tématu: **Projekt plnicího zařízení CNG**  
Zadávací katedra: **Katedra vozidel a motorů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Na základě literární rešerše shrňte a kriticky zhodnoťte způsoby a možnosti plnění nádrží vozidel o celkové hmotnosti do 3,5 t palivem CNG.
2. Zpracujte projekt plnicího zařízení CNG pro vybraná vozidla plynárenské společnosti včetně konstrukčního provedení kompresoru pro stlačování zemního plynu. Vstupní tlak plynu do kompresoru bude min. 5,5 MPa a výstupní tlak 30 MPa.
3. Proveďte hodnocení projektu z hlediska ekonomie provozu vozidel a snížení produkce výfukových škodlivin po náhradě motorové nafta CNG.

# PROJEKT PLNICÍHO ZAŘÍZENÍ CNG

## Anotace

Tato diplomová práce se zabývá plněním nádrží vozidel do 3,5 tuny stlačeným zemním plynem. V první části práce jsou popsány možnosti plnění vozidel tímto palivem, současný stav v České republice a stručně shrnuty výhody a nevýhody provozu vozidel na stlačený zemní plyn. Ve druhé části byl zpracován projekt plnicího zařízení pro plynářskou společnost včetně konstrukčního návrhu jednostupňového kompresoru o výkonu 16 Nm<sup>3</sup>/h, přičemž tlak plynu na vstupu je netradičně 5,5 MPa a na výstupu 30 MPa. V poslední části této diplomové práce je zpracována výměna vozidel poháněných klasickými pohonnými hmotami za vozidla na stlačený zemní plyn a vyhodnocena ekonomická, ekologická a praktická výhodnost této výměny.

Klíčová slova: stlačený zemní plyn, CNG, plnicí zařízení, plnicí stanice, vysokotlaký kompresor, výměna vozového parku

# PROJECT OF CNG FILLING EQUIPMENT

## Annotation

This diploma thesis is about filling fuel tanks of vehicles under 3,5 tons by compressed natural gas. In the beginning there is a few possibilities, how we can fill fuel tanks of vehicles by this fuel, actual situation in Czech Republic and shortly summarization of advantages and disadvantages of compressed natural gas fuelled vehicles. In the second part was made a project of filling equipment for a gas company, which contains construction of single-stage compressor. Compressor has flow 16 Nm<sup>3</sup> per hour and inlet pressure is unusual 5,5 MPa, outlet pressure is 30 MPa. In the end of the diploma thesis, there is a replacement of petrol and diesel fuelled vehicles by compressed natural gas fuelled vehicles and there is an evaluation of this step from the point of view of economy, ecology and functionality.

Key words: compressed natural gas, CNG, filling equipment, filling station, high-pressure compressor, exchange of vehicles

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

V Liberci dne .....

.....

podpis

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce, Doc. Ing. Josefu Laurinovi, CSc. z Katedry vozidel a motorů na Technické univerzitě v Liberci, a konzultantovi, Ing. Miroslavu Čepickému z Aquacentra Praha s.r.o., za cenné informace a připomínky, které mi poskytli během zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří svou pomocí, podporou, názorem či radou přispěli k vytvoření této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat celé své rodině za trpělivost a podporu při studiu.

V Liberci dne .....

Mirko Šída

## Seznam symbolů a jednotek

$a$	vzdálenost mezi ložiskem A a B	[m]
$a_1$	vzdálenost mezi oky pístu	[m]
$b$	vzdálenost mezi silou zatěžující ložiska a ložiskem B	[m]
$b$	šířka profilu dřívku ojnice	[m]
$b$	šířka oka ojnicního čepu	[m]
$c_s$	střední pístová rychlost	[m/s]
$d_a$	vnější průměr pístního čepu	[m]
$d_h$	průměr hřídele	[m]
$d_{min}$	minimální průměr hřídele	[m]
$d_i$	vnitřní průměr pístního čepu	[m]
$h$	výška profilu dřívku ojnice	[m]
$h$	výška pístu	[m]
$h_{1kr}$	vzdálenost prvního pístního kroužku ode dna pístu	[m]
$h_k$	vzdálenost osy pístního čepu ode dna pístu	[m]
$k$	součinitel bezpečnosti	[-]
$l_{\check{c}}$	délka pístního čepu	[m]
$l_e$	délka pro výpočet maximálního ohybového momentu	[m]
$l_o$	délka ojnice	[m]
$l_p$	délka pera	[m]
$l_{pmin}$	minimální délka pera	[m]
$m$	hmotnost	[kg]
$n$	otáčky	[1/min]
$n$	polytropický exponent	[Pa]
$p$	exponent rovnice trvanlivosti	[-]
$p_1$	tlak mezi pístním čepem a ojnicním okem	[Pa]
$p_d$	dovolený tlak v drážce pro pero	[Pa]
$p_{d1}$	dovolený tlak mezi pístním čepem a ojnicním okem	[Pa]
$p_{d2}$	dovolený tlak mezi pístním čepem a oky pístu	[Pa]
$p_{ref}$	referenční tlak	[Pa]
$p_s$	tlak v sacím hrdle	[Pa]
$p_v$	tlak ve výtlačném hrdle	[Pa]

$r$	měrná plynová konstanta	[J/kg·K]
$r$	poloměr kliky	[m]
$t_1$	výška drážky pro pero v náboji	[m]
$B$	šířka dřívku ojnice	[m]
$C$	základní dynamická únosnost ložiska	[N]
$D$	průměr pracovního pístu	[m]
$D_V$	průměr vodicího pístu	[m]
$F$	síla působící na píst	[N]
$F_{\max}$	maximální síla zatěžující píst	[N]
$F_r$	radiální síla působící na ložiska	[N]
$H$	výška dřívku ojnice	[m]
$J_x$	kvadratický moment průřezu k ose x	[m <sup>4</sup> ]
$J_y$	kvadratický moment průřezu k ose y	[m <sup>4</sup> ]
$L$	zdvih pístu	[m]
$L_{h10}$	trvanlivost ložiska	[h]
$M_k$	krouticí moment	[Nm]
$M_{O\max}$	maximální ohybový moment	[Nm]
$P$	ekvivalentní dynamické zatížení	[N]
$P_{\text{teor}}$	teoretický příkon	[W]
$P_{\text{mot}}$	potřebný výkon elektromotoru	[W]
$P_{\text{skut}}$	skutečný výkon elektromotoru	[W]
$R_A$	reakční síla v místě ložiska A	[N]
$R_B$	reakční síla v místě ložiska B	[N]
$R_e$	mez kluzu v tahu	[Pa]
$R_m$	mez pevnosti v tahu	[Pa]
$S$	plocha pístu	[m <sup>2</sup> ]
$T_{\text{ref}}$	referenční teplota	[K]
$T_S$	teplota nasávaného zemního plynu	[K]
$T_V$	konečná teplota po stlačení zemního plynu	[K]
$V_S$	objem skutečně nasátého plynu	[m <sup>3</sup> ]
$V_{\S}$	objem škodlivého prostoru	[m <sup>3</sup> ]
$V_Z$	zdvihový objem	[m <sup>3</sup> ]
$\dot{V}$	objemový průtok	[m <sup>3</sup> /h]

$\dot{V}_N$	objemový průtok za normálních podmínek	$[\text{Nm}^3/\text{h}]$
$\dot{V}_{\text{skut}}$	skutečný objemový průtok	$[\text{m}^3/\text{h}]$
$W_O$	průřezový modul pístního čepu v ohybu	$[\text{m}^3]$
$W_{\text{pol}}$	práce při polytropickém stlačení	$[\text{J}]$
$\varepsilon$	poměrná velikost škodlivého prostoru	$[-]$
$\vartheta$	poměr zdvihu a průměru pístu	$[-]$
$\eta_d$	dopravní účinnost	$[-]$
$\eta_m$	mechanická účinnost	$[-]$
$\eta_V$	objemová účinnost	$[-]$
$\kappa$	Poissonova konstanta	$[-]$
$\lambda_x$	štíhlostní poměr ojnice v rovině kolmé na rovinu kyvu	$[-]$
$\lambda_y$	štíhlostní poměr ojnice v rovině kyvu	$[-]$
$\pi$	kompresní poměr	$[-]$
$\pi$	Ludolfovo číslo	$[-]$
$\sigma_{Dd}$	dovolené napětí dřívku ojnice v tlaku	$[\text{Pa}]$
$\sigma_d$	napětí dřívku ojnice v tlaku	$[\text{Pa}]$
$\sigma_O$	napětí v ohybu	$[\text{Pa}]$
$\sigma_{DO}$	dovolené napětí v ohybu	$[\text{Pa}]$
$\tau_{Dk}$	dovolené napětí v krutu	$[\text{Pa}]$



## Obsah

1 ÚVOD.....	10
2 PLNĚNÍ NÁDRŽÍ VOZIDEL PALIVEM CNG .....	12
2.1 ZEMNÍ PLYN.....	12
2.2 DRUHY PLNĚNÍ NÁDRŽÍ VOZIDEL PALIVEM CNG.....	13
2.3 PLNICÍ ZAŘÍZENÍ NA ČESKÉM TRHU .....	15
2.4 PLNICÍ STANICE V ČESKÉ REPUBLICE.....	18
2.5 ZHODNOCENÍ PROVOZU VOZIDEL NA PALIVO CNG .....	19
3 PLNICÍ ZAŘÍZENÍ CNG .....	21
3.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY KOMPRESORU .....	21
3.2 NÁVRH A KONTROLA JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ KOMPRESORU .....	26
3.3 PŘÍSLUŠENSTVÍ KOMPRESORU .....	34
3.4 NAVRŽENÝ KOMPRESOR .....	35
3.5 NÁVRH PLNICÍHO ZAŘÍZENÍ CNG .....	36
4 NÁHRADA VOZOVÉHO PARKU .....	38
4.1 SÉRIOVĚ VYRÁBĚNÁ VOZIDLA POHÁNĚNÁ CNG DOSTUPNÁ NA ČESKÉM TRHU.....	38
4.2 VÝMĚNA VOZOVÉHO PARKU PLYNÁRENSKÉ SPOLEČNOSTI.....	51
5 ZÁVĚR.....	56
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	58
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	61
SEZNAM TABULEK.....	62
SEZNAM PŘÍLOH .....	63

# 1 ÚVOD

Automobil se za 130 let své existence postupně stal nedílnou součástí našeho světa a dnešní dobu si bez něj již prakticky neumíme představit. Spalovací motory, kterými je dodnes převážná většina automobilů poháněna, si prošly dlouhou cestou vývoje a modernizací, čímž se dostaly až na samou hranici fyzikálních možností. V současné době však stále více a více řešíme otázku, jakými palivy budou tyto motory v budoucnu poháněny, protože ropa patří mezi fosilní paliva a předpokládá se, že jednoho dne zdroje ropy již nebudou stačit našim potřebám a dojde k jejich vyčerpání. Lidstvo tím pádem přijde o možnost vyrábět benzín a motorovou naftu a bude si muset najít jinou cestu. Z tohoto důvodu a ze stále většího tlaku nadřízených orgánů na ekologii provozu vozidel se již nyní snaží výrobci vozidel začleňovat do svých programů různá alternativní paliva, mezi která patří bionafta, bioetanol, biometanol, LPG, bioplyn, biovodík a v neposlední řadě i zemní plyn. Zemní plyn sice také patří mezi fosilní paliva, předpokládá se však, že jeho zásoby jsou ještě dostatečně velké a vystačí na mnohem delší dobu než ropa. Kromě toho je zemní plyn považován i za ekologické palivo a z tohoto důvodu se s ním počítá jako s jedním z možných paliv budoucnosti.

Cílem této diplomové práce je v první fázi rešerše způsobů a možností plnění vozidel o celkové hmotnosti do 3,5 t stlačeným zemním plynem, objektivní shrnutí výhod a nevýhod provozování motorových vozidel na toto palivo a porovnání s tradičními kapalnými palivy.

V další části této diplomové práce by mělo dojít k vypracování projektu plnicího zařízení CNG pro vozidla plynárenské společnosti o celkové hmotnosti do 3,5 t. Součástí tohoto úkolu je i konstrukční návrh kompresoru pro stlačování zemního plynu, který je hlavní součástí celého plnicího zařízení. Výhodou plynárenské společnosti je fakt, že kompresor je možné připojit na vysokotlaké potrubí a využít tak minimálního vstupního tlaku do kompresoru 5,5 MPa, čímž by se měla snížit energetická náročnost při stlačování zemního plynu. Požadovaný tlak na výstupu z kompresoru je 30 MPa. Tímto by se nově navržený kompresor měl lišit od dnes standardně nabízených kompresorů, které bez výjimky stlačují zemní plyn z normálního atmosférického tlaku, a z tohoto důvodu bývají zpravidla tři až čtyřstupňové. U konvenčních plnicích zařízení, pokud jsou připojeny na dopravní potrubí

s vyšším než atmosférickým tlakem, dochází nejprve k redukci tlaku a následnému stlačování na požadovaný výstupní tlak, což není energeticky právě nejpříznivější.

Posledním cílem této diplomové práce je zhodnocení projektu v případě nahrazení vozidel plynárenské společnosti či motorovou naftu vozidly na stlačený zemní plyn. V této části bych rád provedl porovnání vozidel na jednotlivá paliva ať už z hlediska ekonomického (pořizovací cena vozidel, náklady na jeden ujetý kilometr apod.), z hlediska ekologického (např. snížení produkce výfukových škodlivin), ale i z hlediska praktického využití těchto vozidel na různá paliva (např. maximální dojezd).

## 2 PLNĚNÍ NÁDRŽÍ VOZIDEL PALIVEM CNG

### 2.1 ZEMNÍ PLYN

Zemní plyn je bezbarvý, nejedovatý, nedýchatelný, sám o sobě nezapáchající, vysoce výhřevný přírodní plyn, který je složen převážně z plynných uhlovodíků a malého množství příměsí nehořlavých složek (především dusík a oxid uhličitý). Hlavní složkou zemního plynu je metan, jeho obsah v plynu z různých míst těžby je v rozmezí od 80 % do 99 %. Do České republiky je přiváděn ruský plyn s obsahem přibližně 98 % metanu, norský plyn obsahuje asi 85 % metanu. Zemní plyn patří mezi tzv. topné plyny a hojně se využívá k vytápění, ohřevu vody, výrobě elektrické energie, v kogeneračních jednotkách a v neposlední řadě i jako pohon motorových vozidel. Zemní plyn je fosilním palivem, oproti ostatním palivům této kategorie má však obrovskou výhodu ve výrazně menším množství uvolněných škodlivin vzniklých při spalování. Jako palivo pro vozidla se využívá ve dvou formách - jako zkapalněný zemní plyn při teplotě  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , který bývá označován LNG (Liquified Natural Gas), nebo jako stlačený zemní plyn při tlaku až 30 MPa, který bývá označován CNG (Compressed Natural Gas).

složení zemního plynu		vlastnosti zemního plynu	
CH <sub>4</sub>	98,0 %	výhřevnost	34,08 MJ/m <sup>3</sup>
vyšší uhlovodíky	1,16 %	spalné teplo	37,82 MJ/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	0,05 %	hustota	0,69 kg/m <sup>3</sup>
N <sub>2</sub>	0,79 %	meze výbušnosti	5 – 15 %
S	0,20 mg/m <sup>3</sup>	zápalná teplota	650 °C
		teplota plamene	1957 °C

Tab. 1 Složení zemního plynu [1], vlastnosti zemního plynu [2]

Oproti klasickým palivům má zemní plyn značnou ekologickou výhodu. Díky jeho složení se při spalování uvolňuje menší množství škodlivých oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, ale dochází i ke snížení emisí oxidu uhličitého a ke snížení množství nebezpečných karcinogenních látek (polyaromatické uhlovodíky, aldehydy apod.). Dalším ekologickým pozitivem zemního plynu je, že do něj nejsou přidávána žádná aditiva a při jeho spalování prakticky nevzniká oxid siřičitý. Při plnění nádrží též nedochází k odparům paliva, ani ke kontaminaci půdy, jak tomu může být při ukápnutí klasického kapalného paliva. Zápalná teplota zemního plynu je více než dvojnásobná než u klasických paliv, což výrazně zvyšuje

jeho provozní bezpečnost. Z důvodu nízké teploty tuhnutí má zemní plyn, zejména oproti naftě, výhodu v lepším startování motoru za nízkých teplot. Předností zemního plynu je i fakt, že jej není možné z nádrže ukrást.

	benzín	nafta	LPG	zemní plyn
oktanové číslo [-]	91 až 98	-	100 -110	128
cetanové číslo [-]	-	51 až 55	-	-
teplota vzplanutí [°C]	-20	55	-	-
teplota hoření [°C]	-20	80	-	-
teplota vznícení [°C]	260	250	430	537
teplota varu [°C]	30 až 210	150 až 370	-42 až 0	-162
teplota tuhnutí [°C]	-40	0	-40	-182
hustota při 15 °C [kg/m <sup>3</sup> ]	725 až 775	820 až 845	502 až 579	0.678
mez výbušnosti (směs se vzduchem) [-]	0,6 až 8	0,5 až 6,6	1,5 až 11	4,4 až 15

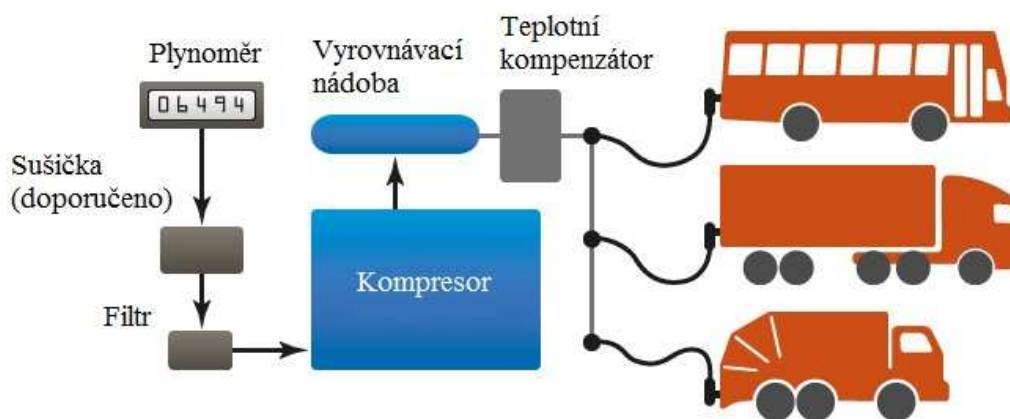
Tab. 2 Porovnání vlastností jednotlivých paliv [3]

## 2.2 DRUHY PLNĚNÍ NÁDRŽÍ VOZIDEL PALIVEM CNG

Pro plnění nádrží vozidel palivem CNG se rozlišují dvě metody. Podle rychlosti plnicího procesu se jedná buď o pomalé plnění plnicím zařízením, kdy proces probíhá po dobu několika hodin, nebo o rychlé plnění na plnicích stanicích, kde jsme schopni natankovat celou nádrž automobilu v rozmezí několika málo minut stejně, jako je tomu na klasických čerpacích stanicích.

Pomalé plnění lze využít jak pro osobní účely, kdy má řidič plnicí zařízení nainstalované doma v garáži, připojené na plynovod a přes noc nechává doplňovat nádrže automobilu, ale taktéž se hojně využívá u firem s větším počtem vozidel, kde všechna vozidla parkují na jednom místě a v době jejich nečinnosti je možné dotankovat jejich nádrže. Často je tento způsob plnění používám i pro specializovaná vozidla např. vysokozdvizné vozíky. Z důvodu pomalejšího plnění, převážně v noci, je u tohoto způsobu plnění výhodné používat vozidla s co možná největším objemem nádrží. Hlavní součástí pomalu plnicího zařízení je kompresor, který bývá zpravidla připojen přímo na plynovod a kterým je plněna přímo tlaková nádoba ve vozidle. V některých případech bývá za kompresorem umístěna malá

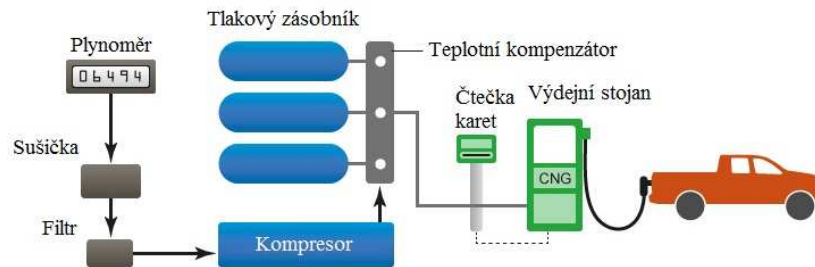
vyrovnávací nádoba, která slouží k tomu, aby nedocházelo ke zbytečnému vypínání a zapínání kompresoru. Před kompresorem může být umístěna sušička plynu a filtr. Tato zařízení pro pomalé plnění mívají zpravidla výkon do 20 m<sup>3</sup>/hod. Doba plnění závisí na počtu připojených vozidel, velikosti kompresoru a na velikosti vyrovnávací nádoby, většinou však doba k naplnění celé nádrže bývá několik hodin. Výhodou těchto zařízení je jednoduchá instalace, snadná obsluha, plně automatický provoz (po naplnění nádrže se zařízení automaticky vypíná), a v neposlední řadě i ekonomické úspory v souvislosti s možností rozhodnutí, kdy bude docházet k plnění (provoz na noční proud). Pro mnoho lidí může být i značnou výhodou nezávislost na veřejných stanicích na CNG, případně jistota, že každý den mohou vyjet s plnou nádrží. Nevýhodou těchto plniček je vyšší pořizovací cena a pro některé aplikace se nehodí z důvodu pomalého plnění.



Obr. 1 Zařízení pro pomalé plnění vozidel palivem CNG [4]

Druhou metodou plnění nádrží vozidel stlačeným zemním plynem je rychlé plnění pomocí plnicích stanic. Tato metoda je vhodná všude tam, kde dochází k nahodilému, nepředpokládatelnému příjezdu vozidel a je žádoucí co možná nejrychlejší dotankování jejich prázdných nádrží. Většinou tyto stanice bývají součástí čerpacích stanic na klasické pohonné hmoty, natankování plné nádrže stlačeným zemním plynem trvá maximálně do 5 minut, což zhruba odpovídá době strávené tankováním benzínu nebo nafty. Zemní plyn z plynovodní přípojky se nejprve zbavuje možného kondenzátu a případných nečistot v sušičce a následně je kompresorem, zpravidla ve třech až čtyřech stupních, komprimován na tlak až 30 MPa. Stlačený plyn potom putuje do tlakových zásobníků, kde je připraven pro okamžité doplnění vozidla. Pro samotné plnění vozidel se využívá především moderních samoobslužných

výdejních stanic na registrovanou kartu nebo čip, konektor hadice výdejních stanic se rychloupínací spojkou připojí na plnicí ventil vozidla a dochází k plnění nádrže vozidla na daný provozní tlak 20 – 22 MPa.



Obr. 2 Zařízení pro rychlé plnění vozidel palivem CNG [4]

## 2.3 PLNICÍ ZAŘÍZENÍ NA ČESKÉM TRHU

V současnosti jsou na českém trhu k dispozici tři značky plnicích zařízení CNG, jedná se o domácí Motor Jikov a dále o výrobky italských výrobců Coltri a BRC Fuelmaker.

Motor Jikov má ve svém portfoliu různá plnicí zařízení s výkonem 5, 10, 15 a 20 Nm<sup>3</sup>/hod, přičemž vyšší varianty těchto zařízení jsou netradičně vybaveny i zásobníky stlačeného zemního plynu pro potřeby rychlého plnění. Základem všech těchto zařízení jsou jeden až čtyři třístupňové, olejem mazané, kompresory o výkonu minimálně 5 Nm<sup>3</sup>/hod a maximálním plnicím tlakem 20 MPa při 15 °C. Naplnění 80 l tlakové láhve ve vozidle (při tlaku 20 MPa přibližně 11,5 kg CNG) pomocí nejméně výkonného plnicího zařízení MJ Compact 05, které obsahuje jeden kompresor, trvá maximálně 3 hodiny.



Obr. 3 Plnicí zařízení MJ Compact 05 od firmy Motor Jikov [8]

Italská firma Coltri nabízí pět základních typů plnicích zařízení – s plnicím výkonem 5, 10, 14, 20 a 24 Nm<sup>3</sup>/hod. Jejich kompresory jsou tří nebo čtyřstupňové a lze je koupit buď ve variantě s plnicím tlakem 20 MPa, nebo 25 MPa. Naplnění 80 l tlakové láhve trvá u zařízení s nejmenším výkonem přibližně 3 hodiny, u největšího plnicího zařízení, s výkonem 24 Nm<sup>3</sup>/hod, je to již pouze 37 minut.



Obr. 4 Plnicí zařízení firmy Coltri MCH20-24 [9]

BRC Fuelmaker je rovněž italská firma, jejíž výrobky jsou distribuovány na českém trhu. V její nabídce se vyskytují tři plnicí zařízení – jedno plnicí zařízení pro domácí využití, s výkonem pouhých 1,4 Nm<sup>3</sup>/hod, a dvě spíše pro využití firemní, menší o výkonu 2,8 Nm<sup>3</sup>/hod a větší o výkonu 11,4 Nm<sup>3</sup>/hod. Plnicí zařízení od BRC Fuelmaker se od ostatních konkurentů liší především ve větším rozsahu provozních teplot, když jejich výrobky je možné použít již od -40 °C.





**Obr. 5** Plnicí zařízení firmy BRC Fuelmaker pro domácí použití [10]

	Motor Jikov	Coltri		
	MJ Compact 05	MCH5	MCH10	MCH14
počet stupňů	3	3	3	3
maximální plnicí tlak	20 MPa při 15 °C	20 nebo 25 MPa	20 nebo 25 MPa	20 nebo 25 MPa
vstupní tlak plynu	0,001 – 0,03 MPa	0,0017 – 0,02 MPa	0,0017 – 0,02 MPa	0,0017 – 0,02 MPa
rozsah provozních teplot	-15 °C až 50 °C	od -15 °C	od -15 °C	od -15 °C
nominální výkon	5 Nm <sup>3</sup> /h při 15 °C	5 Nm <sup>3</sup> /h	10 Nm <sup>3</sup> /h	14 Nm <sup>3</sup> /h
elektromotor	2,2 kW	3 kW	4 kW	5,5 kW

Coltri		BRC Fuelmaker		
MCH20	MCH24	Phill	FMQ 2.5	FMQ 10
4	4	-	-	-
20 nebo 25 MPa	20 nebo 25 MPa	20,7 MPa	20,7 MPa	20,7 MPa
0,0017 – 0,03 MPa	0,0017 – 0,03 MPa	0,0017 – 0,0035 MPa	0,0017 – 0,0035 MPa	0,0018 – 0,01 MPa
-	-	-40 °C až 45 °C	-40 °C až 45 °C	-40 °C až 45 °C
20 Nm <sup>3</sup> /h	24 Nm <sup>3</sup> /h	1,4 Nm <sup>3</sup> /h	2,8 Nm <sup>3</sup> /h	11,4 Nm <sup>3</sup> /h
9 kW nebo 11 kW	9 kW nebo 11 kW	-	-	-

**Tab. 3** Porovnání základních parametrů plnicích stanic od jednotlivých výrobců [8],[9], [10]

## 2.4 PLNICÍ STANICE V ČESKÉ REPUBLICE

Za posledních 10 let se počet veřejných plnicích stanic CNG v České republice více než zdevítinásobil. Ještě v roce 2005 jich na našem území bylo pouze 9, k dubnu 2015 je v České republice v provozu již 84 veřejných plnicích stanic CNG a další tři, ve Zdíbech, v Plzni a v Příbrami, jsou ve výstavbovém plánu. Nejvíce plnicích stanic je v současné době ve Středočeském kraji (13), který je následován Prahou (10) a Moravskoslezským krajem (9), naopak poslední místo zaujímá Karlovarský kraj s pouhými dvěma plnicími stanicemi [5].

kraj	počet plnicích stanic CNG		
Praha	10	Královéhradecký	6
Středočeský	13	Pardubický	4
Jihočeský	5	Vysočina	5
Plzeňský	4	Jihomoravský	8
Karlovarský	2	Zlínský	4
Ústecký	4	Olomoucký	7
Liberecký	3	Moravskoslezský	9
		celkem	<b>84</b>

Tab. 4 Počet plnicích stanic CNG v jednotlivých krajích ČR k dubnu 2015 [5]

Počet vozidel na CNG se oproti tomu za posledních 10 let zvýšil téměř dvacetinásobně (v roce 2005 jich bylo v ČR evidováno 450, k prvnímu čtvrtletí 2015 je jich 8817) [5]. Dochází tak k situaci, že současná infrastruktura plnicích stanic CNG nevyhovuje a dochází k masové výstavbě dalších. Podle Jiřího Šimka, místopředsedy Rady Českého plynárenského svazu, bude v České republice ke konci roku 2016 v provozu 150 – 160 plnicích stanic, přičemž optimální počet pro naše území je mezi 200 až 300 plnicími stanicemi CNG [6].



Obr. 6 Mapa plnicích stanic CNG na území České republiky [7]

## **2.5 ZHODNOCENÍ PROVOZU VOZIDEL NA PALIVO CNG**

Provozování vozidel na stlačený zemní plyn má mnoho výhod, pro které má smysl tento druh paliva používat, ale má, stejně jako každé jiné palivo, také své stinné stránky, pro něž se nemusí hodit úplně pro každé vozidlo nebo pro každou aplikaci. Záleží potom na každém provozovateli, zdali pro jeho jasně definované potřeby převáží pozitiva stlačeného zemního plynu nad negativy, či nikoliv.

Stlačený zemní plyn je kvalitní motorové palivo, které má vysoké oktanové číslo. Důsledkem toho jsou motory na toto palivo schopné dosahovat vysokých výkonů a obvykle mívají tišší chod než motory na klasická paliva. Díky svým vlastnostem je další předností CNG i lepší startování za nízkých teplot.

Obrovská výhoda vozidel na stlačený zemní plyn se skrývá v oblasti ekologie. Jedná se o čisté palivo, které je příznivé pro životní prostředí a v současné době nemá problém s nařízenými emisními limity. Vozidla provozovaná na stlačený zemní plyn mají oproti vozidlům na klasická kapalná paliva taktéž nižší emise oxidu uhličitého i pevných částic, které pro lidský organizmus bývají nejvíce nebezpečné. Při tankování CNG potom nemůže dojít k žádným odparům do okolního prostředí, ani k ukápnutí paliva, které by mohlo vést ke kontaminaci půdy.

Další velmi diskutovanou věcí je bezpečnost provozování vozidel na CNG. I v dnešní době má stále mnoho lidí k bezpečnosti stlačeného zemního plynu ve vozidlech předsudky a příliš jim nedůvěřují. Bezpečnost CNG však vyplývá už z jeho fyzikálních vlastností. Stlačený zemní plyn je lehčí než vzduch a na rozdíl od klasických kapalných paliv tak může být v případě poruchy vypuštěn přetlakovým ventilem do okolní atmosféry a nezůstane pod vozidlem. Obavy z možnosti jeho vznícení také nejsou na místě, protože proti benzínu a naftě má zápalnou teplotu více než dvojnásobnou. Bezpečnosti vozů na CNG je výrobci vozidel z důvodu vysokých pracovních tlaků obecně věnována výjimečná pozornost a pokud máme vozidlo přímo od výrobce (nikoliv dodatečně přestavované), jeho bezpečnost je vyšší než u automobilů na benzín, naftu, nebo LPG.

Poslední výhodou stlačeného zemního plynu je jeho ekonomická výhodnost. Náklady na pořízení 1 m<sup>3</sup> CNG, který svou energií zhruba odpovídá 1 l benzínu, jsou mnohem nižší, což je v současné době dáno i velmi nízkou sazbou spotřební daně, která je až do roku 2020 státem garantovaná. Stlačený zemní plyn je také z nádrže automobilu prakticky nezcizitelný.

Nevýhodou vozidel na stlačený zemní plyn je jejich pořizovací cena, která je oproti automobilům s podobným výkonem na klasická paliva v drtivé většině případů o několik desítek tisíc korun vyšší. Některá vozidla potom mají menší objem zavazadlového prostoru a není možné do nich umístit plnohodnotné rezervní kolo. V některých případech může být negativem i větší hmotnost vozidla, s čímž souvisí o trochu horší dynamické vlastnosti automobilu, rozdíl však není příliš markantní.

Další nevýhodou je menší dojezd automobilů na CNG, což příliš neocení provozovatelé vozidel, kteří jezdí na delší vzdálenosti a své cesty by si tak museli plánovat s ohledem na plnicí stanice, což není zrovna praktické. S tím se pojí i problém zatím stále ještě nedostatečné struktury plnicích stanic, kdy se výhody provozu vozidel na CNG mohou ztrácet v podobě vysoké vzdálenosti dojíždění pro toto palivo. Tento nedostatek by však v České republice měl být výstavbou několika desítek dalších plnicích stanic v několika příštích letech odstraněn.

Poměrně velikou nevýhodou vozidel na stlačený zemní plyn jsou možnosti jejich parkování. V současné době mají vozidla do hromadných garáží pro veřejné užívání sice vjezd povolen, ale musí s tím souhlasit majitelé samotných garáží, což v mnohých případech může být a bývá problém. Garáže musí splňovat vyhláškou dané technické normy jako např. dostatečné odvětrávání prostor parkoviště, instalované detektory úniku plynu, což navyšuje náklady na jejich výstavbu a ne každý investor je ochoten tyto vyšší náklady akceptovat.

Určité riziko se v budoucnu může ukrývat i ve zvýšení sazby spotřební daně pro CNG, čímž by mohlo dojít k určitému vyrovnání cen za benzín, naftu a CNG a tím k mnohem delší návratnosti investice do vozidla na zemní plyn. Do budoucna se však předpokládá, že zásoby ropy budou klesat, a proto ceny benzínu a nafty budou narůstat. Zemního plynu by do budoucna mělo být dostatek a tak by k výraznému zdražení dojít nemělo.

### 3 PLNICÍ ZAŘÍZENÍ CNG

#### 3.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY KOMPRESORU

S ohledem na mnoholeté zkušenosti firmy Aquacentrum Praha s.r.o. s konstrukcí a výrobou kompresorů pro stlačování zemního plynu byl jako základní koncept nově navrhovaného kompresoru zvolen jednočinný, jednoválcový kompresor poháněný patkopřírubovým elektromotorem. Dále bylo rozhodnuto, že kompresor bude obsahovat dva písty – jeden pracovní, pravděpodobně poměrně malého průměru, který bude sloužit k samotnému stlačování zemního plynu, a druhý vodící, který bude mít za úkol pracovním pístem pohybovat.

Zadané parametry kompresoru:

$$p_S = 5,5 \text{ MPa}$$

$$p_V = 30 \text{ MPa}$$

$$\dot{V}_N = 16 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Kompresní poměr:

$$\pi = \frac{p_V}{p_S} = \frac{30}{5,5} \doteq 5,45$$

Konečná kompresní teplota:

Teplota nasávaného zemního plynu  $T_S$  zvolena  $20 \text{ }^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$ . Polytropický exponent  $n$  se u pístových kompresorů pohybuje v mezích  $1 < n < \kappa$ . Pro zemní plyn  $\kappa = 1,31$  → polytropický exponent  $n$  zvolen 1,15.

$$p_S \cdot V_S^n = p_V \cdot V_V^n$$

$$p_S \cdot V_S = m \cdot r \cdot T_S \quad \rightarrow \quad V_S = \frac{m \cdot r \cdot T_S}{p_S}$$

$$p_V \cdot V_V = m \cdot r \cdot T_V \quad \rightarrow \quad V_V = \frac{m \cdot r \cdot T_V}{p_V}$$

$$\frac{T_V}{T_S} = \left(\frac{p_S}{p_V}\right)^{\frac{1-n}{n}}$$

$$T_V = T_S \cdot \left(\frac{p_V}{p_S}\right)^{\frac{n-1}{n}} = 293,15 \cdot \left(\frac{30}{5,5}\right)^{\frac{1,15-1}{1,15}} \doteq \mathbf{366 \text{ K}}$$

#### Objemová účinnost:

Poměrná velikost škodlivého prostoru bývá u dobře navržených a provedených kompresorů  $\leq 5 \%$   $\rightarrow \varepsilon$  zvoleno  $5 \% = 0,05$ .

$$\eta_V = 1 - \varepsilon \cdot \left[ \left(\frac{p_V}{p_S}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] = 1 - 0,05 \cdot \left[ \left(\frac{30}{5,5}\right)^{\frac{1}{1,15}} - 1 \right] = \mathbf{0,8314 = 83,14 \%}$$

#### Dopravní účinnost:

Obvykle bývá dopravní účinnost o  $4 \div 6 \%$  menší než účinnost objemová  $\rightarrow$  zvoleno snížení dopravní účinnosti o  $5 \%$ .

$$\eta_d = \eta_V - 0,05 = 0,8314 - 0,05 = \mathbf{0,7814 = 78,14 \%}$$

#### Přepočítání objemového průtoku za normálních podmínek na podmínky při sání:

Plyn s teplotou a tlakem mění svůj objem a z tohoto důvodu je nutné přepočítat zadaný objemový průtok za normálních podmínek na podmínky při sání (tlak 5,5 MPa, teplota 20 °C). Přepočítání se nejčastěji provádí pomocí některé z těchto norem:

- norma DIN 1343, kde je referenční teplota 0 °C a referenční tlak 101 325 Pa
- norma ISO 2533, kde je referenční teplota 15 °C a referenční tlak 101 325 Pa

Pro přepočet použijte normu DIN 1343:

$$\dot{V} = \dot{V}_N \cdot \left(\frac{p_{\text{ref}}}{p_s}\right) \cdot \left(\frac{T_s}{T_{\text{ref}}}\right)$$

$$\dot{V} = 16 \cdot \left(\frac{101\,325}{5\,500\,000}\right) \cdot \left(\frac{293,15}{273,15}\right) \doteq 0,316 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = \mathbf{5,27 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}}$$

Průměr pracovního pístu:

Pro jednoválcový jednočinný kompresor platí rovnice:

$$\dot{V} = S \cdot L \cdot n \cdot \eta_d \text{ [m}^3/\text{min]}$$

Pro výpočet průměru pracovního pístu volíme otáčky kompresoru  $n = 1425 \text{ min}^{-1}$  a poměr zdvihu a průměru pístu  $\vartheta = \frac{L}{D} = 3,2$ :

$$\dot{V} = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 \cdot \vartheta \cdot n \cdot \eta_d \text{ [m}^3/\text{min]}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot \vartheta \cdot n \cdot \eta_d}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 5,27 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 3,2 \cdot 1425 \cdot 0,7814}} \doteq 12,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} = \mathbf{12,3 \text{ mm}}$$

→ průměr pracovního pístu zvolen **12,5 mm**

Skutečný objemový průtok:

$$\dot{V}_{\text{skut}} = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 \cdot \vartheta \cdot n \cdot \eta_d = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0125^3 \cdot 3,2 \cdot 1425 \cdot 0,7814$$

$$\dot{V}_{\text{skut}} \doteq \mathbf{5,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}}$$

Zdvih pístu:

$$L = \vartheta \cdot D = 3,2 \cdot 0,0125 = 0,04 \text{ m} = \mathbf{40 \text{ mm}}$$

Střední pístová rychlost:

$$c_s = \frac{L \cdot n}{30} = \frac{0,04 \cdot 1425}{30} \doteq \mathbf{1,9 \text{ m/s}}$$

Síla působící na pracovní píst:

$$F = p_V \cdot S = p_V \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 30\,000\,000 \cdot \frac{\pi \cdot 0,0125^2}{4} \doteq \mathbf{3682 \text{ N}}$$

Zdvihový objem:

$$V_z = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot 0,0125^2}{4} \cdot 0,04 = 4,91 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{4,91 \text{ cm}^3}$$

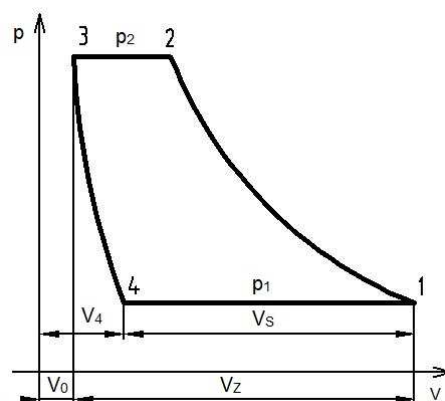
Objem škodlivého prostoru:

$$V_0 = \varepsilon \cdot V_z = 0,05 \cdot 4,91 \cdot 10^{-6} \doteq 2,46 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 = \mathbf{0,246 \text{ cm}^3}$$

Skutečně nasátý objem plynu:

$$V_s = \eta_V \cdot V_z = 0,8314 \cdot 4,91 \cdot 10^{-6} \doteq 4,08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{4,08 \text{ cm}^3}$$

Jednotlivé objemy:



Obr. 7 Tlakový diagram kompresoru se škodlivým prostorem (bez průtokových odporů) [1]



$$V_1 = V_0 + V_Z = 2,46 \cdot 10^{-7} + 4,91 \cdot 10^{-6} \doteq 5,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{5,16 \text{ cm}^3}$$

$$p_1 \cdot V_1^n = p_2 \cdot V_2^n$$

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}} = 5,16 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{5\,500\,000}{30\,000\,000}\right)^{\frac{1}{1,15}} \doteq 1,18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{1,18 \text{ cm}^3}$$

$$V_3 = V_0 = 2,46 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 = \mathbf{0,246 \text{ cm}^3}$$

$$V_4 = V_1 - V_S = 5,16 \cdot 10^{-6} - 4,08 \cdot 10^{-6} = 1,08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{1,08 \text{ cm}^3}$$

Celková práce kompresoru při polytropickém stlačení:

$$W_{\text{pol}} = -\frac{n}{n-1} \cdot p_1 \cdot V_Z \cdot \left[ \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$W_{\text{pol}} = -\frac{1,15}{1,15-1} \cdot 5\,500\,000 \cdot 4,91 \cdot 10^{-6} \cdot \left[ \left(\frac{30\,000\,000}{5\,500\,000}\right)^{\frac{1,15-1}{1,15}} - 1 \right]$$

$$W_{\text{pol}} \doteq \mathbf{-51,28 \text{ J}}$$

Teoretický příkon kompresoru:

$$P_{\text{teor}} = \frac{n}{n-1} \cdot p_1 \cdot \frac{V_{\text{skut}}}{60} \cdot \left[ \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$P_{\text{teor}} = \frac{1,15}{1,15-1} \cdot 5\,500\,000 \cdot \frac{5,47 \cdot 10^{-3}}{60} \cdot \left[ \left(\frac{30\,000\,000}{5\,500\,000}\right)^{\frac{1,15-1}{1,15}} - 1 \right]$$

$$P_{\text{teor}} \doteq \mathbf{952 \text{ W}}$$

### Potřebný výkon elektromotoru:

Mechanická účinnost kompresoru  $\eta_m$  se dle zkušeností odhaduje v rozmezí hodnot od 0,85 (pro rychloběžné malé kompresory s vysokým kompresním poměrem) po 0,96 (velké kompresory s nízkým kompresním poměrem)  $\rightarrow$  zvolena mechanická účinnost  $\eta_m = 0,90$ . Výkon elektromotoru z důvodu možné změny sacích i výtlačných poměrů a oblasti účinnosti motoru zpravidla volíme o 15 % větší než spočítaný teoretický příkon.

$$P_{\text{mot}} = 1,15 \cdot \frac{P_{\text{teor}}}{\eta_m} = 1,15 \cdot \frac{952}{0,90} \doteq \mathbf{1216 \text{ W}}$$

$\rightarrow$  s ohledem na zkušenosti firmy Aquacentrum Praha zvolen patkopřírubový elektromotor s výkonovou rezervou: SIEMENS 1LE1002-1AB52-2JA4, 3 kW, 1425 ot. [11]

## **3.2 NÁVRH A KONTROLA JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ KOMPRESORU**

### Poloměr kliky:

$$r = \frac{L}{2} = \frac{0,04}{2} = 0,02 \text{ m} = \mathbf{20 \text{ mm}}$$

### Hlavní rozměry vodícího pístu:

Průměr vodícího pístu zvolen 56 mm  $\rightarrow D_v = \mathbf{56 \text{ mm}}$ , materiál pístu: hliníková slitina na odlitky 42 4336

Výška pístu u kompresorů obvykle volena jako 0,8 ÷ 1 násobek průměru válce  $\rightarrow$  zvolen 1 násobek:

$$h = 1 \cdot D_v = 1 \cdot 0,056 = 0,056 \text{ m} = \mathbf{56 \text{ mm}}$$

Vzdálenost osy pístitního čepu ode dna pístitu obvykle volena jako  $0,5 \div 0,6$  násobek výšky pístitu  $\rightarrow$  zvolen  $0,6$  násobek:

$$h_k = 0,6 \cdot h = 0,6 \cdot 0,056 = 0,0336 \text{ m} = \mathbf{33,6 \text{ mm}}$$

Vzdálenost prvního pístitního kroužku ode dna pístitu se obvykle volí jako  $0,1 \div 0,2$  násobek průměru pístitu  $\rightarrow$  zvolen  $0,1$  násobek:

$$h_{1kr} = 0,1 \cdot D_V = 0,1 \cdot 0,056 = 0,0056 \text{ m} = \mathbf{5,6 \text{ mm}}$$

#### Rozměry pístitního čepu:

Vnější průměr pístitního čepu obvykle volen jako  $0,18 \div 0,2$  násobek průměru pístitu  $\rightarrow$  zvolen  $0,2$  násobek:

$$d_a = 0,2 \cdot D_V = 0,2 \cdot 0,056 = 0,0112 \text{ m} = 11,2 \text{ mm}$$

vnější průměr pístitního čepu zvolen **14 mm** (normalizovaná hodnota)

Vnitřní průměr pístitního čepu obvykle volen jako  $0,55 \div 0,75$  násobek průměru pístitu  $\rightarrow$  zvolen  $0,55$  násobek:

$$d_i = 0,55 \cdot d_a = 0,55 \cdot 0,014 = 0,0077 \text{ m} = 7,7 \text{ mm}$$

vnitřní průměr pístitního čepu zaokrouhlen na **8 mm**

#### Šířka ojnicního oka pístitního čepu:

Šířka ojnicního oka pístitního čepu obvykle volena jako  $1,2 \div 1,5$  násobek vnějšího průměru pístitního čepu  $\rightarrow$  zvolena  $1,4$  násobek:

$$b = 1,5 \cdot d_a = 1,4 \cdot 0,014 = 0,0196 \text{ m} = 19,6 \text{ mm}$$

šířka ojnicního oka pístitního čepu zaokrouhlena na **20 mm**

### Pevnostní kontrola pístního čepu:

- Na ohyb:

průřezový modul pístního čepu v ohybu:

$$W_O = \frac{\pi}{32} \cdot \left( \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a} \right) = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{0,014^4 - 0,008^4}{0,014} \doteq 2,41 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 = 241 \text{ mm}^3$$

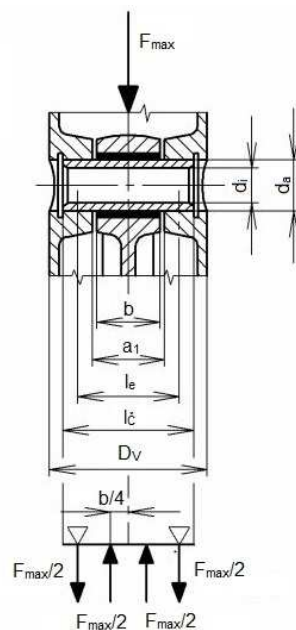
maximální zatěžující síla - tlak působící na válec zpravidla navýšen na hodnotu 1,03 ÷ 1,08 násobku maximálního tlaku → zvolen 1,08 násobek:

$$F_{\max} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 1,08 \cdot p_v = \frac{\pi \cdot 0,0125^2}{4} \cdot 1,08 \cdot 30 \cdot 10^6 \doteq 3976 \text{ N}$$

maximální ohybový moment:

$$M_{O_{\max}} = \frac{F_{\max}}{2} \cdot \left( \frac{l_e}{2} - \frac{b}{4} \right) = \frac{3976}{2} \cdot \left( \frac{0,036}{2} - \frac{0,020}{4} \right) \doteq 25,8 \text{ Nm}$$

$$l_e = \frac{l_{\check{c}} + a_1}{2} = \frac{0,05 + 0,022}{2} = 0,036 \text{ m}$$



**Obr. 8** Kontrola pístního čepu [12]

napětí v ohybu:

$$\sigma_0 = \frac{M_{0\max}}{W_0} \leq \sigma_{D0}, \text{ kde } \sigma_{D0} = 140 \text{ MPa (materiál pístního čepu: 12 020.1)}$$

$$\sigma_0 = \frac{25,8}{2,41 \cdot 10^{-7}} \doteq 1,07 \cdot 10^8 \text{ Pa} = \mathbf{107 \text{ MPa}} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- Kontrola na otláčení v ojnicím oku:

$$p_1 = \frac{F_{\max}}{d_a \cdot b} \leq p_{d1}, \text{ kde } p_{d1} = 30 \text{ MPa}$$

$$p_1 = \frac{3976}{0,014 \cdot 0,020} \doteq 14,2 \cdot 10^6 \text{ Pa} = \mathbf{14,2 \text{ MPa}} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- Kontrola na otláčení v okách pístu:

$$p_2 = \frac{F_{\max}}{(l_c - a_1) \cdot b} \leq p_{d2}, \text{ kde } p_{d2} = 20 \text{ MPa}$$

$$p_2 = \frac{3976}{(0,05 - 0,022) \cdot 0,02} \doteq 7,1 \cdot 10^6 \text{ Pa} = \mathbf{7,1 \text{ MPa}} \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. 9 Sestava pracovního a vodicího pístu kompresoru

### Délka ojnice:

U kompresorů je délka ojnice obvykle 3,5 ÷ 4,5 násobek poloměru kliky → zvolen 4,5 násobek:

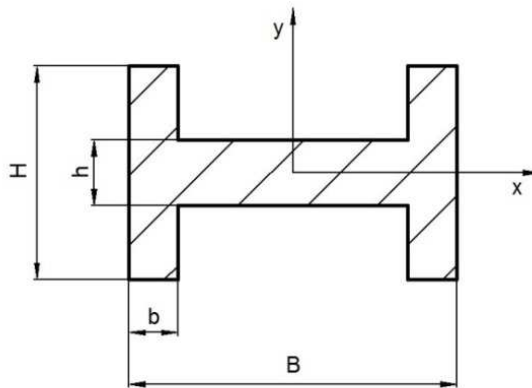
$$l_0 = 4,5 \cdot r = 4,5 \cdot 0,02 = 0,09 \text{ m} = \mathbf{90 \text{ mm}}$$

### Rozměry dřívku ojnice:

Zvolen dřívek ojnice tvaru H. Poměr šířky dřívku ojnice **B** a výšky dřívku ojnice **H** by se v průřezu ve středu ojnice měl pohybovat v rozmezí hodnot 1,5 ÷ 2 → zvolena šířka dřívku ojnice **B** = 0,02 m = **20 mm**, výška dřívku ojnice **H** = 0,013 m = **13 mm**.

$$\frac{B}{H} = \frac{0,02}{0,013} \doteq 1,54 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Dále byla zvolena šířka profilu dřívku ojnice **b** = 0,003 m = **3 mm** a výška profilu dřívku ojnice **h** = 0,004 m = **4 mm**.



Obr. 10 Zjednodušený tvar dřívku ojnice (bez rádiusů)

Kontrola dřívku ojnice z hlediska vzpěrné pevnosti:

Plocha dřívku ojnice:

$$S = B \cdot H - (H - h) \cdot (B - 2 \cdot b)$$

$$S = 0,02 \cdot 0,013 - (0,013 - 0,004) \cdot (0,02 - 2 \cdot 0,003)$$

$$S = 1,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 134 \text{ mm}^2$$

Kvadratický moment průřezu k ose x:

$$J_x = \frac{1}{12} \cdot (B - 2 \cdot b) \cdot h^3 + \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot b \cdot H^3$$

$$J_x = \frac{1}{12} \cdot (0,02 - 2 \cdot 0,003) \cdot 0,004^3 + \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 0,003 \cdot 0,013^3$$

$$J_x \doteq 1,173 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4 = 1173 \text{ mm}^4$$

Kvadratický moment průřezu k ose y:

$$J_y = \frac{1}{12} \cdot H \cdot B^3 - \frac{1}{12} \cdot (H - h) \cdot (B - 2 \cdot b)^3$$

$$J_y = \frac{1}{12} \cdot 0,013 \cdot 0,02^3 - \frac{1}{12} \cdot (0,013 - 0,004) \cdot (0,02 - 2 \cdot 0,003)^3$$

$$J_y \doteq 6,609 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4 = 6609 \text{ mm}^4$$

Štíhlostní poměr ojnice v rovině kolmé na rovinu kyvu:

$$\lambda_x = \frac{l_0}{2} \cdot \sqrt{\frac{S}{J_x}} = \frac{0,09}{2} \cdot \sqrt{\frac{1,34 \cdot 10^{-4}}{1,173 \cdot 10^{-9}}} \doteq 15,2$$

Štíhlostní poměr ojnice v rovině kyvu:

$$\lambda_y = l_0 \cdot \sqrt{\frac{S}{J_y}} = 0,09 \cdot \sqrt{\frac{1,34 \cdot 10^{-4}}{6,609 \cdot 10^{-9}}} \doteq 12,8$$

Pokud  $\lambda_{x,y} < 60$ , provádíme kontrolu dřívku ojnice na prostý tlak:

$$\sigma_d = \frac{F_{\max}}{S} \leq \sigma_{Dd}, \text{ kde } \sigma_{Dd} = \frac{1}{5} \cdot R_m$$

materiál ojnice: 12050.1 ( $R_m = 530 \text{ MPa}$ )  $\rightarrow \sigma_{Dd} = \frac{1}{5} \cdot 530 = 106 \text{ MPa}$

$$\sigma_d = \frac{3976}{1,34 \cdot 10^{-4}} = 2,97 \cdot 10^7 = \mathbf{29,7 \text{ MPa}} \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. 11 Ojnice kompresoru

### Návrh klikové hřídele:

Krouticí moment přenášený klikovou hřídelí:

$$M_k = \frac{P_{\text{skut}}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} = \frac{3000}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1425}{60}} \doteq 20,1 \text{ Nm}$$

Minimální průměr hřídele:

materiál klikové hřídele: 12060.1 ( $R_e = 345 \text{ MPa}$ )

$$\tau_{Dk} = \frac{0,57 \cdot R_e}{k} = \frac{0,57 \cdot 345}{2} = 98,3 \text{ MPa}$$



$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \tau_{DK}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 20,1}{\pi \cdot 98,3 \cdot 10^6}} \doteq 10,1 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 10,1 \text{ mm}$$

→ zvolen průměr hřídele  $d_h = 30 \text{ mm}$

Délka pera:

pro průměr hřídele  $22 \div 30 \text{ mm}$ :  $t_1 = 2,9 \text{ mm}$ ,

pro ocelový neposuvný náboj:  $p_d = 120 \text{ MPa}$

$$l_{p\min} = \frac{2 \cdot M_k}{t_1 \cdot p_d \cdot d_h} = \frac{2 \cdot 20,1}{0,0029 \cdot 120 \cdot 10^6 \cdot 0,016} \doteq 7,22 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 7,22 \text{ mm}$$

→ zvolena normalizovaná délka pera  $l_p = 20 \text{ mm}$

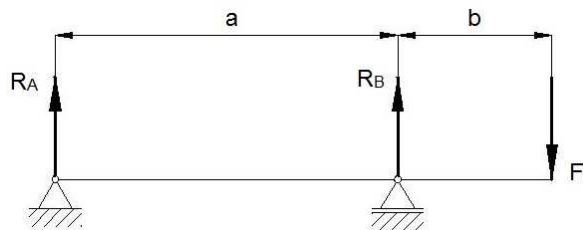
Návrh ložisek:

Vybraná ložiska:

pro místo A vybráno ložisko: **6209 ČSN 02 4630**

pro místo B vybráno ložisko: **NU 2211 ČSN 02 4670**

Výpočet reakcí:



**Obr. 12 Výpočet reakcí v ložiscích klikové hřídele**

radiální síla zatěžující ložiska je kvůli rázům 1,2 ÷ 1,5 krát vyšší než  $F_{\max}$

→ zvoleno 1,2 →  $F_r = 1,2 \cdot F_{\max} = 1,2 \cdot 3976 \doteq 4771 \text{ N}$

$a = 0,125 \text{ m} = 125 \text{ mm}$ ,  $b = 0,05 \text{ m} = 50 \text{ mm}$

$$R_A + R_B = F_r$$

$$R_A \cdot a + F_r \cdot b = 0$$

$$R_A = -\frac{F_r \cdot b}{a} = -\frac{4771 \cdot 0,05}{0,125} \doteq -1908 \text{ N}$$

$$R_B = F_r - R_A = 4771 - (-1908) = 6679 \text{ N}$$

Kontrola ložisek z hlediska trvanlivosti:

Trvanlivost ložisek obvykle u kompresorů vyžadována v rozmezí 5000 ÷ 30 000 h  
 → zvolena požadovaná trvanlivost  $L_{h10} = 20\,000 \text{ h}$ .

ložisko A:  $C = 25\,000 \text{ N}$ ,  $P = R_A$ ,  $n = 1425 \text{ min}^{-1}$ ,  $p = 3$

$$L_{h10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{25000}{1908}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1425} \doteq \mathbf{26310 \text{ h}} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

ložisko B:  $C = 65\,500 \text{ N}$ ,  $P = R_B$ ,  $n = 1425 \text{ min}^{-1}$ ,  $p = \frac{10}{3}$

$$L_{h10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{65500}{6679}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1425} \doteq \mathbf{23612 \text{ h}} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### 3.3 PŘÍSLUŠENSTVÍ KOMPRESORU

Pro správný chod kompresoru je třeba 1 l oleje, který nereaguje se zemním plynem jako např. olej Synthetic Coltri Oil CE 750 [13]. Aby bylo možné mazat pracovní píst, jsou ve vodicím pístu vyvrtány čtyři malé otvory, kterými se olej dostane i k pracovnímu pístu. Pokud dojde ke snížení původního objemu oleje o čtvrtinu tj. na 750 ml, hrozí, že kompresor nebude mazán a je nutné olej doplnit. Z tohoto důvodu je v kompresoru instalován hladinový limitní spínač [14], který v případě, že není zatopen (hladina oleje se dostala pod stanovené minimum), vyšle signál a tím zakáže start kompresoru.



Obr. 13 Hladinový limitní spínač [14]

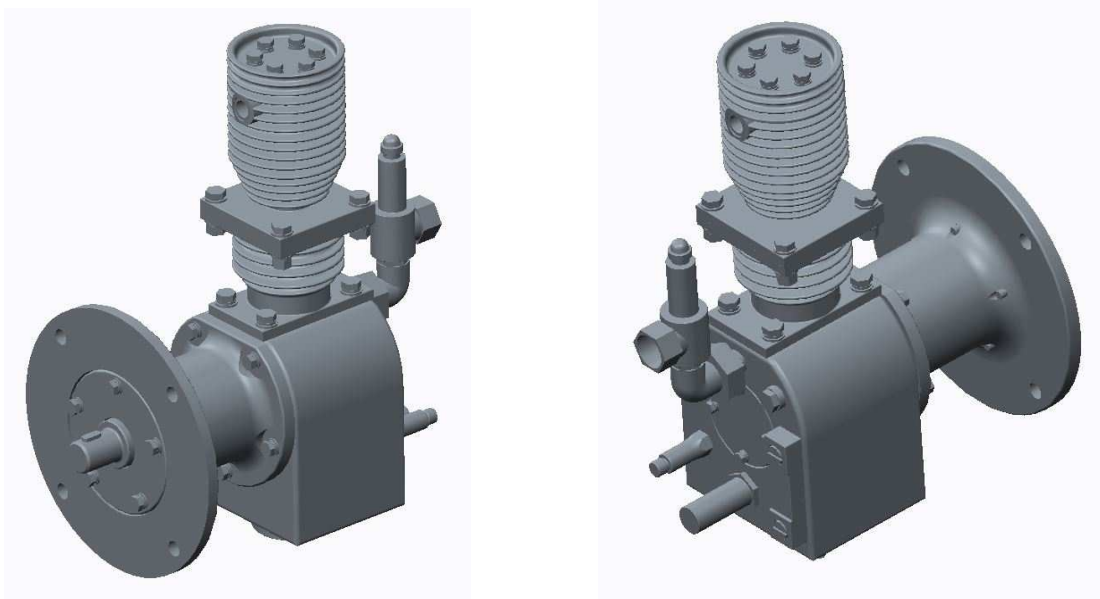
V kompresoru je taktéž zabudován klasický olejoznak, který slouží k vizuální kontrole výšky hladiny oleje, možnosti zjištění periody dolévání oleje, ale můžeme ho využít i k rychlému zjištění poruchy hladinového limitního spínače, v případě, že by nesprávně zakázal start kompresoru. V kompresoru je dále zabudován i ohřívač oleje o výkonu 75 W [15] pro předeřhev oleje v případech startů kompresoru za nízkých teplot.



Obr. 14 Ohřívač oleje [15]

Pro případ, že by došlo k úniku zemního plynu z pracovního prostoru do klikové skříně, je kompresor vybaven pojistným ventilem [16], který v případě potřeby plyn z těchto míst odpustí. Pojistný ventil je nastaven na 1,7 MPa, přičemž nežádoucí plyn je z pojistného ventilu odveden na střechu plnicího zařízení.

### 3.4 NAVRŽENÝ KOMPRESOR



Obr. 15 Navržený kompresor

### 3.5 NÁVRH PLNICÍHO ZAŘÍZENÍ CNG

Jako místo vhodné k vybudování plnicího zařízení CNG vybrala plynárenská společnost objekt na trase plynovodu (tlak minimálně 5,5 MPa) v obci Počedělice v okrese Louny. Z údajů o předpokládaném počtu tankujících vozidel v tomto objektu a jejich spotřebě pohonných hmot, jež byla přepočtena na spotřebu zemního plynu, byla vypočtena denní kapacita plnicího zařízení, která činí 305 Nm<sup>3</sup>/den. Při výkonu 16 Nm<sup>3</sup>/h tak musí kompresor tohoto plnicího zařízení pracovat denně přibližně 19,1 hodiny.

Dalším z požadavků na toto plnicí zařízení bylo vybavení tlakovými lahvemi pro možnost rychlého plnění vozidel. Objem tlakových lahví pro uchování stlačeného zemního plynu byl vypočten z denní kapacity plnicího zařízení a předpokládaného časového rozvrhu plnění nádrží vozidel plynárenské společnosti během pracovních dnů. Pro všechny dny od pondělí do pátku se předpokládal stejný časový rozvrh.

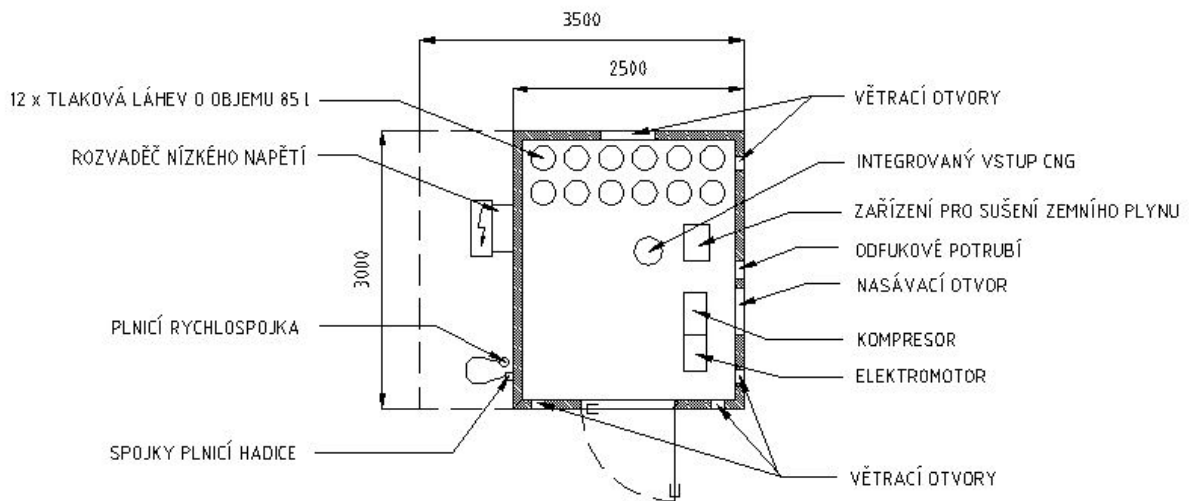
čas	podíl denní kapacity plnicího zařízení	čas	podíl denní kapacity plnicího zařízení
7:00 – 8:00	10 %	11:00 – 12:00	10 %
8:00 – 9:00	20 %	12:00 – 13:00	10 %
9:00 – 10:00	20 %	13:00 – 14:00	10 %
10:00 – 11:00	20 %		

Tab. 5 Časový rozvrh plnění vozidel plynárenské společnosti stlačeným zemním plynem

Pomocí výpočtového programu [17] byl stanoven celkový objem tlakových lahví pro uspokojení požadavků na plnicí zařízení CNG v Počedělicích 1020 l. Plnicí zařízení tak obsahuje 12 tlakových ocelových lahví o objemu 85 l, vnějším průměru 267 mm a pracovním tlaku 30 MPa [18], které jsou uspořádány do třech sekcí s různým tlakem stlačeného zemního plynu.

Dále je plnicí zařízení CNG vybaveno zařízením pro sušení zemního plynu a odfukovým potrubím, který je vyvedeno na střechu. Správné větrání buňky je zajištěno pomocí několika větracích otvorů. Vnější technologické prvky plnicího zařízení jsou chráněny před zásahem blesku hromosvodem, samotná železobetonová buňka funguje jako Faradayova klec. Pro plnění nádrží vozidel je potom zařízení vybaveno plnicí rychlospojkou typu NGV1, která se používá pro vozidla do 3,5 t.

Základní rozměry plnicího zařízení zemního plynu bez stříšky pro ochranu vnější technologie před deštěm jsou: šířka 2,5 m, délka 3,0 m a výška 2,5 m (bez hromosvodu). Schéma plnicího zařízení včetně vyznačených nebezpečných zón je přílohou číslo 2 této diplomové práce. Nebezpečná zóna 1 zahrnuje prostory, v nichž je třeba počítat s tím, že se výbušná atmosféra z plynů vyskytne příležitostně, nebezpečná zóna 2 potom zahrnuje prostory, v nichž není třeba počítat s tím, že se výbušná atmosféra z plynů vyskytne, ale pokud se přece jen vyskytne, pak s největší pravděpodobností pouze zřídka a během krátké doby [19].



**Obr. 16 Schéma plnicího zařízení CNG**

## 4 NÁHRADA VOZOVÉHO PARKU

### 4.1 SÉRIOVĚ VYRÁBĚNÁ VOZIDLA POHÁNĚNÁ CNG DOSTUPNÁ NA ČESKÉM TRHU

K březnu 2015 bylo na českém trhu k dispozici celkem 23 modelů od 8 různých výrobců sériově vyráběných vozidel do 3,5 tuny poháněných stlačeným zemním plynem. Největším výrobcem vozidel na CNG je italský Fiat, který na českém trhu nabízí 9 druhů vozidel různých velikostí. Následující tabulky obsahují několik základních parametrů sériově vyráběných vozidel na CNG, které je možné porovnat s parametry stejných vozidel s benzínovým či naftovým motorem. Pro porovnání jsem se snažil vybrat vozidla podobných výkonů a podobných výbav, tak, aby bylo srovnání co možná nejobjektivnější, i když ne ve všech případech toto bylo možné splnit.

#### AUDI:

AUDI A3	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.4 TFSI (90 kW)	1.6 TDI (77 kW)	1.4 TFSI (83 kW)
maximální výkon/otáčky	90 kW/5000 – 6000 min <sup>-1</sup>	77 kW/3000 – 4000 min <sup>-1</sup>	81 kW/4800 – 6000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	200 Nm/1400 – 4000 min <sup>-1</sup>	250 Nm/1500 – 2750 min <sup>-1</sup>	200 Nm/1500 – 3500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	5,3 l/100 km	3,8 l/100 km	benzín 5,2 l/100 km, CNG 3,3 kg/100 km
kapacita nádrže	50 l	50 l	benzín 50 l, CNG 14 kg
emisní třída	EURO 5	EURO 5	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	123 g/km	99 g/km	benzín 120 g/km, CNG 92 g/km
dojezd	900 km	1310 km	1300 km (benzín 900 km, CNG 400 km)
cena (s DPH)	604 900 Kč	644 900 Kč	682 900 Kč

Tab. 6 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Audi A3 [20]



Obr. 17 Audi A3 Sportback g-tron [20]

**FIAT:**

<b>FIAT 500 L CNG (k dispozici i ve verzi Living)</b>	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	0.9 TwinAir 105 k	1.3 MultiJet 85 k	0.9 TwinAir 80 k CNG
maximální výkon/otáčky	77 kW/5500 min <sup>-1</sup>	62 kW/3500 min <sup>-1</sup>	59 kW/5500 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	145 Nm/2000 min <sup>-1</sup>	200 Nm/1500 min <sup>-1</sup>	140 Nm/2500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	4,8 l/100 km	4,2 l/100 km	benzín 5,9 l/100 km, CNG 3,9 kg/100 km
kapacita nádrže	50 l	50 l	benzín 50 l, CNG 14 kg
emisní třída	EURO 6	EURO 5+	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	112 g/km	110 g/km	105 g/km
dojezd	1040 km	1190 km	1207 km (benzín 848 km, CNG 359 km)
cena (s DPH)	439 300 Kč	480 300 Kč	463 300 Kč

**Tab. 7 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat 500 L [21]**

<b>FIAT DOBLO PANORAMA</b>	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.4 T-Jet 120 k	1.6 MultiJet 105 k	1.4 T-Jet CNG 120 k
maximální výkon/otáčky	88 kW/6000 min <sup>-1</sup>	77 kW/4000 min <sup>-1</sup>	88 kW/5000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	206Nm/2000 min <sup>-1</sup>	290 Nm/1500 min <sup>-1</sup>	206 Nm/2000 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	7,2 l/100 km	5,2 l/100 km	benzín 7,4 l/100 km, CNG 4,9 kg/100 km
kapacita nádrže	60 l	60 l	benzín 22 l, CNG 16,2 kg
emisní třída	EURO 6	EURO 5+	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	169 g/km	138 g/km	benzín 173 g/km, CNG 134 g/km
dojezd	830 km	1150 km	628 km (benzín 297 km, CNG 331 km)
cena (s DPH)	443 000 Kč	484 000 Kč	554 000 Kč

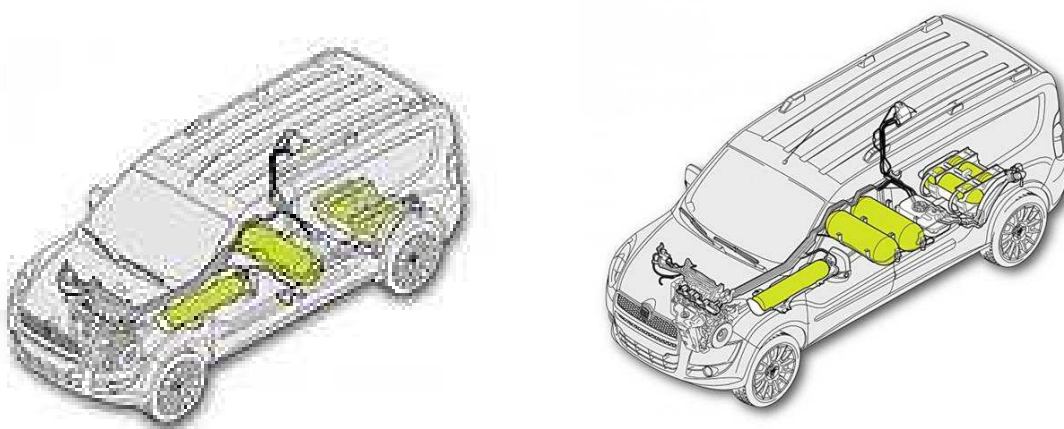
**Tab. 8 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Doblo Panorama [21]****Obr. 18 Fiat 500 L CNG, Fiat Doblo Panorama CNG [21]**

FIAT DOBLO VAN	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.4 T-Jet 120 k	1.6 MultiJet 105 k	1.4 T-Jet CNG 120 k
maximální výkon/otáčky	88 kW/5000 min <sup>-1</sup>	73 kW/4000 min <sup>-1</sup>	88 kW/5000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	206Nm/2000 min <sup>-1</sup>	290 Nm/1500 min <sup>-1</sup>	206 Nm/1750 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	7,4 l/100 km	5,4 l/100 km	benzín 7,4 l/100 km, CNG 4,9 kg/100 km
kapacita nádrže	60 l	60 l	benzín 22 l, CNG 16,15 kg
emisní třída	EURO 5	EURO 5	EURO 5
emise CO <sub>2</sub>	173 g/km	143 g/km	benzín 173 g/km, CNG 134 g/km
dojezd	810 km	1110 km	625 km (benzín 295 km, CNG 330 km)
cena (s DPH)	325 850 Kč	345 300 Kč	391 050 Kč

Tab. 9 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Doblo Van [22]

FIAT DOBLO VAN MAXI	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.4 T-Jet 120 k	1.6 MultiJet 105 k	1.4 T-Jet CNG 120 k
maximální výkon/otáčky	88 kW/5000 min <sup>-1</sup>	73 kW/4000 min <sup>-1</sup>	88 kW/5000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	206 Nm/2000 min <sup>-1</sup>	290 Nm/1500 min <sup>-1</sup>	206 Nm/1750 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	7,4 l/100 km	5,4 l/100 km	benzín 7,4 l/100 km, CNG 4,9 kg/100 km
kapacita nádrže	60 l	60 l	benzín 22 l, CNG 22,1 kg
emisní třída	EURO 5	EURO 5	EURO 5
emise CO <sub>2</sub>	173 g/km	143 g/km	benzín 173 g/km, CNG 134 g/km
dojezd	810 km	1110 km	750 km (benzín 300 km, CNG 450 km)
cena (s DPH)	343 350 Kč	362 800 Kč	423 300 Kč

Tab. 10 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Doblo Van Maxi [22]



Obr. 19 Fiat Doblo Van CNG, Fiat Doblo Van Maxi CNG [22]

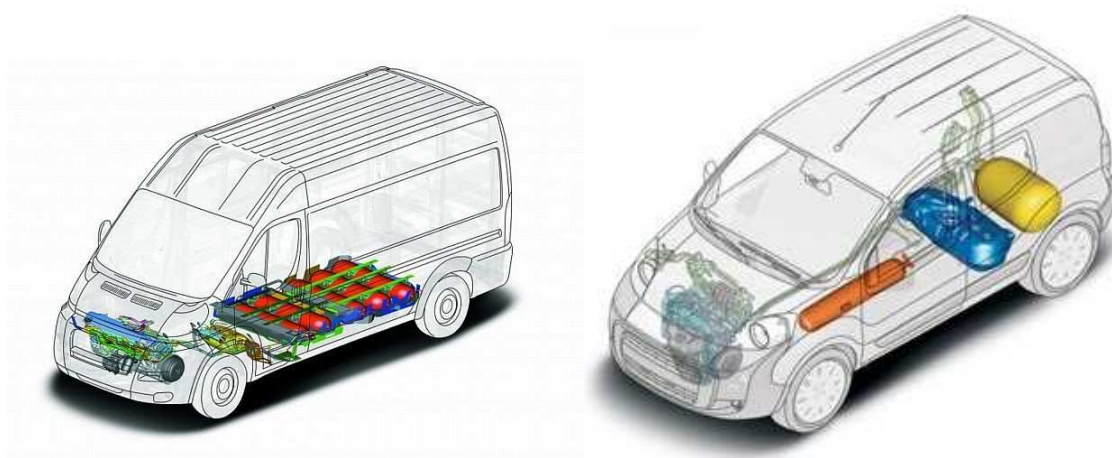


FIAT DUCATO MAXI	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	není v nabídce	2.3 MultiJet 130 k	3.0 16 V CNG 136 k
maximální výkon/otáčky	-	96 kW/3600 min <sup>-1</sup>	100 kW/3500 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	-	320 Nm/1800 min <sup>-1</sup>	350 Nm/1500 – 2730 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	-	7,1 l/100 km	8,8 kg/100 km
kapacita nádrže	-	90 l	benzín 14 l, CNG 37 kg
emisní třída	-	EURO 5	EURO 5
emise CO <sub>2</sub>	-	186 g/km	239 g/km
dojezd	-	1260 km	550 km (benzín 150 km, CNG 400 km)
cena (s DPH)	-	682 050 Kč	777 050 Kč

Tab. 11 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Ducato Maxi [22]

FIAT FIORINO	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.4 8V 75 k	1.3 MultiJet 75 k	1.4 70 k CNG
maximální výkon/otáčky	54 kW/5200 min <sup>-1</sup>	55 kW/4000 min <sup>-1</sup>	51 kW/6000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	118 Nm/2600 min <sup>-1</sup>	190 Nm/1750 min <sup>-1</sup>	104 Nm/3250 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	6,4 l/100 km	4,5 l/100 km	benzín 6,5 l/100 km, CNG 4,3 kg/100 km
kapacita nádrže	45 l	45 l	benzín 45 l, CNG 13,2 kg
emisní třída	EURO 6	EURO 5+	EURO 5+
emise CO <sub>2</sub>	149 g/	119 g/km	benzín 152 g/km, CNG 114 g/km
dojezd	700 km	1000 km	960 km (benzín 660 km, CNG 300 km)
cena (s DPH)	287 050 Kč	331 330 Kč	357 630 Kč

Tab. 12 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Fiorino [22]



Obr. 20 Fiat Ducato Maxi CNG, Fiat Fiorino CNG [22]

FIAT PANDA	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.2 69 K	1.3 MultiJet 75 k	0.9 TwinAir Turbo 80 k CNG
maximální výkon/otáčky	51 kW/5500 min <sup>-1</sup>	55 kW/4000 min <sup>-1</sup>	59 kW/5500 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	102 Nm/3000 min <sup>-1</sup>	190 Nm/1500 min <sup>-1</sup>	140 Nm/2500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	5,2 l/100 km	3,9 l/100 km	benzín 4,6 l/100 km, CNG 3,1 kg/100 km
kapacita nádrže	37 l	37 l	benzín 35 l, CNG 12 kg
emisní třída	EURO 6	EURO 5+	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	120 g/km	104 g/km	benzín 107 g/km, CNG 86 g/km
dojezd	710 km	940 km	1148 km (benzín 761 km, CNG 387 km)
cena (s DPH)	244 000 Kč	309 000 Kč	339 000 Kč

Tab. 13 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Panda [21]



Obr. 21 Fiat Panda CNG, palivový systém Fiatu Panda CNG [21]

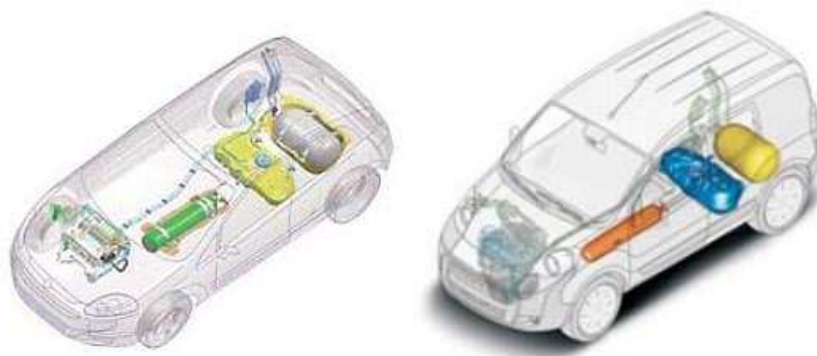
FIAT PUNTO	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.4 8v 77 k	1.3 MultiJet 75 k	1.4 70 k CNG
maximální výkon/otáčky	57 kW/6000 min <sup>-1</sup>	55 kW/4000 min <sup>-1</sup>	51 kW/6000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	115 Nm/3250 min <sup>-1</sup>	190 Nm/1500 min <sup>-1</sup>	104 Nm/3000 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	5,7 l/100 km	4,2 l/100 km	benzín 6,3 l/100 km, CNG 4,2 kg/100 km
kapacita nádrže	45 l	45 l	benzín 45 l, CNG 13 kg
emisní třída	EURO 6	EURO 5+	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	132 g/km	112 g/km	benzín 149 g/km, CNG 115 g/km
dojezd	790 km	1070 km	1024 km (benzín 714 km, CNG 310 km)
cena (s DPH)	255 000 Kč	306 000 Kč	347 300 Kč

Tab. 14 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Punto [21]

FIAT QUBO	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.4 8v 77 k	1.3 MultiJet 75 k	1.4 CNG
maximální výkon/otáčky	57 kW/6000 min <sup>-1</sup>	55 kW/4000 min <sup>-1</sup>	51 kW/6000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	115 Nm/3200 min <sup>-1</sup>	190 Nm/1500 min <sup>-1</sup>	104 Nm/3250 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	6,9 l/100 km	4,5 l/100 km	benzín 6,5 l/100 km, CNG 4,3 kg/100 km
kapacita nádrže	45 l	45 l	benzín 45 l, CNG 14,6 kg
emisní třída	EURO 6	EURO 5+	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	161 g/km	119 g/km	benzín 152 g/km, CNG 114 g/km
dojezd	650 km	1000 km	1043 km (benzín 703 km, CNG 340 km)
cena (s DPH)	316 400 Kč	413 400 Kč*	394 400 Kč

\*cena pro vyšší výbavovou verzi Plus

Tab. 15 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Qubo [21]



Obr. 22 Fiat Punto CNG, Fiat Qubo CNG [21]

## IVECO:

IVECO DAILY	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	není v nabídce	F1C 146 Hp	F1C 136 Hp Natural Power
maximální výkon/otáčky	-	107 kW/3000 – 3500 min <sup>-1</sup>	100 kW/2730 – 3500 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	-	350 Nm/1400 – 3000 min <sup>-1</sup>	350 Nm/1500 – 2600 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	-	8,4 l/100 km	benzín 10,9 l/100 km, CNG 10,7 kg/100 km
kapacita nádrže	-	70 l	benzín 14 l, CNG 34 kg
emisní třída	-	EURO 5	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	-	222 g/km	245 g/km
dojezd	-	830 km	420 km (benzín 100 km, CNG 320 km)
cena (s DPH)	-	výrobce neudává	výrobce neudává

Tab. 16 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Iveco Daily [23]



Obr. 23 Iveco Daily Natural Power [23]

### MERCEDES-BENZ:

MERCEDES-BENZ B	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	B 200	B 200 CDI	B 200 Natural Gas Drive
maximální výkon/otáčky	115 kW/5300 min <sup>-1</sup>	100 kW/3200 – 4000 min <sup>-1</sup>	115 kW/5000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	250 Nm/1250 – 4000 min <sup>-1</sup>	300 Nm/1400 – 3000 min <sup>-1</sup>	270 Nm/1250 – 4000 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	5,8 l/100 km	4,5 l/100 km	4,4 kg/100 km
kapacita nádrže	50 l	50 l	benzín 12 l, CNG 21 kg
emisní třída	EURO 6	EURO 6	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	134 g/km	117 g/km	119 g/km
dojezd	860 km	1110 km	680 km (benzín 200 km, CNG 480 km)
cena (s DPH)	649 770 Kč	698 170 Kč	715 110 Kč

Tab. 17 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Mercedes-Benz B [24]

MERCEDES-BENZ SPRINTER	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	316	316 CDI	316 NGT
maximální výkon/otáčky	115 kW/5000 min <sup>-1</sup>	120 kW/3800 min <sup>-1</sup>	115 kW/5000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	240 Nm/3000 – 4000 min <sup>-1</sup>	360 Nm/1400 – 2400 min <sup>-1</sup>	240 Nm/3000 – 4000 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	12,9 l/100 km	8,2 l/100 km	11,8 m <sup>3</sup> /100 km
kapacita nádrže	100 l	75 l	benzín 100 l, CNG 46 kg
emisní třída	EURO 6	EURO 5	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	302 g/km	215 g/km	211 g/km
dojezd	775 km	910 km	1200 km (benzín 750 km, CNG 450 km)
cena (s DPH)	848 210 Kč	911 130 Kč	998 250 Kč

Tab. 18 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Mercedes-Benz Sprinter [25]



Obr. 24 Mercedes-Benz B 200 Natural Gas Drive[24], Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT [26]

## **OPEL:**

OPEL COMBO	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.4	1.6 CDTI	1.4 CNG Turbo
maximální výkon/otáčky	70 kW/6000 min <sup>-1</sup>	77 kW/4000 min <sup>-1</sup>	88 kW/5000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	127 Nm/4500 min <sup>-1</sup>	290 Nm/1500 min <sup>-1</sup>	206 Nm/3000 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	7,3 – 7,5 l/100 km	5,4 – 6,0 l/100 km	benzín 7,4 l/100 km, CNG 5 m <sup>3</sup> (4,9 kg)/100 km
kapacita nádrže	60 l	60 l	benzín 22 l, CNG 16,15 kg
emisní třída	EURO 5	EURO 5	EURO 5
emise CO <sub>2</sub>	169 – 174 g/km	143 – 158 g/km	134 g/km
dojezd	810 km	1050 km	625 km (benzín 300 km, CNG 325 km)
cena (s DPH)	379 940 Kč	449 515 Kč	488 840 Kč

Tab. 19 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Opel Combo [27]

OPEL ZAFIRA	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.4 Turbo	1.6 CDTI	1.6 Turbo CNG
maximální výkon/otáčky	103 kW/4900 – 6000 min <sup>-1</sup>	100 kW/3500 – 4000 min <sup>-1</sup>	110 kW/5000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	200 Nm/1850 – 4900 min <sup>-1</sup>	320 Nm/2000 min <sup>-1</sup>	210 Nm/2300 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	6,6 l/100 km	4,1 l/100 km	7,2 m <sup>3</sup> , 4,7 kg/100 km
kapacita nádrže	58 l	58 l	benzín 15 l, CNG 25 kg
emisní třída	EURO 6	EURO 6	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	154 g/km	109 g/km	129 g/km
dojezd	875 km	1410 km	680 km (benzín 150 km, CNG 530 km)
cena (s DPH)	552 900 Kč	605 900 Kč	633 900 Kč

Tab. 20 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Opel Zafira [27]



Obr. 25 Opel Zafira Tourer 1.6 CNG Turbo Ecoflex [27]

**SEAT:**

SEAT LEON	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.2 TSI 81 kW/110 k	1.6 TDI CR 77 kW/105 k	1.4 TGI (CNG) 81 kW/110 k
maximální výkon/otáčky	81 kW/4600 – 5600 min <sup>-1</sup>	77 kW/3000 – 4000 min <sup>-1</sup>	81 kW/4800 – 6000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	175 Nm/1400 – 4000 min <sup>-1</sup>	250 Nm/1500 – 2750 min <sup>-1</sup>	200 Nm/1500 – 3500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	4,9 l/100 km	4,1 l/100 km	benzín 5,3 l/100 km, CNG 5,3 m <sup>3</sup> /100 km
kapacita nádrže	50 l	50 l	benzín 50 l, CNG 15 kg
emisní třída	EURO 6	EURO 5	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	114 g/km	108 g/km	benzín 124 g/km, CNG 94 g/km
dojezd	1020 km	1220 km	1360 km (benzín 940 km, CNG 420 km)
cena (s DPH)	443 900 Kč	483 900 Kč	497 900 Kč

Tab. 21 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Seat Leon [28]

SEAT MII	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.0 MPI 55 kW/68 k	není k dispozici	1.0 CNG 50 kW/68 k
maximální výkon/otáčky	55 kW/6200 min <sup>-1</sup>	-	50 kW/6200 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	95 Nm/3000 – 4300 min <sup>-1</sup>	-	90 Nm/3000 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	4,7 l/100 km	-	4,4 m <sup>3</sup> (2,9 kg)/100 km
kapacita nádrže	35 l	-	benzín 10 l, CNG 11 kg
emisní třída	EURO 5	-	EURO 5
emise CO <sub>2</sub>	108 g/km	-	79 g/km
dojezd	740 km	-	600 km (benzín 220 km, CNG 380 km)
cena (s DPH)	207 900 Kč	-	266 900 Kč

Tab. 22 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Seat Mii [28]



Obr. 26 Seat Leon 1.4 TGI CNG, Seat Mii CNG [28]

## ŠKODA:

ŠKODA CITIGO	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.0 MPI/55 kW	není v nabídce	1.0 MPI/50 kW G-TEC
maximální výkon/otáčky	55 kW/6200 min <sup>-1</sup>	-	50 kW/6200 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	95 Nm/3000 – 4300 min <sup>-1</sup>	-	90 Nm/3000 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	4,7 l/100 km	-	4,4 m <sup>3</sup> (2,9 kg)/100 km
kapacita nádrže	35 l	-	benzín 10 l, CNG 32 l + 40 l (12 kg)
emisní třída	EURO 5	-	EURO 5
emise CO <sub>2</sub>	108 g/km	-	79 g/km
dojezd	740 km	-	620 km (benzín 220 km, CNG 400 km)
cena (s DPH)	206 900 Kč	-	269 900 Kč

Tab. 23 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Škoda Citigo [29]

ŠKODA OCTAVIA (k dispozici i ve verzi Combi)	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.2 TSI/77 kW	1.6 TDI CR DPF/77 kW	1.4 CNG/81 kW G-TEC
maximální výkon/otáčky	77 kW/4500 – 5500 min <sup>-1</sup>	77 kW/3000 – 4000 min <sup>-1</sup>	81 kW/4800 – 6000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	175 Nm/1400 – 4000 min <sup>-1</sup>	250 Nm/1500 – 2750 min <sup>-1</sup>	200 Nm/1500 – 3500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	5,2 l/100 km	4,2 l/100 km	benzín 5,4 l/100 km, CNG 5,4 m <sup>3</sup> (3,5 kg)/100 km
kapacita nádrže	50 l	50 l	benzín 50 l, CNG 97 l (15 kg)
emisní třída	EURO 5	EURO 5	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	119 g/km	109 g/km	benzín 127 g/km, CNG 97 g/km
dojezd	960 km	1190 km	1330 km (benzín 920 km, CNG 410 km)
cena (s DPH)	362 900 Kč	424 900 Kč	433 900 Kč

Tab. 24 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Škoda Octavia [29]



Obr. 27 Škoda Citigo G-TEC, Škoda Octavia G-TEC [29]

## **VOLKSWAGEN:**

<b>VOLKSWAGEN CADDY</b>	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.2 l TSI	1.6 l TDI	2.0 l CNG EcoFuel
maximální výkon/otáčky	77 kW/5000 min <sup>-1</sup>	75 kW/4400 min <sup>-1</sup>	80 kW/5400 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	175 Nm/1550 – 4100 min <sup>-1</sup>	250 Nm/1500 – 2500 min <sup>-1</sup>	160 Nm/3500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	6,7 l/100 km	5,7 l/100 km	5,7 kg/100 km (verze Maxi 5,8 kg/100 km)
kapacita nádrže	60 l	60 l	benzín 13 l, CNG 26 kg (verze Maxi 37 kg)
emisní třída	EURO 5	EURO 5	EURO 5
emise CO <sub>2</sub>	156 g/km	149 g/km	156 g/km
dojezd	890 km	1050 km	580 km, verze Maxi 760 km (benzín 130km, CNG 450 km(verze Maxi 630 km))
cena (s DPH)	448 419 Kč	498 272 Kč	533 413 Kč

Tab. 25 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Volkswagen Caddy [30]

<b>VOLKSWAGEN GOLF (k dispozici i ve verzi Variant)</b>	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.2 TSI 77 kW BlueMotion	1.6 TDI 77 kW BlueMotion	1.4 TGI 81 kW BlueMotion
maximální výkon/otáčky	77 kW/4500 – 5500 min <sup>-1</sup>	77 kW/3000 – 4000 min <sup>-1</sup>	81 kW/4800 – 6000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	175 Nm/1400 – 4000 min <sup>-1</sup>	250 Nm/1500 – 2750 min <sup>-1</sup>	200 Nm/1500 – 3500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	4,9 l/100 km	3,8 l/100 km	5,3 m <sup>3</sup> (3,5 kg)/100 km
kapacita nádrže	50 l	50 l	benzín 50 l, CNG 15 kg
emisní třída	EURO 5	EURO 5	EURO 6
emise CO <sub>2</sub>	114 g/km	99 g/km	92 g/km
dojezd	1020 km	1310 km	1360 km (benzín 940 km, CNG 420 km)
cena (s DPH)	426 900 Kč	476 900 Kč	459 900 Kč

Tab. 26 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Volkswagen Golf [31]





Obr. 28 Volkswagen Caddy EcoFuel [30], Volkswagen Golf 1.4 TGI BlueMotion [31]

VOLKSWAGEN TOURAN	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.4 TSI 103 kW	2.0 TDI 103 kW	1.4 TSI 110 kW EcoFuel
maximální výkon/otáčky	103 kW/5600 min <sup>-1</sup>	103 kW/4200 min <sup>-1</sup>	110 kW/5500 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	220 Nm/1500 min <sup>-1</sup>	320 Nm/1750 – 2500 min <sup>-1</sup>	220 Nm/1500 – 4500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	6,8 l/100 km	5,3 l/100 km	7,2 m <sup>3</sup> (4,7 kg)/100 km
kapacita nádrže	60 l	60 l	benzín 11 l, 5-místná verze 24 kg (7-místná verze 18 kg)
emisní třída	EURO 5	EURO 5	EURO 5
emise CO <sub>2</sub>	159 g/km	139 g/km	128 g/km
dojezd	880 km	1130 km	530 – 650 km (benzín 150 km, CNG 5-místná verze 500 km, 7-místná verze 380 km)
cena (s DPH)	563 900 Kč	613 900 Kč	635 900 Kč

Tab. 27 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Volkswagen Touran [31]

VOLKSWAGEN UP!	benzínový motor	naftový motor	CNG
motor	1.0 55 kW	není v nabídce	1.0 50 kW CNG
maximální výkon/otáčky	55 kW/6200 min <sup>-1</sup>	-	50 kW/6200 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment/otáčky	95 Nm/3000 – 4300 min <sup>-1</sup>	-	90 Nm/3000 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	4,7 l/100 km	-	4,4 m <sup>3</sup> (2,9 kg)/100 km
kapacita nádrže	35 l	-	benzín 10 l, CNG 11 kg
emisní třída	EURO 5	-	EURO 5
emise CO <sub>2</sub>	108 g/km	-	79 g/km
dojezd	740 km	-	600 km (benzín 220 km, CNG 380 km)
cena (s DPH)	244 900 Kč	-	287 900 Kč

Tab. 28 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Volkswagen Up! [31]



Obr. 29 Volkswagen Touran 1.4 TSI EcoFuel, Volkswagen Up! 1.0 CNG [31]

Z předchozích porovnání benzínových, naftových a CNG variant vozidel vyplývá, že cena automobilů na zemní plyn je v naprosté většině případů vyšší než cena stejně výkonných automobilů na benzín nebo naftu. Oproti přibližně stejně výkonným vozidlům s benzínovým motorem jsou vozidla na CNG v průměru zhruba o 20 % dražší, oproti vozidlům s naftovým motorem je to přibližně o 7 %.

Celkový dojezd u vozidel na CNG se poměrně liší. Polovina jich je konstruována jako monovalentní s malou nádrží na benzín, který slouží pouze pro rozjezdy a případně pro nouzový provoz. Takové automobily mívají menší celkový dojezd než vozidla na benzín či naftu. Druhá polovina je konstruována jako bivalentní, kdy si řidič může zvolit, jestli vozidlo bude poháněno benzínem nebo zemním plynem. V tomto případě většinou bývá k původnímu palivovému systému přidána nádrž na zemní plyn. Tato vozidla potom mívají větší dojezd než vozidla na klasické pohonné hmoty.

Pokud budeme vozidla srovnávat s ohledem na vyprodukované emise oxidu uhličitého, bude v převážné většině vítězem motor provozovaný na zemní plyn. Z předchozích tabulek můžeme vyčíst, že oproti benzínovému motoru klesnou emise oxidu uhličitého při provozu automobilu na stlačený zemní plyn přibližně o 20 %, u naftového motoru potom dojde ke snížení emisí oxidu uhličitého asi o 6 %.

## 4.2 VÝMĚNA VOZOVÉHO PARKU PLYNÁRENSKÉ SPOLEČNOSTI

Plynárenská společnost disponuje vozovým parkem, který obsahuje 8 typů automobilů do 3,5 tuny s naftovými motory. Konkrétně to jsou Škoda Fabia, Škoda Fabia Combi, Škoda Octavia Combi, Volkswagen Crafter, Volkswagen Caddy, Volkswagen Transporter, Mitsubishi Outlander a Mitsubishi L 200 Double Cab. V následující tabulce jsou shrnuty možnosti náhrady těchto vozidel na naftu vozidly na stlačený zemní plyn. U některých z automobilů je možné si vybrat z více modelů na CNG. u některých vozidel naopak náhrada není bohužel možná, protože adekvátní vozidla na stlačený zemní plyn nejsou na českém trhu k dispozici. Pokud to bylo možné, pro každý stávající automobil byla navržena tři náhradní vozidla na CNG.

stávající vozidlo	navržená náhradní vozidla na CNG
Škoda Fabia	Fiat Panda CNG, Seat Leon CNG, Volkswagen Golf BM
Škoda Fabia Combi	Škoda Octavia Combi G-TEC, Volkswagen Golf Variant BM, Fiat 500 L CNG
Škoda Octavia Combi	Škoda Octavia Combi G-TEC, Volkswagen Golf Variant BM, Fiat 500 L Living CNG
Volkswagen Crafter	Iveco Daily Natural Power, Fiat Ducato Maxi CNG, Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT
Volkswagen Caddy	Volkswagen Caddy EcoFuel, Fiat Doblo Van Maxi CNG, Opel Combo CNG
Volkswagen Transporter	Iveco Daily Natural Power, Fiat Ducato Maxi CNG, Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT
Mitsubishi Outlander	náhrada neexistuje
Mitsubishi L 200 Double Cab	náhrada neexistuje

Tab. 29 Stávající vozidla plynárenské společnosti na naftu a jejich náhrady na CNG

V následujících tabulkách jsou porovnány parametry stávajících vozidel plynárenské společnosti na naftu a jejich náhrady na stlačený zemní plyn. Při hodnocení emisí oxidu uhličitého, nákladů na 1 ujetý kilometr a návratnosti investice do CNG byl předpokládán provoz náhradních vozidel na CNG. Naopak při hodnocení celkového dojezdu bylo předpokládáno, že náhradní vozidlo bude provozováno jak na CNG, tak i klasické pohonné hmoty. Cena stlačeného plynu pro plynárenskou společnost byla stanovena 13,53 Kč/Nm<sup>3</sup> bez DPH (18,94 Kč/kg bez DPH), přičemž obsahuje cenu zemního plynu, cenu potřebné elektrické energie, opravy a údržbu plnicího zařízení a odpisy. U stávajícího vozidla bylo počítáno s cenou nafty 29,34 Kč/l bez DPH.

	stávající vozidlo	CNG náhrada	CNG náhrada	CNG náhrada
vozidlo	<b>Škoda Fabia</b>	<b>Fiat Panda CNG</b>	<b>Seat Leon CNG</b>	<b>Volkswagen Golf BM</b>
typ motoru	1.6 TDI	0.9 TwinAir Turbo 80 k	1.4 TGI	1.4 TGI BM
maximální výkon	77 kW/4400 min <sup>-1</sup>	59 kW/5500 min <sup>-1</sup>	81 kW/4800 – 6000 min <sup>-1</sup>	81 kW/4800 – 6000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment	250 Nm/ 1500-2500 min <sup>-1</sup>	140 Nm/2500 min <sup>-1</sup>	200 Nm/1500 – 3500 min <sup>-1</sup>	200 Nm/1500 – 3500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	4,2 l/100 km	benzín 4,6 l/100km, CNG 3,1 kg/100 km	benzín 5,3 l/ 100 km, CNG 5,3 m <sup>3</sup> /100 km	5,3 m <sup>3</sup> (3,5 kg)/100 km
kapacita nádrže	45 l	benzín 35 l, CNG 12 l	benzín 50 l, CNG 15 kg	benzín 50 l, CNG 15 kg
emise CO <sub>2</sub>	109 g/km	benzín 107 g/km, CNG 86 g/km	benzín 124 g/km, CNG 94 g/km	94 g/km
emise CO <sub>2</sub> v porovnání se stávajícím vozidlem (při provozu na CNG)		<b>-23 g/km (-21,1 %)</b>	<b>-15 g/km (-13,8 %)</b>	<b>-15 g/km (-13,8 %)</b>
dojezd	1070 km	1148 km (benzín 761 km, CNG 387 km)	1360 km (benzín 940 km, CNG 420 km)	1360 km (benzín 940 km, CNG 420 km)
celkový dojezd v porovnání se stávajícím voz.		<b>+78 km (+7,3 %)</b>	<b>+290 km (+27,1 %)</b>	<b>+290 km (+27,1 %)</b>
cena (bez DPH)	317 273 Kč	280 165 Kč	411 488 Kč	380 083 Kč
cena v porovnání se stávajícím vozidlem		<b>-37 108 Kč (-11,7 %)</b>	<b>+94 215 Kč (+29,7 %)</b>	<b>+62 810 Kč (+19,8 %)</b>
náklady na 1 km (při provozu na CNG)	1,23 Kč	0,59 Kč	0,71 Kč	0,71 Kč
náklady na 1 km v porovnání se stávajícím vozidlem		<b>-0,64 Kč (-52,4 %)</b>	<b>-0,52 Kč (-41,8 %)</b>	<b>-0,52 Kč (-41,8 %)</b>
návratnost investice do CNG (při provozu na CNG)		-	181 183 km	120 789 km

**Tab. 30 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Škoda Fabia a jeho náhrad na CNG**

	stávající vozidlo	CNG náhrada	CNG náhrada	CNG náhrada
vozidlo	<b>Škoda Fabia Combi</b>	<b>Fiat 500 L CNG</b>	<b>Škoda Octavia Combi G-TEC</b>	<b>Volkswagen Golf Variant BM</b>
typ motoru	1.6 TDI	0.9 TwinAir 80 k CNG	1.4 CNG/81 kW G-TEC	1.4 TGI BM
maximální výkon	77 kW/4400 min <sup>-1</sup>	59 kW/5500 min <sup>-1</sup>	81 kW/4800 – 6000 min <sup>-1</sup>	81 kW/4800 – 6000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment	250 Nm/ 1500-2500 min <sup>-1</sup>	140 Nm/2500 min <sup>-1</sup>	200 Nm/1500 – 3500 min <sup>-1</sup>	200 Nm/1500 – 3500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	4,2 l/100 km	benzín 5,9 l/100 km, CNG 3,9 kg/100 km	benzín 5,4 l/100 km, CNG 5,4 m <sup>3</sup> (3,5 kg)/100 km	5,3 m <sup>3</sup> (3,5 kg)/100 km
kapacita nádrže	45 l	benzín 50 l, CNG 14 kg	benzín 50 l, CNG 97 l (15 kg)	benzín 50 l, CNG 15 kg
emise CO <sub>2</sub>	109 g/km	105 g/km	benzín 127 g/km, CNG 97 g/km	94 g/km
emise CO <sub>2</sub> v porovnání se stávajícím vozidlem (při provozu na CNG)		<b>-4 g/km (-3,7%)</b>	<b>-12 g/km (-11,0 %)</b>	<b>-15 g/km (-13,8 %)</b>
dojezd	1070 km	1207 km (benzín 848 km, CNG 359 km)	1330 km (benzín 920 km, CNG 410 km)	1360 km (benzín 940 km, CNG 420 km)
celkový dojezd v porovnání se stávajícím voz.		<b>+137 km (+12,8 %)</b>	<b>+260 km (+24,3 %)</b>	<b>+290 km (+27,1 %)</b>
cena (bez DPH)	337 107 Kč	382 893 Kč	392 479 Kč	404 876 Kč
cena v porovnání se stávajícím vozidlem		<b>+45 786 Kč (+13,6 %)</b>	<b>+55 372 Kč (+16,4 %)</b>	<b>+67 769 Kč (+20,1 %)</b>
náklady na 1 km (při provozu na CNG)	1,23 Kč	0,74 Kč	0,73 Kč	0,72 Kč
náklady na 1 km v porovnání se stávajícím vozidlem		<b>-0,49 Kč (-40,1 %)</b>	<b>-0,50 Kč (-40,7 %)</b>	<b>-0,51 Kč (-41,8 %)</b>
návratnost investice do CNG (při provozu na CNG)		93 441 km	110 744 km	132 881 km

**Tab. 31 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Škoda Fabia Combi a jeho náhrad na CNG**

	stávající vozidlo	CNG náhrada	CNG náhrada	CNG náhrada
vozidlo	<b>Škoda Octavia Combi</b>	<b>Fiat 500 L Living CNG</b>	<b>Škoda Octavia Combi G-TEC</b>	<b>Volkswagen Golf Variant BM</b>
typ motoru	1.6 TDI	0.9 TwinAir 80 k CNG	1.4 CNG/81 kW G-TEC	1.4 TGI
maximální výkon	66 kW/2750 - 4800 min <sup>-1</sup>	59 kW/5500 min <sup>-1</sup>	81 kW/4800 – 6000 min <sup>-1</sup>	81 kW/4800 – 6000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment	230 Nm/1400 - 2700 min <sup>-1</sup>	140 Nm/2500 min <sup>-1</sup>	200 Nm/1500 – 3500 min <sup>-1</sup>	200 Nm/1500 – 3500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	4,1 l/100 km	benzín 5,9 l/100 km, CNG 3,9 kg/100 km	benzín 5,4 l/100 km, CNG 5,4 m <sup>3</sup> (3,5 kg)/100 km	5,3 m <sup>3</sup> (3,5 kg)/100 km
kapacita nádrže	50 l	benzín 50 l, CNG 14 kg	benzín 50 l, CNG 97 l (15 kg)	benzín 50 l, CNG 15 kg
emise CO <sub>2</sub>	109 g/km	105 g/km	benzín 127 g/km, CNG 97 g/km	94 g/km
emise CO <sub>2</sub> v porovnání se stávajícím vozidlem (při provozu na CNG)		-4 g/km (-3,7 %)	-12 g/km (-11,0 %)	-15 g/km (-13,8 %)
dojezd	1220 km	1207 km (benzín 848 km, CNG 359 km)	1330 km (benzín 920 km, CNG 410 km)	1360 km (benzín 940 km, CNG 420 km)
celkový dojezd v porovnání se stávajícím voz.		-13 km (-1,1 %)	+110 km (+9,0 %)	+140 km (+11,5 %)
cena (bez DPH)	360 248 Kč	442 397 Kč	392 479 Kč	404 876 Kč
cena v porovnání se stávajícím vozidlem		+82 149 Kč (+22,8 %)	+32 231 Kč (+8,9 %)	+44 628 Kč (+12,4 %)
náklady na 1 km (při provozu na CNG)	1,20 Kč	0,74 Kč	0,73 Kč	0,72 Kč
náklady na 1 km v porovnání se stávajícím vozidlem		-0,46 Kč (-39,6 %)	-0,47 Kč (-39,3 %)	-0,48 Kč (-40,4 %)
návratnost investice do CNG (při provozu na CNG)		178 585 km	68 577 km	92 975 km

Tab. 32 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Škoda Octavia Combi a jeho náhrad na CNG

	stávající vozidlo	CNG náhrada	CNG náhrada	CNG náhrada
vozidlo	<b>Volkswagen Crafter</b>	<b>Fiat Ducato Maxi</b>	<b>Iveco Daily Natural Power</b>	<b>Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT</b>
typ motoru	2.0 TDI	3.0 16 V CNG 136 k	F1C 136 Hp Natural Power	316 NGT
maximální výkon	80 kW/3500 min <sup>-1</sup>	100 kW/3500 min <sup>-1</sup>	100 kW/2730 – 3500 min <sup>-1</sup>	115 kW/5000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment	300 Nm/1500 - 2250 min <sup>-1</sup>	350 Nm/1500 – 2730 min <sup>-1</sup>	350 Nm/1500 – 2600 min <sup>-1</sup>	240 Nm/3000 – 4000 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	9,4 l/100 km	8,8 kg/100 km	benzín 10,9 l/100 km, CNG 10,7 kg/100 km	11,8 m <sup>3</sup> /100 km
kapacita nádrže	75 l	benzín 14 l, CNG 37 kg	benzín 14 l, CNG 34 kg	benzín 100 l, CNG 46 kg
emise CO <sub>2</sub>	247 g/km	239 g/km	245 g/km	211 g/km
emise CO <sub>2</sub> v porovnání se stávajícím vozidlem (při provozu na CNG)		-8 g/km (-3,2 %)	-2 g/km (-0,8 %)	-36 g/km (-14,6 %)
dojezd	800 km	550 km (benzín 150 km, CNG 400 km)	420 km (benzín 100 km, CNG 320 km)	1200 km (benzín 750 km, CNG 450 km)
celkový dojezd v porovnání se stávajícím voz.		-250 km (-31,3 %)	-380 km (-47,5 %)	+400 km (+50,0 %)
cena (bez DPH)	580 991 Kč	642 190 Kč	výrobce neudává	825 000 Kč
cena v porovnání se stávajícím vozidlem		+61 199 Kč (+10,5 %)	-	+244 009 Kč (+42,0 %)
náklady na 1 km (při provozu na CNG)	2,76 Kč	1,67 Kč	2,03 Kč	1,60 Kč
náklady na 1 km v porovnání se stávajícím vozidlem		-1,09 Kč (-39,6 %)	-0,73 Kč (-26,5 %)	-1,16 Kč (-42,1 %)
návratnost investice do CNG (při provozu na CNG)		56 146 km	-	210 353 km

Tab. 33 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Volkswagen Crafter a jeho náhrad na CNG

	stávající vozidlo	CNG náhrada	CNG náhrada	CNG náhrada
vozidlo	<b>Volkswagen Caddy</b>	<b>Fiat Doblo Van Maxi CNG</b>	<b>Opel Combo CNG</b>	<b>Volkswagen Caddy EcoFuel</b>
typ motoru	2,0 TDI	1.4 T-Jet CNG 120 k	1.4 CNG Turbo	2.0 l CNG EcoFuel
maximální výkon	103 kW/4200 min <sup>-1</sup>	88 kW/5000 min <sup>-1</sup>	88 kW/5000 min <sup>-1</sup>	80 kW/5400 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment	320 Nm/1750 – 2500 min <sup>-1</sup>	206 Nm/1750 min <sup>-1</sup>	206 Nm/3000 min <sup>-1</sup>	160 Nm/3500 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	6,0 l/100 km	benzín 7,4 l/100 km, CNG 4,9 kg/100 km	benzín 7,4 l/100 km, CNG 5 m <sup>3</sup> (4,9 kg)/100 km	5,7 kg/100 km
kapacita nádrže	60 l	benzín 22 l, CNG 22,1 kg	benzín 22 l, CNG 16,15 kg	benzín 13 l, CNG 26 kg
emise CO <sub>2</sub>	158 g/km	benzín 173 g/km, CNG 134 g/km	134 g/km	156 g/km
emise CO <sub>2</sub> v porovnání se stávajícím vozidlem (při provozu na CNG)		-24 g/km (-15,2 %)	-24 g/km (-15,2 %)	-2 g/km (-14,6 %)
dojezd	1000 km	750 km (benzín 300 km, CNG 450 km)	625 km (benzín 300 km, CNG 325 km)	580 km (benzín 130km, CNG 450 km)
celkový dojezd v porovnání se stávajícím voz.		-250 km (-25,0 %)	-375 km (-37,5 %)	-420 km (-42,0 %)
cena (bez DPH)	448 312 Kč	349 835 Kč	404 000 Kč	457 366 Kč
cena v porovnání se stávajícím vozidlem		-98 477 Kč (-22,0 %)	-44 312 Kč (-9,9 %)	+9 054 Kč (+2,0 %)
náklady na 1 km (při provozu na CNG)	1,76 Kč	0,93 Kč	0,93 Kč	1,08 Kč
náklady na 1 km v porovnání se stávajícím vozidlem		-0,83 Kč (-47,3 %)	-0,83 Kč (-47,3 %)	-0,68 Kč (-38,7 %)
návratnost investice do CNG (při provozu na CNG)		-	-	13 315 km

**Tab. 34 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Volkswagen Caddy a jeho náhrad na CNG**

	stávající vozidlo	CNG náhrada	CNG náhrada	CNG náhrada
vozidlo	<b>Volkswagen Transporter</b>	<b>Fiat Ducato Maxi</b>	<b>Iveco Daily Natural Power</b>	<b>Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT</b>
typ motoru	2,0 BiTDI	3.0 16 V CNG 136 k	FIC 136 Hp Natural Power	316 NGT
maximální výkon	132 kW/4000 min <sup>-1</sup>	100 kW/3500 min <sup>-1</sup>	100 kW/2730 – 3500 min <sup>-1</sup>	115 kW/5000 min <sup>-1</sup>
maximální točivý moment	400 Nm/1500 – 2000 min <sup>-1</sup>	350 Nm/1500 – 2730 min <sup>-1</sup>	350 Nm/1500 – 2600 min <sup>-1</sup>	240 Nm/3000 – 4000 min <sup>-1</sup>
kombinovaná spotřeba	8,4 l/100 km	8,8 kg/100 km	benzín 10,9 l/100 km, CNG 10,7 kg/100 km	11,8 m <sup>3</sup> /100 km
kapacita nádrže	80 l	benzín 14 l, CNG 37 kg	benzín 14 l, CNG 34 kg	benzín 100 l, CNG 46 kg
emise CO <sub>2</sub>	221 g/km	239 g/km	245 g/km	211 g/km
emise CO <sub>2</sub> v porovnání se stávajícím vozidlem (při provozu na CNG)		+18 g/km (-8,1 %)	+24 g/km (-10,9 %)	-10 g/km (-4,5 %)
dojezd	950 km	550 km (benzín 150 km, CNG 400 km)	420 km (benzín 100 km, CNG 320 km)	1200 km (benzín 750 km, CNG 450 km)
celkový dojezd v porovnání se stávajícím voz.		-400 km (-42,1 %)	-530 km (-55,8 %)	+250 km (+26,3 %)
cena	702 097 Kč	642 190 Kč	výrobce neudává	825 000 Kč
cena v porovnání se stávajícím vozidlem		-59 907 Kč (-8,5 %)	-	+122 903 Kč (+17,5 %)
náklady na 1 km (při provozu na CNG)	2,46 Kč	1,67 Kč	2,03 Kč	1,60 Kč
náklady na 1 km v porovnání se stávajícím vozidlem		-0,80 Kč (-32,4 %)	-0,44 Kč (-17,8 %)	-0,87 Kč (-35,2 %)
návratnost investice do CNG (při provozu na CNG)		-	-	141 268 km

**Tab. 35 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Volkswagen Transporter a jeho náhrad na CNG**

Pro každé naftové vozidlo byly navrženy tři varianty náhrady automobilem na stlačený zemní plyn. Pouze Mitsubishi Outlander a Mitsubishi L 200 Double Cab není možné nahradit vozidly na CNG, protože takové automobily nejsou na českém trhu k dispozici. Automobily na zemní plyn jsou zpravidla vyráběny pouze v jedné motorizaci o určitém výkonu, a proto je bylo složité porovnávat s motory vozidel, kterými v současné době disponuje plynárenská společnost. A ne ve všech případech tak mohlo být srovnání zcela objektivní.

Náhrada naftových vozidel plynárenské společnosti automobily na stlačený zemní plyn s sebou v téměř všech případech přinesla ekologický efekt ve formě snížení produkce emisí oxidu uhličitého v rozmezí od 2 g/km až po 36 g/km dle konkrétního modelu. Pouze u Volkswagenu Transporter by při jeho výměně za Fiat Ducato či Iveco Daily došlo k navýšení produkce emisí oxidu uhličitého, což je způsobeno přítomností ekologického motoru ve stávajícím vozidle.

Celkový dojezd by se po výměně Škody Fabia, Škody Fabia Combi a Škody Octavia navrženými náhradami zvýšil, případně by zůstal téměř stejný. Naopak při náhradě Volkswagenu Crafter, Caddy a Transporter by se v drtivé většině celkový dojezd snížil o stovky kilometrů, což může být jednou z velkých nevýhod, proč k výměně nepřistoupit. Jedinou výjimku tvoří náhrada Volkswagenu Crafter a Transporter automobilem Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT, v tomto případě by se celkový dojezd zvýšil o 400 resp. 250 kilometrů.

Ve většině případů je automobil na zemní plyn dražší než vozidlo s naftovým motorem, ale některých modelů bylo možné najít náhradní vozidlo levnější než stávající. Tento jev však mohl být způsoben vysokou cenou stávajícího automobilu z důvodu jeho vybavenosti.

U všech navržených náhrad došlo ke snížení nákladů na 1 ujetý kilometr. Toto snížení se pohybovalo v rozmezí od 0,44 Kč do 1,16 Kč. Do tohoto hodnocení se pozitivně promítla cena zemního plynu, kterou disponuje plynárenská společnost. Se snížením nákladů na 1 ujetý kilometr souvisí i návratnost investice do vozidla na stlačený zemní plyn, která se pohybovala v rozmezí 13 315 km – 210 353 km.

## 5 ZÁVĚR

Úvod této diplomové práce stručně pojednává o možnostech plnění nádrží vozidel o celkové hmotnosti do 3,5 tuny stlačeným zemním plynem. Jsou zde shrnuty základní vlastnosti zemního plynu, dále jsou zde popsány dva druhy plnění nádrží vozidel palivem CNG (pomalé plnění a rychlé plnění), plnicí zařízení, která jsou v současné době k dispozici na českém trhu, a současný stav plnicích stanic v České republice. Závěr této kapitoly obsahuje stručné zhodnocení základních výhod a nevýhod provozu vozidel o celkové hmotnosti do 3,5 tuny na stlačený zemní plyn.

V další části diplomové práce jsem se zabýval projektem plnicího zařízení CNG pro plynářskou společnost. Zásadním úkolem pro funkčnost tohoto zařízení bylo vypracování konstrukčního návrhu kompresoru pro stlačování zemního plynu. Plynářská společnost má možnost připojit kompresor na vysokotlaký plynovod a z tohoto důvodu byl kompresor navrhován na netradiční vstupní tlak 5,5 MPa, výstupní tlak potom činil 30 MPa. Tímto se velmi liší od konkurenčních kompresorů, protože pokud je možnost tyto kompresory připojit na vysokotlaké potrubí, redukuje se nejprve tlak zemního plynu na úroveň atmosférického tlaku a teprve následně dochází ke stlačování plynu, což je energeticky velmi náročné.

Po konzultacích ve firmě Aquacentrum Praha s.r.o., která má mnohaleté zkušenosti s výrobou kompresorů na zemní plyn, bylo rozhodnuto, že se bude jednat o jednočinný, jednoválcový kompresor. Kompresor obsahuje dva písty, jeden pracovní o průměru pouhých 12,5 mm, který slouží k samotnému stlačování zemního plynu, a druhý vodicí o průměru 56 mm, který pohybuje pracovním válcem. Kompresor je vybaven ohřívačem oleje pro případ startu za nízkých teplot a limitním snímačem hladiny oleje, který zakáže start kompresoru v případě nedostatečného množství oleje pro mazání kompresoru. Pro pohon kompresoru potom slouží patkopřírubový elektromotor značky Siemens o výkonu 3 kW. V závěru této části bylo navrženo schéma plnicího zařízení CNG včetně 12 tlakových lahví o celkovém objemu 1020 l, které by měly stačit k pokrytí předpokládané denní spotřeby stlačeného zemního plynu vozidel plynářské společnosti.



V poslední části práce jsem se věnoval průzkumu trhu sériově vyráběných vozidel na stlačený zemní plyn. Na českém trhu k březnu 2015 existuje celkem 23 modelů těchto automobilů od 8 různých výrobců, přičemž největším výrobcem je bezkonkurenčně italský Fiat. Všechny tyto modely na stlačený zemní plyn jsem se snažil porovnat s jejich výkonově nejbližšími benzínovými a naftovými variantami.

Na závěr byl proveden návrh výměny vozového parku plynárenské společnosti, pro kterou byl projekt zpracováván. Pokud to bylo možné, byly pro každé naftové vozidlo navrženy tři vhodné modely s motorem na stlačený zemní plyn. Nakonec došlo i ke zhodnocení náhrady vozidel plynárenské společnosti z hlediska produkce emisí oxidu uhličitého, celkového dojezdu vozidel, pořizovací ceny i nákladů na jeden ujetý kilometr a návratnosti investice do vozidla na stlačený zemní plyn. Porovnání naftových vozidel a vozidel na CNG však nemohlo být ve všech případech zcela objektivní z důvodu dostupnosti pouze jedné motorizace na zemní plyn, která ne vždy byla plně porovnatelná s naftovými motory, kterými disponuje plynárenská společnost.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Zemní plyn a jeho druhy. *RWE*. [online]. © 2015 [vid. 2015-04-10]. Dostupné z: <https://www.rwe.cz/o-rwe/zemni-plyn/>
2. Co je zemní plyn. *Zemní plyn*. [online]. © 2007-2010 [vid. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.zemniplyn.cz/plyn/>
3. Výhody CNG. *CNG4You*. [online]. © 2011 [vid. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/vyhody-cng.html>
4. Compressed Natural Gas Fueling Stations. *Alternative Fuels Data Center*. [online]. Poslední revize 5.1.2015 [vid. 2015-04-15]. Dostupné z: [http://www.afdc.energy.gov/fuels/natural\\_gas\\_cng\\_stations.html](http://www.afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_cng_stations.html)
5. Statistiky. *CNG4You*. [online]. © 2011 [vid. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/statistiky.html>
6. 30. CNG stanice na Moravě se otevírá v sobotu v Břeclavi. *Český plynárenský svaz*. [online]. 9.4.2015 [vid. 2015-04-15]. Dostupné z: [https://www.cgoa.cz/homepage/pdfdoc/TZ\\_30\\_CNG\\_stanice\\_na\\_Morave\\_je\\_v\\_Breclavi.pdf](https://www.cgoa.cz/homepage/pdfdoc/TZ_30_CNG_stanice_na_Morave_je_v_Breclavi.pdf)
7. *CNG plnicí stanice*. [online]. © 2014 [vid. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.stanice-cng.cz/>
8. Plnicí zařízení MJ Compact 05. *MOTOR JIKOV CNG*. [online]. © 2013 [vid. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.jikovcng.cz/produkty/plnici-zarizeni-mj-compact-05/>
9. Manuals. *Aerotecnica Coltri*. [online]. © 2015 [vid. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.coltrisub.it/MAIN/ENG/manuals.htm>
10. The products. *BRC Fuelmaker*. [online]. [vid. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.brcfuelmaker.com/prodotti-phill-fmq-aziendali-domestici-brc-fuel-maker.aspx>
11. Trojfázové elektromotory SIEMENS, s účinností IE1, 1400 ot. min<sup>-1</sup>. *Elektromotory.net – Elektromotory Siemens*. [online]. © 2011 [vid. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://www.elektromotory.net/siemens/1la7-1500-otacek.html>

12. NOVÁK, Jakub: *Jednoválcový kompresor*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. [online]. [vid. 2015-04-22]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=38848](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38848)
13. CNG Lines – Synthetic Coltri oil CE 750. *Aerotecnica Coltri s.p.a.* [online]. © 2015 [vid. 2015-05-01]. Dostupné z: [http://www.coltrisub.it/COMPRESSORS/CNG/ENG/COLTRI\\_OIL\\_CE750/coltri\\_oil\\_ce\\_750.htm](http://www.coltrisub.it/COMPRESSORS/CNG/ENG/COLTRI_OIL_CE750/coltri_oil_ce_750.htm)
14. LBFS – Inteligentní hladinový spínač pro průmyslové použití. *A.P.O. – ELMOS v.o.s.* [online]. © 2014 [vid. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.apoelmos.cz/products/kapacitni-spinace-hladiny-145000/lbfs-inteligentni-hladinovy-spinac-pro-prumyslove-pouziti/>
15. Produkty. *Normans – ohřev motorů s.r.o.* [online]. © 2009 [vid. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.normans.cz/produkty>
16. Pojišťovací ventil s certifikátem TÜV CE. *AVEMAR CZECH s.r.o.* [online]. © 2010 [vid. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.stavoznaky.cz/451-bg-bgl-tg-pojistovaci-ventil-s-certifikatem-tuv-ce/71-164/>
17. Žákovec, J.: *Technické informace dodané na základě objednávky KVM/14/2370/047*
18. CNG Storage. *Vítkovice Machinery Group*. [online]. [vid. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.vitkovice.com/web/guest/cng-storage>
19. TPG 982 03. *Plnicí zařízení pro motorová vozidla s pohonným systémem CNG*. Praha: GAS s.r.o., 2014.
20. Modely. *Audi Česká republika*. [online]. © 2015 [vid. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.audi.cz/modely>
21. Modely. *Fiat*. [online]. © 2015 [vid. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.fiat.cz/modely/>
22. Modely. *Fiat Professional*. [online]. © 2015 [vid. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.fiatprofessional.cz/modely/>
23. Iveco Daily. *Iveco*. [online]. [vid. 2015-03-22]. Dostupné z: <http://www.iveco.com/new-daily/pages/home.aspx>

24. Nová vozidla – Všechny modely. *Mercedes-Benz Česká republika*. [online]. © 2015 [vid. 2015-03-22]. Dostupné z: [http://www.mercedes-benz.cz/content/czechia/mpc/mpc\\_czechia\\_website/czng/home\\_mpc/passengercars/home/new\\_cars/model\\_overview.flash.html#\\_int\\_passengercars:home:core-navi:model\\_overview](http://www.mercedes-benz.cz/content/czechia/mpc/mpc_czechia_website/czng/home_mpc/passengercars/home/new_cars/model_overview.flash.html#_int_passengercars:home:core-navi:model_overview)
25. Nová vozidla – Přehled modelů. *Mercedes-Benz Česká republika*. [online]. © 2015 [vid. 2015-03-22]. Dostupné z: [http://www.mercedes-benz.cz/content/czechia/mpc/mpc\\_czechia\\_website/czng/home\\_mpc/van/home/new\\_vans/showroom.flash.html#\\_int\\_van:home:core-navi:showroom](http://www.mercedes-benz.cz/content/czechia/mpc/mpc_czechia_website/czng/home_mpc/van/home/new_vans/showroom.flash.html#_int_van:home:core-navi:showroom)
26. Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT. *CNG Company s.r.o.*. [online]. © 2007 – 2015 [vid. 2015-03-22]. Dostupné z: [http://www.cngcompany.cz/37-mercedes-benz\\_sprinter\\_316\\_ngt](http://www.cngcompany.cz/37-mercedes-benz_sprinter_316_ngt)
27. All Vehicles. *Opel*. [online]. © 2015 [vid. 2015-03-23]. Dostupné z: [http://www.opel.cz/vozidla/passenger-cars/all\\_vehicles.html](http://www.opel.cz/vozidla/passenger-cars/all_vehicles.html)
28. Modely. *Seat*. [online]. © 2014 [vid. 2015-03-23]. Dostupné z: <http://www.seat.cz/modely>
29. Ceníky a katalogy. *Škoda Auto a.s.*. [online]. © 2015 [vid. 2015-03-23]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/ke-stazeni/katalogy-ceniky>
30. Přehled modelů – modely – Volkswagen Užitkové vozy. *Volkswagen*. [online]. © 2015 [vid. 2015-03-24]. Dostupné z: [http://www.vw-uzitkove.cz/modely/prehled\\_modelu](http://www.vw-uzitkove.cz/modely/prehled_modelu)
31. Přehled modelů – modely – Volkswagen Česká republika. *Volkswagen*. [online]. © 2015 [vid. 2015-03-24]. Dostupné z: [http://www.volkswagen.cz/modely/prehled\\_modelu](http://www.volkswagen.cz/modely/prehled_modelu)
32. CHLUMSKÝ, Vladimír. *Pístové kompresory*, 2. rozšířené vydání, Praha, 1958
33. KAMINSKÝ, Jaroslav a KOLARČÍK, Kamil. *Kompresory*, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004
34. DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Kompresory*, Praha, 1947
35. LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*, 4. doplněné vydání, Úvaly: Albra – pedagogické nakladatelství, 2008

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Zařízení pro pomalé plnění vozidel palivem CNG .....	14
Obr. 2 Zařízení pro rychlé plnění vozidel palivem CNG .....	15
Obr. 3 Plnicí zařízení MJ Compact 05 od firmy Motor Jikov.....	16
Obr. 4 Plnicí zařízení firmy Coltri MCH20-24 .....	16
Obr. 5 Plnicí zařízení firmy BRC Fuelmaker pro domácí použití .....	17
Obr. 6 Mapa plnicích stanic CNG na území České republiky .....	18
Obr. 7 Tlakový diagram kompresoru se škodlivým prostorem (bez průtokových odporů).....	24
Obr. 8 Kontrola pístního čepu .....	28
Obr. 9 Sestava pracovního a vodicího pístu kompresoru .....	29
Obr. 10 Zjednodušený tvar dřívku ojnice (bez radiusů).....	30
Obr. 11 Ojnice kompresoru .....	32
Obr. 12 Výpočet reakcí v ložiscích klikové hřídele .....	33
Obr. 13 Hladinový limitní spínač .....	34
Obr. 14 Ohřívač oleje .....	35
Obr. 15 Navržený kompresor .....	35
Obr. 16 Schéma plnicího zařízení CNG.....	37
Obr. 17 Audi A3 Sportback g-tron.....	38
Obr. 18 Fiat 500 L CNG, Fiat Doblo Panorama CNG .....	39
Obr. 19 Fiat Doblo Van CNG, Fiat Doblo Van Maxi CNG.....	40
Obr. 20 Fiat Ducato Maxi CNG, Fiat Fiorino CNG.....	41
Obr. 21 Fiat Panda CNG, palivový systém Fiatu Panda CNG.....	42
Obr. 22 Fiat Punto CNG, Fiat Qubo CNG .....	43
Obr. 23 Iveco Daily Natural Power.....	44
Obr. 24 Mercedes-Benz B 200 Natural Gas Drive, Mercedes-Benz Sprinter 316 NGT .....	45
Obr. 25 Opel Zafira Tourer 1.6 CNG Turbo Ecoflex.....	46
Obr. 26 Seat Leon 1.4 TGI CNG, Seat Mii CNG .....	47
Obr. 27 Škoda Citigo G-TEC, Škoda Octavia G-TEC.....	48
Obr. 28 Volkswagen Caddy EcoFuel, Volkswagen Golf 1.4 TGI BlueMotion.....	49
Obr. 29 Volkswagen Touran 1.4 TSI EcoFuel, Volkswagen Up! 1.0 CNG.....	50

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Složení zemního plynu, vlastnosti zemního plynu.....	12
Tab. 2 Porovnání vlastností jednotlivých paliv .....	13
Tab. 3 Porovnání základních parametrů plnicích stanic od jednotlivých výrobců.....	17
Tab. 4 Počet plnicích stanic CNG v jednotlivých krajích ČR k dubnu 2015 .....	18
Tab. 5 Časový rozvrh plnění vozidel plynárenské společnosti stlačeným zemním plynem .....	36
Tab. 6 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Audi A3 .....	38
Tab. 7 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat 500 L.....	39
Tab. 8 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Doblo Panorama .....	39
Tab. 9 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Doblo Van .....	40
Tab. 10 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Doblo Van Maxi.....	40
Tab. 11 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Ducato Maxi.....	41
Tab. 12 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Fiorino .....	41
Tab. 13 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Panda .....	42
Tab. 14 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Punto .....	42
Tab. 15 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Fiat Qubo.....	43
Tab. 16 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Iveco Daily .....	43
Tab. 17 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Mercedes-Benz B .....	44
Tab. 18 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Mercedes-Benz Sprinter .....	44
Tab. 19 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Opel Combo .....	45
Tab. 20 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Opel Zafira .....	45
Tab. 21 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Seat Leon.....	46
Tab. 22 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Seat Mii .....	46
Tab. 23 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Škoda Citigo .....	47
Tab. 24 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Škoda Octavia.....	47
Tab. 25 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Volkswagen Caddy.....	48
Tab. 26 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Volkswagen Golf.....	48
Tab. 27 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Volkswagen Touran.....	49
Tab. 28 Porovnání benzínové, naftové a CNG varianty vozidla Volkswagen Up!.....	49
Tab. 29 Stávající vozidla plynárenské společnosti na naftu jejich náhrady na CNG .....	51
Tab. 30 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Škoda Fabia a jeho náhrad na CNG.....	52
Tab. 31 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Škoda Fabia Combi a jeho náhrad na CNG.....	52
Tab. 32 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Škoda Octavia Combi a jeho náhrad na CNG .....	53
Tab. 33 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Volkswagen Crafter a jeho náhrad na CNG .....	53
Tab. 34 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Volkswagen Caddy a jeho náhrad na CNG .....	54
Tab. 35 Porovnání parametrů stávajícího vozidla Volkswagen Transporter a jeho náhrad na CNG ....	54

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha číslo 1 – Výkres sestavy kompresoru

KVM – DP – 692 – 001

Příloha číslo 2 – Schéma plnicího zařízení CNG

KVM – DP – 692 – 002