

Dvoupalivové vznětové motory na zemní plyn a naftu

Bakalářská práce

Studijní program:

B2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Strojní inženýrství

Autor práce:

David Bechyně

Vedoucí práce:

doc. Ing. Josef Laurin, CSc.

Katedra vozidel a motorů





Zadání bakalářské práce

Dvoupalivové vznětové motory na zemní plyn a naftu

Jméno a příjmení: David Bechyně
Osobní číslo: S17000276
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojní inženýrství
Zadávající katedra: Katedra vozidel a motorů
Akademický rok: 2019/2020

Zásady pro vypracování:

1. Vyhotovte literární rešerši možností použití stlačeného zemního plynu (CNG) k pohonu vznětových motorů silničních vozidel.
2. Proveďte kritické hodnocení různých možností uspořádání motorů, zejména z hlediska náročnosti úprav původních vznětových motorů a jejich provozních parametrů.
3. Navrhněte přestavbu původně naftového motoru na motor dvoupalivový spalující CNG a naftu.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

cca 40 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

[1] Xiangyu Meng, Hua Tian, Yihui Zhou, Jiangping Tian, Wuqiang Long, Mingshu Bi: *Comparative study of pilot fuel property and intake air boost on combustion and performance in the CNG dual-fuel engine*, Fuel, Volume 256, 15 November 2019. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116003>

[2] Laurin, Josef: *Zemní plyn jako automobilové palivo*. XLVIII. Mezinárodní vědecká konference českých a slovenských univerzit a institucí zabývajících se výzkumem motorových vozidel a spalovacích motorů. Liberec. Technická univerzita v Liberci, 2017. S. 207-212. ISBN 978-80-7494-354-6.

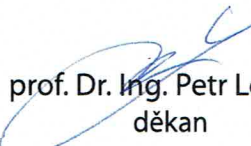
Vedoucí práce:

doc. Ing. Josef Laurin, CSc.
Katedra vozidel a motorů


Datum zadání práce:

11. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání: 11. ledna 2021


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 11. října 2019

Prohlášení

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

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS/STAG se shodují.

9. ledna 2020

David Bechyně

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Josefu Laurinovi, Csc. za odborné vedení bakalářské práce, za jeho trpělivost a přínosné rady a konzultace. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, sourozencům a přátelům za jejich podporu.

Vznětové motory spalující stlačený zemní plyn

Anotace

Bakalářská práce se zabývá především použitím zemního plynu (CNG) jako pohonné hmoty ve vznětových motorech silničních vozidel. Jelikož se plynové agregáty nevyrábí jako takové, je nutno pro jejich realizaci použít upravené původně naftové motory. Této úpravy lze dosáhnout různými způsoby, které zde budeme projednávat z hlediska náročnosti, jak technické, tak ekonomické. V experimentální části navrhne tuto přestavbu.

Klíčová slova: zemní plyn (CNG), vznětový motor

Dual-fuel diesel engines for natural gas and diesel

Annotation

The bachelor thesis deals mainly with the use of natural gas (CNG) as a fuel in diesel engines of road vehicles. Since gas aggregates are not produced as such, modified diesel engines must be used for their implementation. This adjustment can be achieved in various ways, which we will discuss here in terms of both technical and economic complexity. In the experimental part we will propose this conversion

Keywords: natural gas (CNG), diesel engine

Obsah

ÚVOD	12
1 CÍL PRÁCE A METODIKA	13
1.1 CÍL PRÁCE	13
1.2 METODIKA.....	13
2 ZEMNÍ PLYN	14
2.1 ZÁSoby ZEMNÍHO PLYNU	14
2.2 TĚŽBA	15
2.3 ZPRACOVÁNÍ A PŘEPRAVA	15
2.4 SROVNÁNÍ ZEMNÍHO PLYNU S NAFTOU.....	16
2.5 HISTORIE PLYNNÝCH PALIV V DOPRAVĚ	18
3 PLYNOVÉ MOTORY	20
3.1 PŮVODNĚ NAFTOVÉ MOTORY.....	20
3.1.1 <i>Plynové zážehové</i>	21
3.1.2 <i>Plynové vznětové</i>	23
3.2 PŮVODNĚ BENZINOVÉ MOTORY.....	26
3.2.1 <i>Plynové zážehové</i>	27
3.2.2 <i>Provoz na plyn nebo na benzin</i>	28
3.3 TVORBA PALIVOVÉ SMĚSI PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY	29
3.3.1 <i>Směšováním</i>	29
3.3.2 <i>Vefukováním</i>	30
3.4 PROVOZNÍ PARAMETRY DVOUPALIVOVÝCH VZNĚTOVÝCH MOTORŮ	31
4 NÁVRH KONVERZE VOZIDLOVÉHO NAFTOVÉHO MOTORU NA DVOUPALIVOVÝ ZEMNÍ PLYN + NAFTA	32
4.1 FUNKČNÍ VZOREK DVOUPALIVOVÉHO MOTORU ZEMNÍ PLYN + NAFTA	33
4.1.1 <i>Plynové palivové příslušenství</i>	33
5 ZÁVĚR	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	41
5.1 SEZNAM LITERÁRNÍCH ZDROJŮ	41

5.2	SEZNAM INTERNETOVÝCH ZDROJŮ	41
6	PŘÍLOHY.....	44
6.1	PŘÍLOHA Č. 1 – SESTAVA SMĚŠOVAČE SME_4002.....	44
6.2	PŘÍLOHA Č. 2 – VÝROBNÍ VÝKRES SMĚŠOVAČE SME_4001.....	45

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1. Světové zásoby zemního plynu</i>	15
<i>Obrázek 2. Vrtná souprava mořská a pozemní</i>	15
<i>Obrázek 3. Přeprava zemního plynu</i>	16
<i>Obrázek 4. Lenoirův výbušný motor na svítiplyn</i>	18
<i>Obrázek 5. Srovnání CNG, LPG a LNG nádrží, Výparníková LNG pumpa (LNG modře, CNG červeně)</i>	20
<i>Obrázek 6. Rozdíl mezi původním pístem a pístem pro zemní plyn.</i>	21
<i>Obrázek 7. Schéma hlavy válce CNG motoru</i>	22
<i>Obrázek 8. Přímé vstřikování CNG.....</i>	22
<i>Obrázek 9. Schéma zástavby plynového vznětového motoru</i>	23
<i>Obrázek 10. HPDI vstřikovač nafty a zemního plynu.</i>	24
<i>Obrázek 11. Schéma systému Bosch Dual Fuel</i>	26
<i>Obrázek 12. Průřez dvoupalivovým motorem benzín/CNG.</i>	27
<i>Obrázek 13. Průřez vozidla Opel Zafira CNG</i>	28
<i>Obrázek 14. Graf určující dobu do odfouknutí zemního plynu do atmosféry</i>	29
<i>Obrázek 15. Motor CUMMINS ISBe4.....</i>	32
<i>Obrázek 16. Schematické uspořádání plynového palivového příslušenství.</i>	33
<i>Obrázek 17. Regulátor tlaku plynu STAG R14.....</i>	34
<i>Obrázek 18. Vefukovací ventil STAG AC W03.....</i>	36
<i>Obrázek 19. Blok čtyř vefukovacích ventilů, typ STAG AC W02 BFC.....</i>	37
<i>Obrázek 20. Řídící jednotka typ STAG Diesel</i>	38
<i>Obrázek 21. Schéma zapojení el. Instalace</i>	39

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1. Fyzikálně-chemické vlastnosti zemního plynu a nafty.....</i>	17
<i>Tabulka 2. Technické parametry regulátoru tlaku</i>	35
<i>Tabulka 3. Technické parametry vefukovacího ventilu</i>	37

Seznam použitých zkratk

CBM	Zemní plyn z uhelných slojí
CNG	Stlačený zemní plyn
EGR	Recirkulace výfukových plynů
EU	Evropská unie
HÚ	Horní úvrat'
KH	Klikový hřídel
LNG	Kapalný zemní plyn
LPG	Zkapalněný ropný plyn
SFI	Jednobodový vstřík paliva
ZVN	Zapalovací vstřík nafty

Úvod

Vznětové motory patří k nejčastěji používaným agregátům jak pro silniční dopravu, tak pro dopravu železniční a námořní. Rozvinutá infrastruktura představuje nedílnou součást života každého z nás.

Vzhledem k rostoucímu pozitivnímu přístupu současné generace k ochraně životního prostředí a s ním souvisejících regulací EU nastává otázka, jak omezit emise a výfukové zplodiny dopravních prostředků. Nabízí se možnost užití alternativních paliv, která jsou ekologicky příznivější. Dalším důvodem je, že ropa není obnovitelným zdrojem, nikdo nedokáže s přesností určit, kdy zásoby dojdou a zda budou nalezeny další. V současné době se tento problém řeší elektrifikací dopravy, toto řešení se však jeví jako pouze dočasné. Na výrobu baterií je potřeba těžkých a vzácných kovů, jejichž zásoby jsou také vyčerpateľné. Zatím není jasné, jak dlouho tyto baterie vydrží, než přestanou fungovat. Dalším problémem s tím souvisejícím je následná likvidace či recyklace baterií. Spalovací motory vytváří kromě mechanické energie i značné množství energie tepelné, kterou lze využít například pro vytápění. Budoucnost elektrifikace není tedy zcela vhodná a je nutno se zamyslet nad další případnou možností použití alternativních paliv.

Evropská unie klade na výrobce automobilů a dopravní instituty velký nápor z hlediska emisí. Možné diskutované regulace představují velký problém nejen pro výrobce, ale i pro uživatele. Jako vhodná dočasná alternativa paliv se nabízí využití zemního plynu jak ve stlačeném stavu (CNG) tak i ve stavu kapalném (LNG). Zemní plyn má nižší emisní hodnoty pevných částic a oxidu dusíku, a je i levnější oproti benzínu či naftě. Nevýhodou je nedostatek zásobovacích stanic pro zemní plyn, který by se však do budoucna mohl vyřešit.

1 Cíl práce a metodika

1.1 Cíl práce

Hlavním cílem bakalářské práce je návrh přestavby původně naftového motoru na funkční vzorek dvoupalivového motoru, spalující zemní plyn a naftu, v závislosti na regulacích Evropské Unie limitů oxidu uhličitého.

Jedním z dílčích cílů je teoretické posouzení a vysvětlení podstaty fungování těchto motorů a použití zemního plynu jako paliva k pohonu vznětového motoru. Dalším z dílčích cílů je následné kritické hodnocení různých možností uspořádání motorů, zejména z hlediska náročnosti úprav původních vznětových motorů.

1.2 Metodika

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je charakterizován zemní plyn, jeho fyzikálně – chemické vlastnosti, historie jeho využití a principy využití plynu jako paliva. Teoretická část byla zpracována za pomoci studia odborné literatury tuzemské i zahraniční a dostupných internetových zdrojů.

Praktickou část představuje analýza naftového agregátu a syntéza jednotlivých zkoumaných částí. Je zpracován návrh pro přestavbu původně naftového motoru CUMMINS ISBe4 na funkční vzorek motoru spalující stlačený zemní plyn (CNG). Analýza neboli rozbor zvoleného objektu, jevu či situace, umožňuje podrobněji poznat jednotlivé jevy a usnadňuje poznání předmětu jako celku. Syntéza představuje sjednocení jednotlivých částí v celek, přičemž je kladen důraz na vzájemné a podstatné souvislosti mezi jednotlivými složkami zkoumané oblasti.

2 Zemní plyn

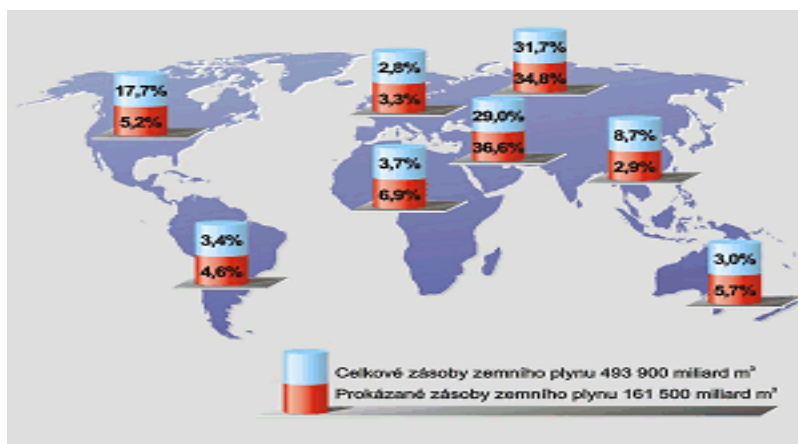
Za nečistší energii z fosilních nosičů je považován zemní plyn. Hoření zemního plynu produkuje méně škodlivin a oxidu uhličitého ve srovnání s běžnými ropnými produkty, mezi které lze zařadit například benzin či naftu. [6]

2.1 Zásoby zemního plynu

Celkové zásoby zemního plynu jsou odhadované na přibližně $5,11 \cdot 10^{14}$ m³ a k jejich vytěžení má dojít odhadem za 200 let. Zásoby zemního plynu lze rozdělit do tří skupin.

- **Prokázané zásoby** (prověřené) zemního plynu. Jedná se o těžitelné zásoby, se kterými lze ekonomicky počítat. Na konci dvacátého století dosáhly objemu $1,64 \cdot 10^{14}$ m³, a při stálé, nezvyšující se těžbě, vydrží zhruba do roku 2060. Přibližně 72 % těchto zásob se nachází na pevnině a zbylých 28 % v mořských šelfech, tzv. mělčinách.
- **Pravděpodobné zásoby**, tj. zásoby na ložiscích, které nejsou zatím nijak technicky vybavené, a čeká se na jejich vytěžení. Dosahují asi $3,47 \cdot 10^{14}$ m³, ale důsledkem osvojování ložisek a zahajováním jejich těžby se objem stále přesouvá do prokazatelných zásob. Evropa i Česká republika leží na příznivě geografické půdě pro oba druhy zásob zemního plynu.
- **Potenciální zásoby** jsou zásoby obsažené v tzv. nekonvenčních zdrojích. Mezi hlavní představitele těchto zdrojů patří především hydráty metanu, které se nacházejí v zemské kůře pod dnem oceánů. Je to pevná sloučenina podobná sněhu, tvořená 80 % vody a 20 % metanu s některými vyššími uhlovodíky, jako například etan, propan apod. za vysokých tlaků a nízkých teplot. Předpokládá se, že v současné době zásoby zemního plynu v hydrátech činí asi $2,1 \cdot 10^{16}$ m³, a to především na severní polokouli. Metan lze dále získávat i z černého uhlí, jenž se ukládá v mikroporézní struktuře uhelné hmoty. Je označován tzv. Coal Bed Metan (CBM) a efektivita produkce je závislá na stupni prouhelnění uhelné hmoty a její propustnosti. Těžba CBM je

zatím ve většině uhelných pánví světa na začátku vývoje a pokusů. Ekonomicky zajímavé zásoby se pohybují v rozmezí od $0,7-3,7 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$. [6]



Obrázek 1. Světové zásoby zemního plynu [15]

2.2 Těžba

Jelikož se zemní plyn převážně vyskytuje v hlubinných kapsách, používá se obdobný postup jako při těžbě ropy, a to vrtem dosahující hloubky 3–6 km. Těžba se provádí na souši i na moři a je často doprovázena těžbou ropy.



Obrázek 2. Vrtná souprava mořská a pozemní [19]

2.3 Zpracování a přeprava

Čerstvě vytěžený plyn obsahuje také velké množství nečistot, například prach a syrné látky. Proto je nezbytné tyto nečistoty před dalším použitím dostatečně odstranit. Po vyčištění se zemní plyn může stlačit do podoby CNG (Compressed Natural Gas), nebo zkapalnit na LNG (Liquefied Natural Gas). Tyto úpravy jsou vhodné zejména pro

skladování a přepravu. Zkapalněný zemní plyn má oproti stlačenému plynu asi 600x menší objem, je proto vhodným pro přepravu mezi kontinenty a místy, kam nesahá plynovodné potrubí. Vhodný je také pro automobilovou dopravu.

Evropa je zásobena několika plynovody, které proudí z Ruska, Norska, Holandska, ale i Alžírsko. Přivádí se sítí plynovodů hlavně pro střední Evropu, ale i ve zkapalněné formě do Španělska, Francie a Itálie.

Do České republiky se plyn dostává hlavně z Ruska a Norska. Z východu proudí ruským plynovodem přes území Slovenska na stanici Lanžhot, ze západu dodávky plynu mohou vstupovat přes předávací stanici Hora sv. Kateřiny. [6]



Obrázek 3. Přeprava zemního plynu [16]

2.4 Srovnání zemního plynu s naftou

Zemní plyn je tvořen ze směsi plynů s největším podílem metanu 80 až 98 %, etanu 0,5 až 8,5 % a dalšími složkami jako je propan, butan, i-butan, vyšší uhlovodíky, vodík, dusík a oxid uhličitý. Složení se liší podle dodavatele a místa těžby. Plyn známe v podobě plynné (CNG) i kapalné (LNG), liší se kromě skupenství také energií uloženou v objemové míře, která je u LNG až 600x vyšší. [5]

Motorová nafta je směs kapalných uhlovodíků získávána z ropy destilací a hydrogenační rafinací obvykle při teplotách 150–370 °C. Její kvalita se udává cetanovým číslem, které vyjadřuje její vznětlivost. Patří mezi nejrozšířenější paliva využívaná v dopravě. Využití nafty se bohužel dostává na ekonomicko-ekologické maximum a její uhlíková stopa se bude snižovat jen minimálně. [14]

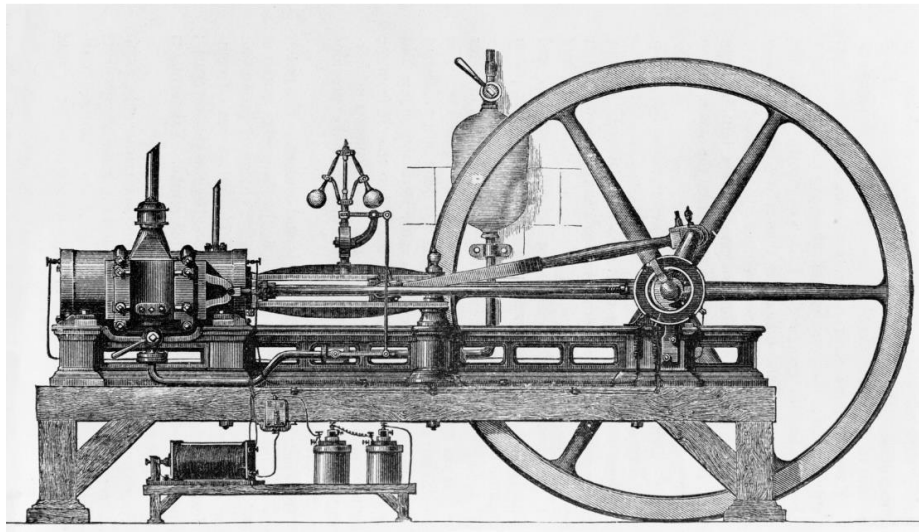
Tabulka 1. Fyzikálně-chemické vlastnosti zemního plynu a nafty [6,5,12]

Vlastnosti/palivo		Zemní plyn v ČR (tranzitní)	Motorová nafta
Parametr	Rozměr	Hodnota	
teplota vznícení	°C	537-580	300
Bod vzplanutí	°C	152	>100
Hustota při 15 °C	kg/m ³	0,694	835
Výhřevnost	MJ/kg	49,4	42,5
Výhřevnost	kWh/kg	13,72	11,8
Oktanové číslo	-	130	~
Cetanové číslo	-	~	>51
Cena paliva	kč/kg	24,7	35,28
Cena 1kWh energie	kč	1,8	2,99
Spotřební daň	kč/kg	2	13,32
Spotřební daň za 1kWh	kč	0,15	1,13
Celková síra	mg/kg	0,288	10,00
spalovací poměr λ	vzduch/palivo	9,51	14,6
Bod varu	°C	-162	163-357
Bod tuhnutí	°C	pod -182	pod -20 (norma s aditivy)

Z tabulky 1 vyplývá, že zemní plyn má v sobě uchovaný vyšší hodnoty energie a je levnější než nafta. Daně za zemní plyn jsou v České republice oproti daním z motorové nafty několikanásobně nižší. Zemní plyn je z tohoto hlediska lepší a levnější, má ovšem i své nevýhody, které nastávají při skladování. Zemní plyn se musí buď stlačit, nebo zkapalnit. Stlačený zemní plyn je nutné skladovat v těžkých a masivních zásobnících, jejichž samotná hmotnost je často vyšší než hmotnost paliva, které pojmu. Zkapalněný plyn se vyrábí ve zkapalňovacích stanicích, proces zkapalnění je energeticky náročný, ale i přesto se vyplatí. Zkapalněný zemní plyn je třeba skladovat v kryogenních zásobnících při teplotě přibližně -160 °C a malém přetlaku.

2.5 Historie plyných paliv v dopravě

Historie použití plynu pro pohon automobilů je jen o něco málo kratší než automobilismus samotný. Už v roce 1859 sestrojil francouzský vynálezce Jean Lenoire první prakticky využitelný výbušný motor na svítiplyn, později tento motor začal konstruovat i do vozidel. V roce 1863 vykonal první jízdu z Paříže do jejího předměstí Joinville a zpět s vozidlem na svítiplyn. Ukázalo se, že plyn má pro pohon řadu předností a výhod, i když jel rychlostí pouhých 6 km/h.



Obrázek 4. Lenoirův výbušný motor na svítiplyn [11]

S plynovými motory začínal i slavný německý vynálezce N. A. Otto, který se spojil se zámožným inženýrem E. Langenem a v roce 1864 založili první továrnu na motory na světě, dnešní DEUTZ AG. N. A. Otto přišel na princip čtyřdobého spalování, který pak společně v továrně vyvíjeli.

V roce 1867 se zúčastnili světové výstavy v Paříži, kde představili svojí verzi jednoválcového čtyřdobého motoru. Byl méně konkurence schopný a hlučný, ale dokázal spotřebovávat třetinové množství plynu. Nakonec za tento motor získali zlatou medaili.

Výkon motoru se pohyboval od 0,25 až do 3 koňských sil (podle velikosti) při 60 ot/min. Systém zapalování spočíval v načasovaném odkrytí plynového plamínku šoupátkem. Tento motor spaloval jako první místo svítiplynu právě zemní plyn.

Krátce poté se však plynná paliva začala nahrazovat kapalnými. Ze začátku zejména petrolej, později benzin a nafta, které se staly koncem 19. a hlavně 20. století rozhodujícími v automobilovém průmyslu. Vypadalo to, že plynová éra v pohonu vozidel skončila, ale nakonec tomu tak nebylo. Nedostatek kapalných pohonných hmot během první a druhé světové války se postaral o návrat plynu k pohonu vozidel. Přejít na plyn byl výrazný zejména v Anglii, kde si místní obyvatelé vyráběli svítiplyn z uhlí. Velkou nevýhodou byl malý akční rádius vozidel. Plyn byl uchováván v gumových vacích a téměř při žádném tlaku, což vedlo k postupnému přechodu na stlačený plyn.

Kolem roku 1930 se ve Francii začal používat stlačený svítiplyn, brzy se poté se začal objevovat i v dalších evropských zemích. S rozvojem stlačeného svítiplynu souvisely i pokusy například metanem, kalovým plynem a dalšími plyny.

Lidé si již v této době velice dobře uvědomovali čistotu spalování plynu oproti jiným palivům. [3]

3 Plynové motory

Plynové motory vznikají z převyšující míry přestavbou původně sériově vyráběných konstrukcí vznětových a zážehových motorů. Samotná přestavba spočívá v úpravě motoru a doplnění potřebnými prvky nutnými pro provoz na plynná paliva.

Motor pak může fungovat čistě na plyn, původní palivo, nebo obojí. Při provozu na plyn dochází ke snížení nákladů na provoz a k ucházejícímu poklesu emisí oxidu uhličitého, což jsou jedny z hlavních výhod, proč přestavbu realizovat. [4]

Rozdíly konstrukčních úprav mezi LPG a CNG tkví primárně v dávkování, kvůli rozdílům stechiometrického poměru spalování se vzduchem, ale i rozdílů nádrží, které jsou u CNG mnohem těžší. Provozní tlak v nádrži LPG je okolo 1 MPa, u CNG mezi 20-30 MPa. Rozdíl zástavby mezi CNG a LNG se liší v dodávání paliva a také v nádrži. U LNG je třeba oproti CNG nejprve odpařit LNG do fáze CNG. Odpaření zajišťuje pumpa umístěná v kryogenní nádrži, která vlivem zvýšení tlaku zvýší i teplotu a dojde k odpaření na plynnou fázi. Ta se následně odvádí do palivového systému CNG.



Obrázek 5. Srovnání CNG, LPG a LNG nádrží, Výparnická LNG pumpa (LNG modře, CNG červeně) [9,21]

3.1 Původně naftové motory

Jsou to plynové motory vycházející z konstrukce naftových motorů provedením určitých úprav pro provoz na zemní plyn. U vznětových motoru dochází k zažehnutí paliva

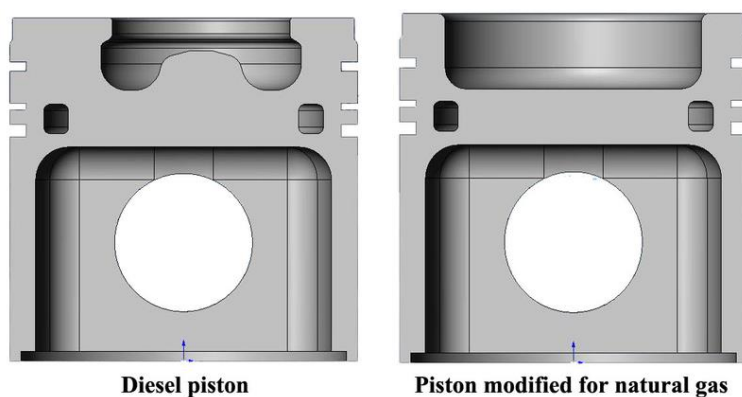
pouhým zvýšením tlaku a teploty, díky vznětlivosti jeho paliva. Zemní plyn má oproti motorové naftě mnohem menší vznětlivé vlastnosti a je potřeba ho zapalovat přímo. Toho se dá dosáhnout různými konstrukčními úpravami. Jednou z nich je přestavení motoru na motor zážehový, nebo zachování určitého podílu nafty při spalování pro účel vznícení palivové směsi.

3.1.1 Plynové zážehové

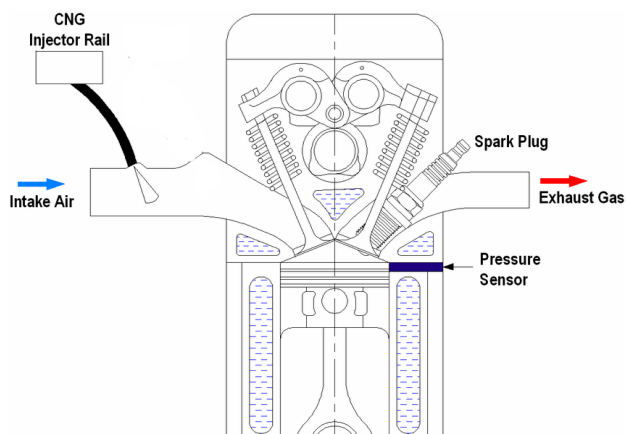
Jedná se o motory původně naftové, přestavěné na motory se zážehovým zapalováním. Hlavní konstrukční úprava pro tento způsob spočívá v přidání zapalovací svíčky do válce a následně výměnou pístu, kvůli snížení kompresního poměru. Zapalovací svíčka se často montuje na místo, kde byl původní vstříkovací ventil nafty. Kdyby byl vstříkovač zachován, mohlo by dojít k jeho znehodnocení. Ponechání vstříkovače nafty by znamenalo složité konstrukční úpravy hlavy motoru. Nutností by bylo do hlavy motoru přidělat další otvor pro zapalovací svíčku, což u některých hlav motoru není možné, zejména u těch s více ventily, kde není téměř žádný prostor. Vstříkovací ventil by pak musel dodávat alespoň minimální množství motorové nafty, aby nedošlo k jeho znehodnocení.

Nejvhodnější řešení je tedy použít zapalovací svíčku namísto vstříkovače motorové nafty. Kvůli snížení kompresního poměru nemá smysl vstříkovač zanechávat, provoz pouze na naftu by beztak nebyl možný.

Jedná se pak tedy o motory jednopalivové, spalující pouze plynné palivo. [17]



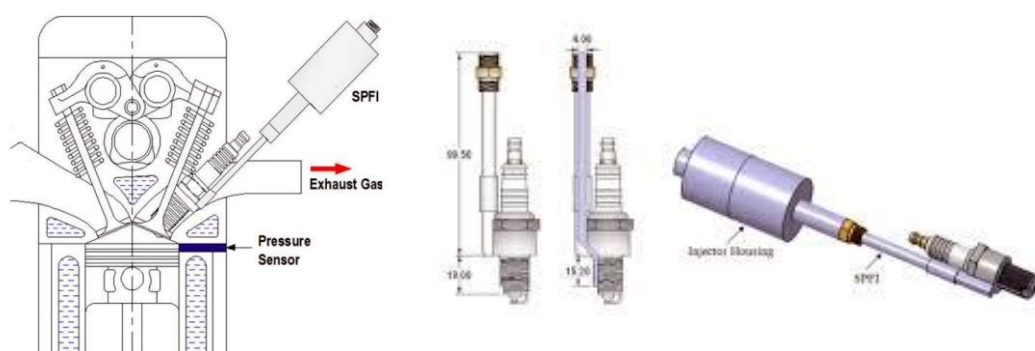
Obrázek 6. Rozdíl mezi původním pístem a pístem pro zemní plyn. [17]



Obrázek 7. Schéma hlavy válce CNG motoru [17]

Přestavba motoru lze provést jak na nepřepřlňovaném motoru, tak i na přepřlňovaném. Rozdíl spočívá v principu přípravy zápalné směsi. U motoru bez přepřlňování lze palivo dodávat klasickým směšováním, za to u přepřlňovaného motoru se musí použít elektronické vefukovače CNG, které jsou dražší.

Lze využít i přímého vstřikování do válce motoru za použití speciálně upravené svíčky (Obrázek 8.) Přímé vstřikování paliva zvyšuje bohatost směsi, což má za následek zvýšení účinnosti.



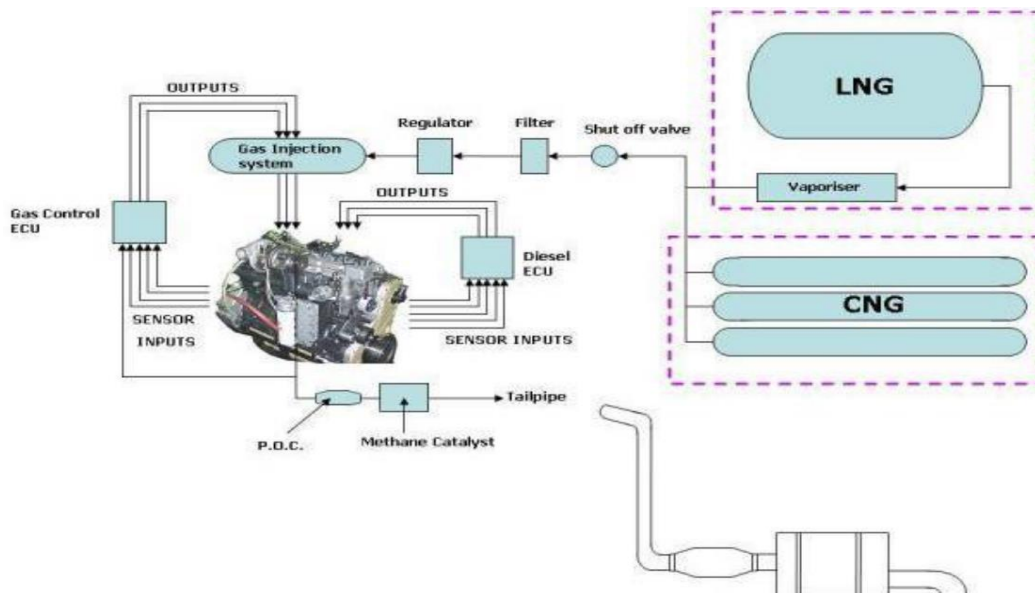
Obrázek 8. Přímé vstřikování CNG [17, 20]

Tato přestavba se nejčastěji realizuje z velkých naftových motorů pro nákladní dopravu, generátorů a námořních motorů. Jejich nevýhodou je, že při nízkých otáčkách oproti původním motorům mají menší točivý moment, což je způsobeno snížením kompresního poměru. Výhodou je pak znatelné snížení emisí a levnější provoz motoru. Motor pracuje při vyšších teplotách a je ho potřeba více chladit.

3.1.2 Plynové vznětové

Jsou to motory vycházející z konstrukce naftových motorů bez přidání elektrického zapalovacího systému. Směs plynného paliva se vzduchem se zapaluje určitou dávkou nafty, která je vstříkována do válce. Podle poměru těchto dvou paliv dělíme motory na vznětové dvoupalivové a motory se zapalovacím vstřikem nafty (ZVN). V případě, že dojde plyn, mohou vznětové dvoupalivové motory fungovat se 100% podílem nafty.

Plynové motory se ZVN pracují převážně na zemní plyn, nafta se zde vstříkuje pouze pro účel zapálení směsi v minimálním možném množství (1-10 % podílu paliva). Zbytek směsi tvoří zemní plyn a vzduch. Občas je nutné krátkodobě zvýšit podíl nafty, aby nedocházelo k přehřátí naftových trysek. Původní naftový motor musí mít kompletně elektronické dávkování paliva. ZVN má oproti zapalovací svíčke mnohabodový zápal. Motorová nafta se ve válci rozprašuje do miniaturních kapiček, které se odpaří a vznítí. Každá kapka je zdrojem hoření pro zemní plyn. To je oproti zapalovací svíčke, která zapaluje směs pouze jedním bodem, značná výhoda v efektivitě spalování směsi.



Obrázek 9. Schéma zástavby plynového vznětového motoru [17]

Motory mohou být vybaveny buď přímými, nebo nepřímými vefukovači zemního plynu. Nepřímé vefukovače jsou umístěny v sání před sacími ventily. U přímého vefukování jsou původní naftové vstřikovací ventily nahrazeny speciálními vstřiko-vefukovači dodávajícími současně obě paliva (obr. 10).



Obrázek 10. HPDI vstřikovač nafty a zemního plynu. [22]

Přímé vefukovače minimalizují klepání motorů. Další výhodou je, že při vefukování zemního plynu se zároveň chladí naftový vstřikovač. Při nízkých teplotách motoru se může stát, že vefuk zemního plynu ochladí stlačenou směs a nemusí dojít ke vznícení směsi.

Motor je schopný **provozu se zapalovacím vstřikem nafty, nebo na naftu**. V případě, že v palivové nádrži dojde plyn, nebo si bude chtít řidič sám přepnout palivo, se vyšle signál do řídicí jednotky, která vypne vstřikování zemního plynu a nastaví dávkování nafty do původních hodnot.

Provoz se ZVN s přímými vstřikovými vefukovači HPDI 2.0 od společnosti WestportTM nabízí stejný výkon, točivý moment a jízdní vlastnosti jako při provozu na motorovou naftu. Díky optimalizovanému spalování může motor vybavený vefukovači HPDI 2.0 dosáhnout účinnosti dieselového motoru s inherentně nízkými emisemi nespáleného metanu. Přestavba je navržena tak, aby vyhovovala nejnovějším emisním limitům Euro VI. Dokáže snížit emise skleníkových plynů o 20-100 %, podle paliva, které spaluje. Například BioCNG, které má téměř stejné složení i emise jako zemní plyn, se považuje z pohledu EU za čisté palivo bez emisí skleníkových plynů, i když je ve skutečnosti má. Je tomu proto, že BioCNG se vyrábí z rozkladu organických hmot. [22]

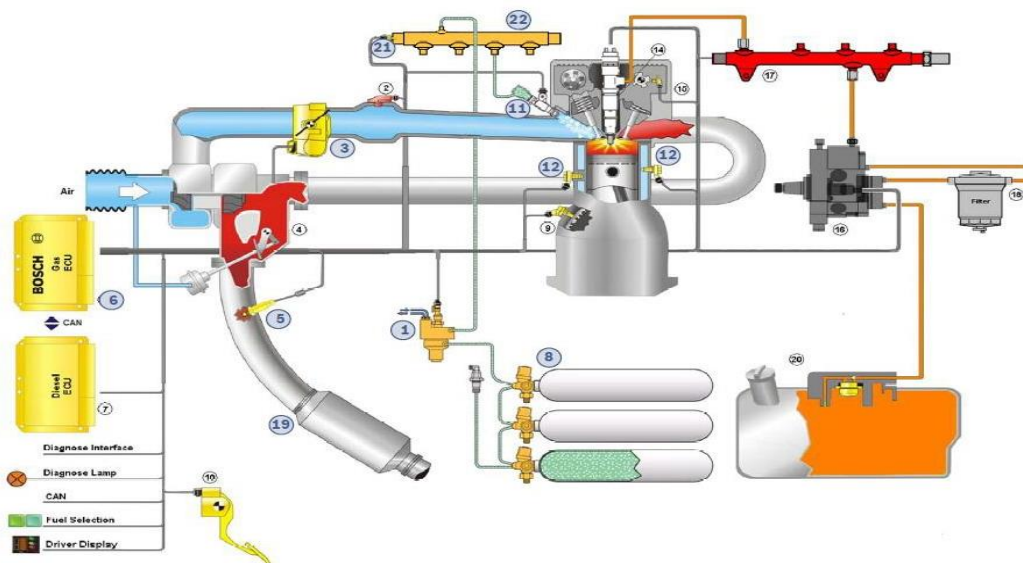
Provoz na zemní plyn představuje mnoho dalších výhod, jako například snížení hlučnosti motoru, výrazné snížení kouřivosti, značný pokles pevných částic ve spalínách a nulová kontaminace okolí při úniku paliva.

Dvoupalivové motory jsou taktéž motory spalující zemní plyn a naftu, ale nafta se zde vstříkuje ve větším množství, motor funguje v různých poměrech zemního plynu a nafty. Naftu lze nahradit zemním plynem až do 85 % její energie obsažené ve směsi, toto procento se vývojem stále zvyšuje. V současné době je mnoho firem, které se tímto vývojem zabývá. Bosch je jednou ze společností, které na systému pracují, a to může znamenat, že řešení je považováno za jeden z možných způsobů vývoje dieselových motorů.

Původně dieselový motor je přizpůsobený současnému přívodu nafty a zemního plynu, může fungovat jako běžná vznětová pohonná jednotka nebo v režimu dvojitého paliva, kde je nafta většinou nahrazována plynem. Komponenty energetického systému a softwaru Bosch Dual-Fuel umožňují použití zemního plynu v různých formách (CNG, LNG nebo biometan).

Prototyp motoru, který splňuje normy Euro IV, je vybaven systémem EGR (recirkulace výfukových plynů) a systémem Dual-Fuel Bosch, byl testován na zkušebním zařízení za účelem zjištění nejvyšší možné dávky plynu ve srovnání s naftou. Bylo možné nahradit více než 85% nafty plynem. K dosažení žadoucího výsledku sleduje řídicí jednotka Bosch Dual-Fuel mnoho provozních parametrů motoru, tj. načasování vstřikování nafty, dávku nafty, tlak vstřikování nafty, načasování vstřikování zemního plynu a dávku tohoto typu paliva.

Studie prokázaly, že současné použití motorové nafty a zemního plynu snižuje obsah částic ve výfukových plynech na takovou úroveň, že není nutné používat filtry částic (DPF). Splnění normy Euro 6 je možné u dvoupalivových motorů pouze při použití systému selektivní katalytické redukce (SCR), který snižuje množství sloučenin dusíku bez recirkulace výfukových plynů. [8]



Obrázek 11. Schéma systému Bosch Dual Fuel [8]

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1. regulátor tlaku plynu | 12. snímač klepání |
| 2. snímač tlaku vzduchu a teploty | 13. snímač teploty motoru |
| 3. škrticí klapka | 14. vstřikovač nafty |
| 4. vypouštěcí ventil turbodmychadla | 15. snímač vačkového hřídele |
| 5. senzor kyslíku | 16. vysokotlaké čerpadlo |
| 6. regulátor CNG | 17. společná trubice nafty |
| 7. regulátor nafty | 18. palivový filtr |
| 8. CNG Nádrže | 19. katalyzátor |
| 9. snímač otáček motoru | 20. nádrž na naftu |
| 10. plynový pedál | 21. snímač tlaku a teploty plynu |
| 11. vstřikovač CNG | 22. palivová trubice CNG [8] |

3.2 Původně benzinové motory

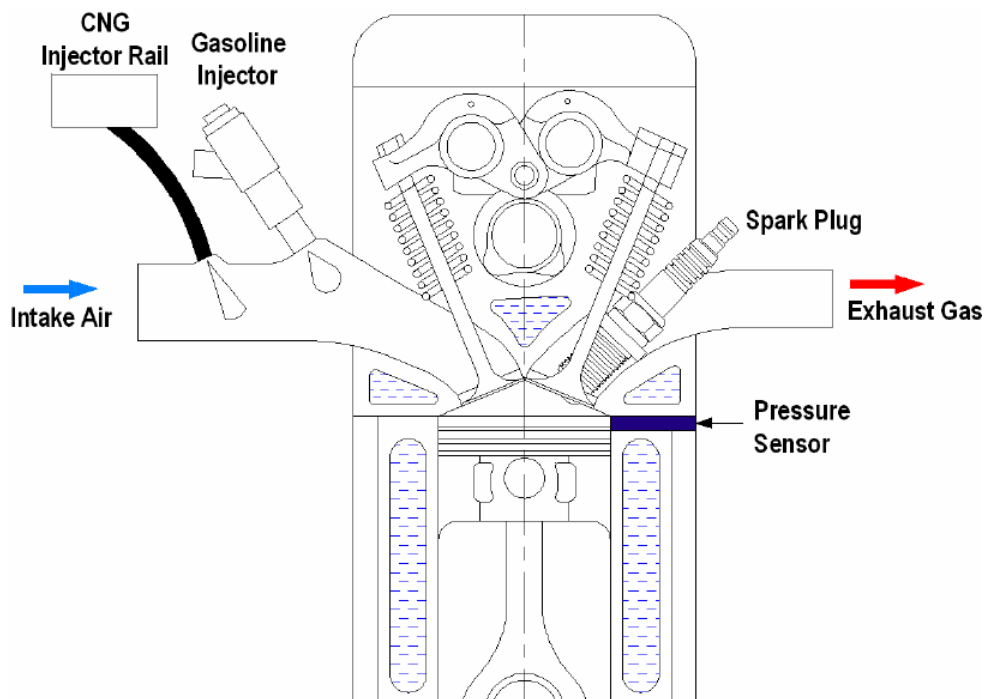
Jsou to zážehové benzinové agregáty, které jsou upraveny, nebo sériově vyráběny pro provoz na plynná paliva. Zážehové motory mají již zapalovací svíčku a mají nižší kompresní poměr, na rozdíl od vznětových motorů. Přestavba motoru je tedy o dost jednodušší.

Díky vysokému oktanovému číslu zemního plynu je na rozdíl od vznětových motorů vhodné kompresní poměr zvýšit, aby se dosáhlo stejného výkonu jako u provozu na benzín a účinnějšího spalování.

3.2.1 Plynové zážehové

Jsou to dvoupalivové motory spalující buď zemní plyn, nebo benzín. Zemní plyn se přivádí z vysokotlaké nádrže palivovým potrubím přes regulátor, kde se upraví tlak na provozní hodnoty, do směšovače či vefukovačů. Vefukovače mohou být umístěny před sacími ventily, ale i přímo ve válci motoru. U dvoupalivových motorů je vhodné umisťovat vstřikovače mimo válec, při provozu na jedno z paliv by mohlo dojít k přehřívání a následného poškození ventilu druhého paliva.

Zástavba je téměř shodná jako u původně naftových motorů, nemusí se však zavádět zážehový systém, nebo vstřikovat zapalovací dávka paliva.



Obrázek 12. Průřez dvoupalivovým motorem benzín/CNG. [17]

3.2.2 Provoz na plyn nebo na benzín

Požizovací cena vozu s pohonem CNG je o něco vyšší, než u benzínového pohonu, avšak provoz na zemní plyn představuje značné snížení provozních nákladů oproti nákladům za provoz na benzín. Vzhledem k těmto úsporám je to výhodná investice, která se vrátí do přibližně 50 000 najetých kilometrů.



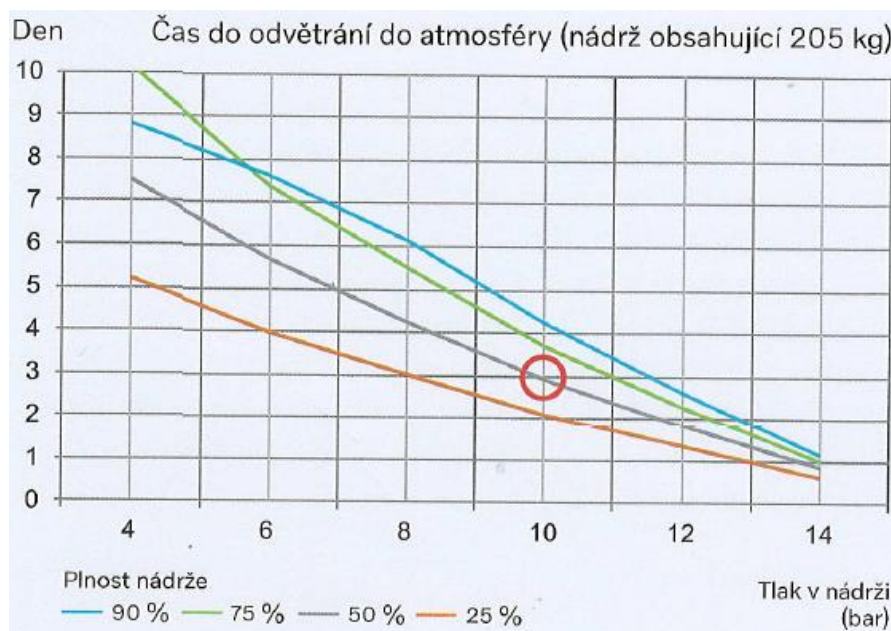
Obrázek 13. Průřez vozidla Opel Zafira CNG [18]

Palivové **CNG nádrže** u vozidel s pohonem na stlačený zemní plyn díky své mohutnosti a značným opatřením bezpečnostních ventilů nepředstavují téměř žádná rizika. Jsou vyráběny z oceli, nebo z lehčích kompozitních materiálů, navíc jsou umístěny mimo deformační zóny vozidla. I v případě velkého požáru je bezpečnost zajištěna tlakovými pojistkami, které se při zvýšení tlaku blížící se kritickým hodnotám vyvolaném přehřátím protrhnou a zajistí postupné odhoření paliva.

Jako nevýhoda se jeví vysoká hmotnost a velikost samotné nádrže v poměru s palivem, které pojme.

LNG nádrž se jeví jako výhodná alternativa, její tlak dosahuje maximálně 16bar (u CNG okolo 200 bar) a pojme mnohem více paliva ve srovnání s jejími rozměry a hmotností. Plyn je skladován v kapalně fázi při kryogenních teplotách. Kryogenní nádrž

je vhodná pro každodenní provoz, z termodynamických zákonů vyplývá, že při odpouštění paliva (snižování tlaku v nádrži) se spotřebovává tepelná energie. Tímto způsobem se kompenzují ztráty v izolaci nádrže. Při méně častém používání se vlivem těchto izolačních ztrát zvyšuje tlak v nádrži, po překročení maximálního tlaku se otevře odvětrávací ventil a dojde k odpouštění paliva do atmosféry, tím se sníží tlak i teplota v nádrži. Výrobci je proto vybavují barometry a tabulkou podle které uživatel snadno zjistí, kolik času mu zbývá do odvětrání paliva. Na obrázku 14 je znázorněna hodnota, která udává, že při polovičním obsahu v nádrži a tlaku 10bar zbývají 3 dny do odfouknutí.



Obrázek 14. Graf určující dobu do odfouknutí zemního plynu do atmosféry [21]

3.3 Tvorba palivové směsi pro zážehové motory

Správné složení palivové směsi je zásadní pro co nejdokonalejší spalování. Z toho důvodu je velmi důležité nastavit a načasovat dávku paliva tak, aby se promísila se vzduchem v požadovaném stechiometrickém poměru.

3.3.1 Směšování

Mechanické směšovače jsou ventily, které míchají vzduch s plynem v nastaveném poměru a tvoří plynou směs paliva. Jsou to nejstarší systémy pro tvorbu plynové směsi určené především pro motory bez elektronické regulace bohatosti směsi. Pracují na

principu mechanické regulace pomocí membrány na základě podtlaku v sacím potrubí, podobně jako karburátory.

Elektronické směšovače jsou navíc vybaveny ventilem s krokovým motorkem, který zajišťuje kontinuální dodávání paliva do systému. Motorek je řízen řídicí jednotkou, která dávku vyhodnocuje podle dalších faktorů, jako je zejména poloha klapky, teplota v chladícím okruhu, podtlak v sání, či hodnota lambda sondy. Tento systém je vhodný pro starší motory s jednobodovým vstřikováním paliva (SFI).

3.3.2 Vefukováním

Dnes nejrozšířenější systém pro tvorbu palivové směsi. Ta se tvoří za pomoci vefukovacích ventilů, které jsou umístěny před sacími ventily. Řídicí jednotka vyhodnocuje dávku plynu dle diferenciálního tlaku, teploty plynu, teploty redukčního ventilu, podtlaku v sání a mnoha dalších veličin. Naměřené hodnoty zpracovává u starších systémů podle předem přednastavené mapy režimů motoru vygenerovanou při mapovací kalibrační jízdě.

U novějších systémů jsou řídicí jednotky o něco chytřejší a mohou si korekce upravovat samy. Díky propracovanému programu si řídicí jednotka načítá vstřikovací časy, teploty, tlaky a následně se sama kalibruje. I během jízdy se neustále upravuje podle všech možných režimů, dokáže poznat i kvalitu natankovaného plynu. S kombinací přesných vstřikovačů se snižuje spotřeba plynu až o 15 % a výkon zůstává ve srovnání s původním palivem téměř shodný. [13]

3.4 Provozní parametry dvoupalivových vznětových motorů

Mezi provozní parametry spadá mnoho různých hodnot jako je zejména výkon, spotřeba paliv, emise výfukových plynů, otáčky motoru, teploty a tlaky plynů a kapalin, vibrace, hluk, či elektrické veličiny. Parametry se měří za provozu na motoru v různých zátěžových režimech.

Přehledový článek [2] uvádí výsledky z 28 publikací zabývajících se výzkumem dvoupalivových vznětových motorů. Tyto výsledky lze shrnout následovně.

Oproti provozu na čistou naftu vykazuje motor při provozu na zemní plyn + naftu ve všech režimech delší průtah vznícení, nižší maximální spalovací tlaky a nižší teploty spalování než původní naftový motor. Nižší jsou emise oxidů dusíku a pevných částic. Při nízkém a částečném zatížení má dvoupalivový motor vlivem chudé směsi nižší účinnost a výkon, vyšší emise oxidu uhelnatého a uhlovodíků a vyšší měrnou spotřebu paliva. Naopak při vyšším zatížení disponuje dvoupalivový motor oproti naftovému vyšší účinností

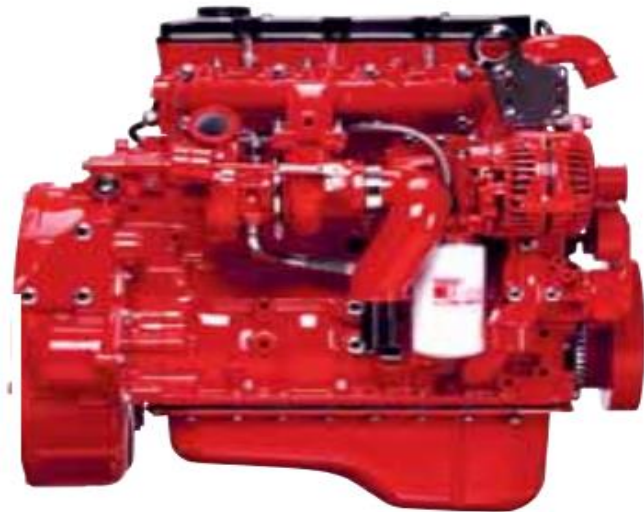
a sníženou spotřebou paliva. Emise oxidů dusíku jsou znatelně vyšší, ale nepřesahují hodnoty zjištěné při spalování nafty. V porovnání se zážehovým plynovým motorem na zemní plyn má vlivem vyššího kompresního poměru dvoupalivový motor vyšší účinnost a nižší kouřivost, emise uhlovodíků i oxidu uhelnatého. Při vefukování zemního plynu do sání dochází u nepřepřňovaného motoru vlivem expanze ke snížení teploty v sacím potrubí a může docházet i k tvorbě námrazy z vlhkosti v nasávaném vzduchu. [2]

4 Návrh konverze vozidlového naftového motoru na dvoupalivový zemní plyn + nafta

Na dvoupalivový motor zemní plyn + nafta má být upraven naftový motor CUMMINS ISBe4. Jedná se o řadový, čtyřdobý čtyřválcový turbodmychadlem přeplňovaný kapalinou chlazený motor s recirkulací výfukových plynů a katalytickým reaktorem.

Objem válců 4,5 dm³, kompresní poměr 17,3:1. jmenovité otáčky 2500 min⁻¹, jmenovitý výkon 152 kW, max. točivý moment 760 Nm.

Vstříkovací systém Common Rail je řízen elektronickou jednotkou ECM 850. Třífázové vstříkování nafty do válců motoru v závislosti na provozním režimu motoru rozděluje celkovou dávku paliva na vstřík velmi malé dávky v poloze cca 30 °KH před HÚ, cca 10 °KH před HÚ je vstříkována hlavní dávka a malá dostříková dávka je vstříkována cca 30-50 °KH za HÚ. [10]



Obrázek 15. Motor CUMMINS ISBe4 [10]

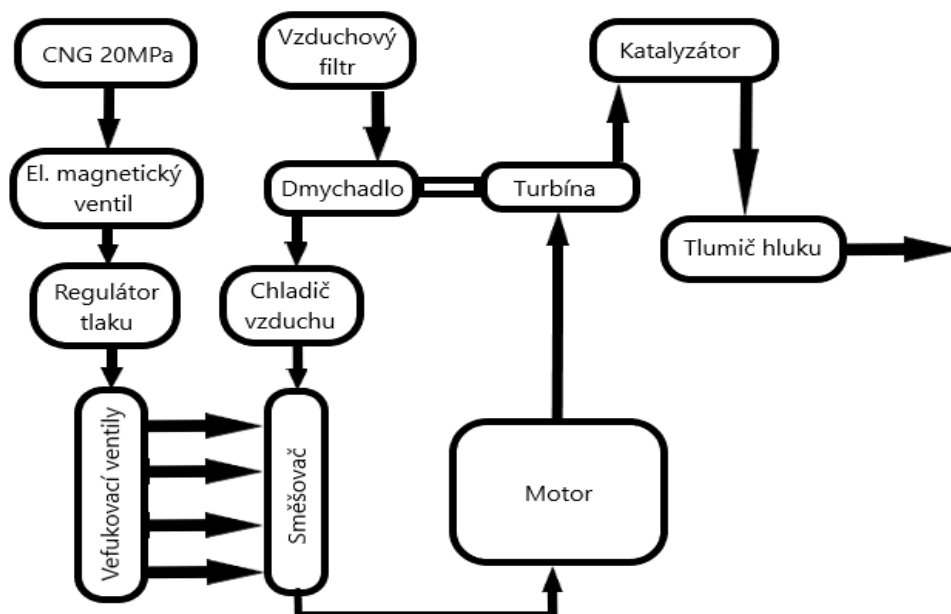
V rámci přestavby původního naftového motoru na dvoupalivový zemní plyn + nafta bude motor vybaven plynovým palivovým příslušenstvím s tvorbou palivové směsi zemního plynu se vzduchem v sání před vstupem do motoru. Zemní plyn se vefukovacími elektromagnetickými ventily přivede do směšovače v sacím potrubí.

4.1 Funkční vzorek dvoupalivového motoru zemní plyn + nafta

Původní naftový motor bude doplněn plynovým palivovým příslušenstvím (regulátor tlaku plynu, vefukovací ventily zemního plynu, směšovač zemní plyn – vzduch, řídicí jednotkou pro dvoupalivový provoz a snímači některých provozních parametrů motoru). Motor bude instalován na zkušební stanoviště s dynamometrem v laboratoři motorů na Technické univerzitě v Liberci, kde bude využit pro výzkumné a vývojové práce.

4.1.1 Plynové palivové příslušenství

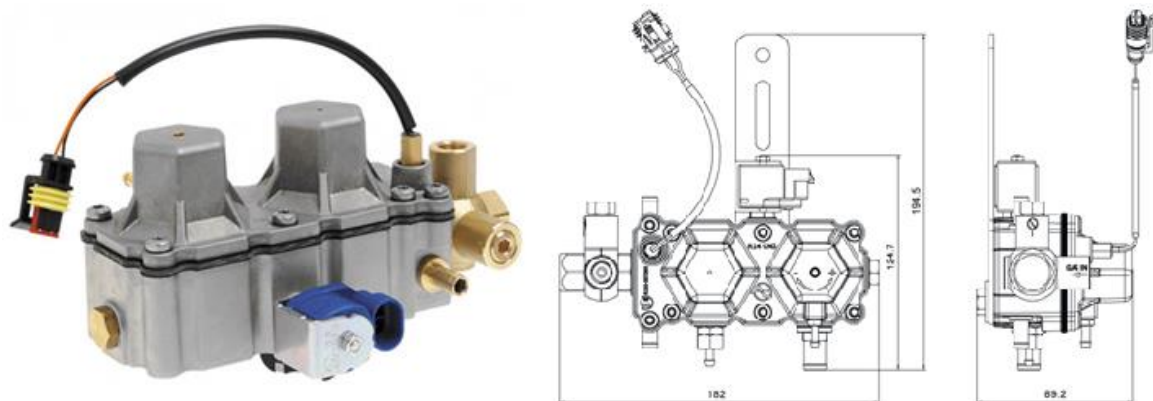
Zemní plyn z tlakových nádrží bude veden přes elektromagnetický ventil do regulátoru tlaku vyhřívaného chladicí kapalinou a dále čtyřmi vefukovacími ventily do směšovače, kde se smísí se vzduchem. Směšovač se čtyřmi vefukovacími tryskami (výkres SME_4002, viz příloha č. 1 a výkres SME_4001, viz příloha č. 2) bude instalován v sacím potrubí na výstupu z chladiče plicního vzduchu. Schematické uspořádání plynového palivového příslušenství zachycuje Obrázek 16.



Obrázek 16. Schematické uspořádání plynového palivového příslušenství.

Regulátor tlaku plynu

Bude použit regulátor tlaku plynu STAG R14 (výrobce AC S.A. Polsko), viz Obrázek 17.



Obrázek 17. Regulátor tlaku plynu STAG R14.[7]

Reduktor je určen pro motory vybavené sekvenčním vefukování zemního plynu. Na vstupu je umístěn pákový ventil, který výrazně snižuje tlak zemního plynu a zaručuje vysokou úroveň bezpečnosti. Zemní plyn dále postupuje do tělesa regulátoru, kde jsou sériově umístěny dvě komory obsahující membrány s talířovými pružinami. V první komoře je pákový ventil a ve druhé jehlový, oba ventily slouží k zajištění konstantního tlaku plynu na výstupu. Mezi komorami je umístěn elektromagnetický ventil, který zabezpečuje nízký pokles tlaku a při vysokém zatížení, nebo poruše umožňuje rychlé zastavení přívodu plynu. K těsnosti obou částí výrazně přispívá využití pružinek usazených pod šrouby, díky kterým se tlak sevření rovnoměrně rozláhá po ploše těsnění.

Při poklesu tlaku se spotřebovává značné množství tepelné energie z okolí. Aby nedošlo k námrazám, je reduktor ohříván vodou z chladicího systému motoru.

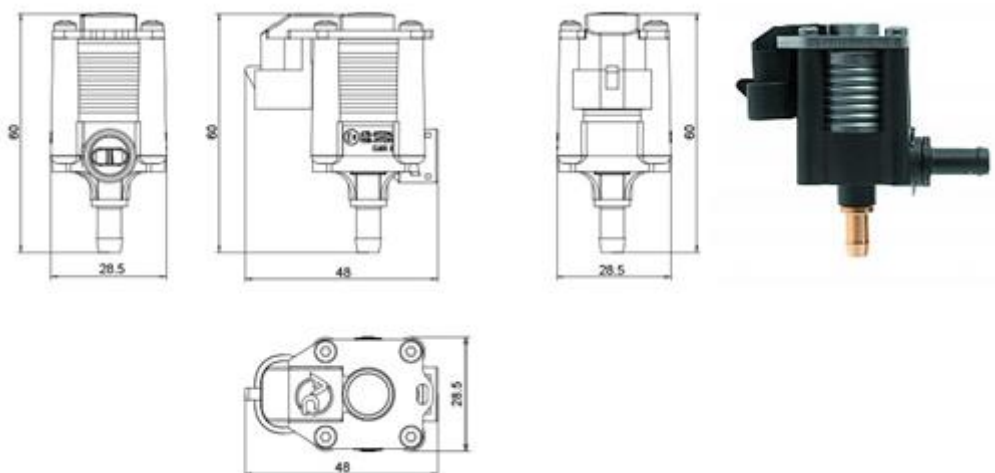
Technické specifikace popisovaného reduktoru jsou znázorněny v tabulce 2. [7]

Tabulka 2. Technické parametry regulátoru tlaku.[7]

Technické parametry regulátoru tlaku		
Parametr	Jednotka	Hodnota
Materiál	-	dvě hliníkové části
Hmotnost regulátoru	Kg	1,33
Hmotnost s příslušenstvím	Kg	1,65
Rozměry	mm	182 x 125 x 82
Maximální vstupní tlak	Mpa	26
Výstupní tlak	Mpa	v rozmezí 0,16 až 0,24
Solenoidový ventil	-	Zásuvka AMP Superseal
Napájení elektroventilu	V	12 DC
Příkon cívky	W	11
Typ konektoru cívky	-	AMP Superseal
Vstupní průměr plynového potrubí	mm	6 (M12x1)
Výstupní průměr plynového potrubí	mm	12
Výstupní průměr pro chl. kapalinu	mm	8
Max. výkon motoru	HP	250
Připojení tlakoměru	-	G1/4"
Homologace	-	E8 110R-01 7063

Vefukovací ventily

Bude instalován blok čtyř vefukovacích ventilů STAG AC W03, viz obr.18 typ STAG AC W02, viz Obrázek 19.



Obrázek 18. Vefukovací ventil STAG AC W03 [7]

Vefukovač STAG AC W03 je navržen tak, aby zaručoval přesné vefukovací časy za různých podmínek. Je určen pro všechny motory, včetně přepřňovaných. Může být využit v libovolné konfiguraci a sestavení, a je kompatibilní s ostatními výrobky AC S.A..

Jeho součástí je cívka, která otvírá průchod plynu přetlačením pružiny. Okolo cívky je implementován kryt, který díky svému konstrukčnímu řešení odvádí více tepla a zaručuje plynulý chod.

V tabulce 3 jsou uvedeny technické specifikace zmiňovaného vefukovacího ventilu. [7]

Tabulka 3. Technické parametry vefukovacího ventilu [7]

Technické parametry vefukovacího ventilu		
Parametr	Jednotka	Hodnota
Průtok plynu při tlaku 1,2bar	l/min	125
Maximální výkon při tlaku 1,2bar	kW	33
Pracovní teplota	°C	-20 až +120
Maximální pracovní tlak	kPa	400
Čas otevření/zavření	ms	2,0/1,0
Odpor cívky	Ω	1,9
Doporučená velikost trysky	mm	Ø1,5; Ø1,8; Ø2; Ø2,4
Vstupní průměr plynu	mm	Ø6
Celkové rozměry	mm	48 x 60 x 28,5
Životnost při městském provozu	km	100tis
Životnost při mimoměstském provozu	km	200tis
Hmotnost	g	88



Obrázek 19. Blok čtyř vefukovacích ventilů, typ STAG AC W02 BFC [7]

Řídicí jednotka

Vedle původní řídicí jednotky naftového motoru bude instalována ještě řídicí jednotka dávkování zemního plynu, typ STAG Diesel, viz Obrázek 20.



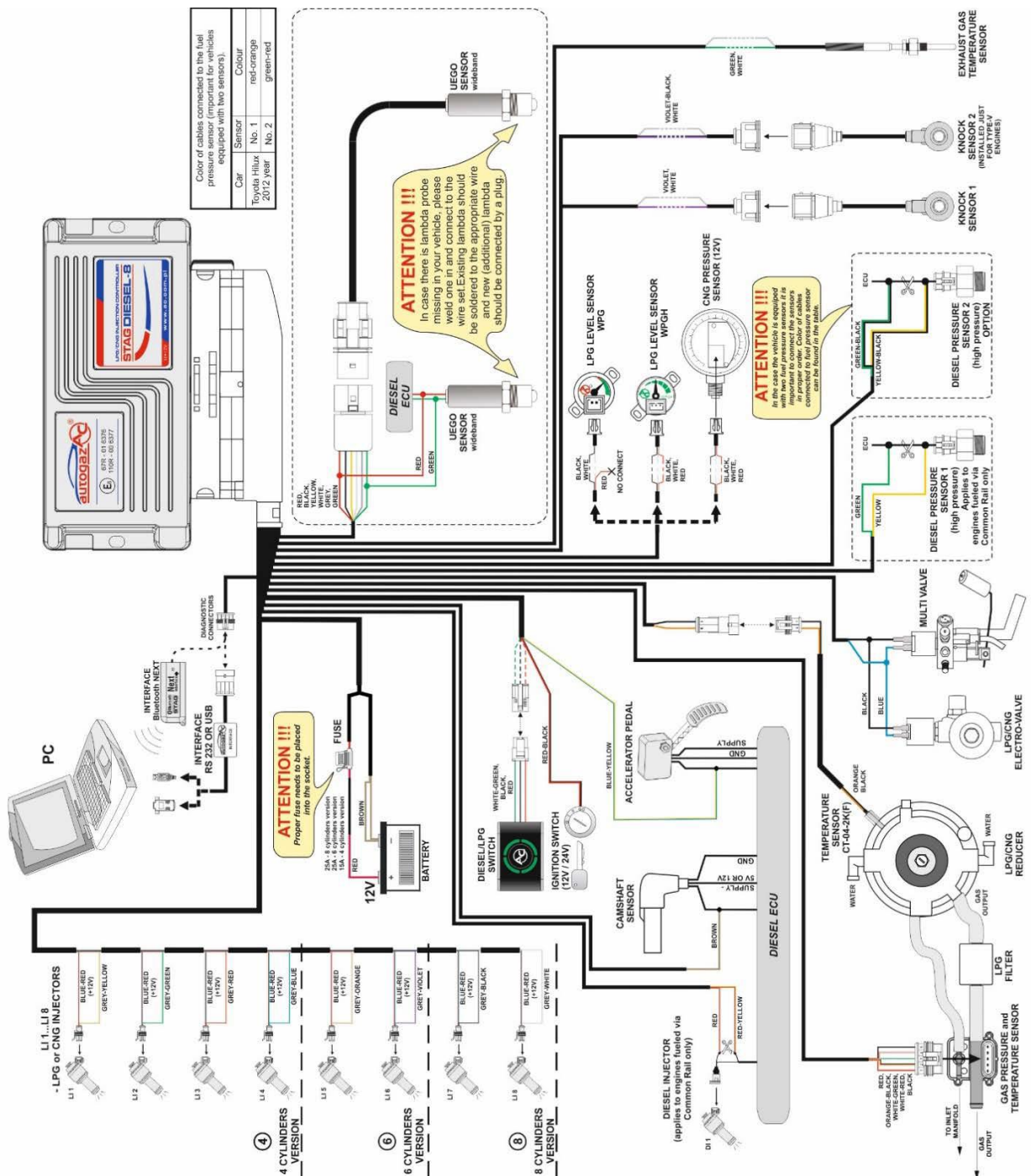
Obrázek 20. Řídicí jednotka typ STAG Diesel [7]

Do řídicí jednotky budou vedeny signály z následujících snímačů:

- snímač tlaku a teploty umístěný mezi regulátorem tlaku zemního plynu a vefukovacími ventily,
- snímač klepání motoru připevněný k bloku motoru šroubem se závitem M8,
- teploty výfukových plynů umístěný mezi sběrné výfukové potrubí a turbínu turbodmychadla,
- snímač obsah kyslíku ve výfukových plynech – širokopásmová lambda sonda instalovaná mezi sběrné výfukové potrubí a turbínu turbodmychadla,
- Snímač tlaku nafty v tlakovém zásobníku před vstřikovači nafty.

Schéma zapojení elektrické instalace

Elektrická instalace bude zapojena podle schématu, viz. Obrázek 21. Při provozu bude docházet k vibracím, a proto musí být jednotlivé kabelové svazky dobře upevněny a chráněny proti oděru.



Obrázek 21. Schéma zapojení el. Instalace [7]

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo obeznámení se s problematikou zemního plynu, jeho využitím k pohonu zejména vznětových motorů, tvorbou palivové směsi a návrh možného řešení konverze naftového motoru na dvoupalivový spalující zemní plyn + naftu.

Teoretická část práce se zabývá fyzikálně-chemickými vlastnostmi, těžbou a přepravou zemního plynu ve srovnání s motorovou naftou. Zemní plyn je oproti naftě výrazně šetrnější k životnímu prostředí, je levnější a obsahuje více energie na jeden kilogram. Z tohoto důvodu se jeví jako vhodný pro provoz motoru. Bohužel se ale oproti naftě hůře skladuje.

Mezi další dílčí cíle práce patří zhodnocení náročnosti jednotlivých úprav motoru pro dvoupalivový a tvorby výbušné směsi. Zemní plyn má vyšší bod vznícení než nafta, a musí se proto zapalovat přímo. Konverzi na zemní plyn lze uskutečnit čtyřmi různými způsoby, příslušenství je u všech způsobů velmi podobné. Zásadní změny jsou v jednotlivých modifikacích motoru a tvorbě směsi. Nejefektivnější je přímé vefukování zemního plynu do válce společně s minimálním množstvím nafty pouze pro účel zapálení. Motor je schopen provozu při dodávání 90-95 % zemního plynu a 5-10 % nafty. To se výrazně projevuje na snížení emisí uhlovodíků a oxidu uhelnatého.

V praktické části byl na základě teoretických poznatků a kritického hodnocení náročností konkrétních úprav zhotoven návrh přestavby motoru CUMMINS ISBe4 na funkční vzorek pro dvoupalivový provoz, včetně příslušenství dodávaného polskou společností AC S.A.. Směšovač byl navržen podle daného motoru. Vzorek bude sloužit v laboratořích katedry vozidel a motorů Technické univerzity v Liberci pro vývoj a výzkum použití zemního plynu jako alternativního paliva.

Zemní plyn má v dopravě zářnou budoucnost. Nejen, že je čistší, ale také je podporován EU, například úlevou na dálničních mýtech a nižší spotřební daní. Při použití zemního plynu v kapalné fázi (LNG) se do nádrže vejde 600x více paliva než u plynné fáze (CNG), což se projeví hlavně na dojezdu vozidla. V ČR je zatím distribuce LNG veřejně nedostupná, to by se ale do budoucna mohlo vyřešit. Zahraniční státy už používají LNG pro nákladní dopravu.

Seznam použitých zdrojů

5.1 Seznam literárních zdrojů

- [1] BEROUN, Stanislav. *Konverze vozidlového vznětového motoru na vozidlový plynový dualní motor nafta + LPG*. Liberec, 2018. Technická univerzita v Liberci.
- [2] HAO, Chen, He JINGJING a Zhong XIANGLIN. Engine combustion and emission fuelled with natural gas: *A review* [online]. *Journal of the Energy Institute*, Volume 92, Issue 4, August 2019, Pages 1123-1136. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.06.005>
- [3] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [4] LAURIN, J., BURSA, J.: Plynové motory LIAZ. Příloha "Stavba automobilů", AUTOMOBIL č. 9, 1990, SNTL Praha.
- [5] LAURIN, J.: Zemní plyn jako automobilové palivo. *XLVIII. Mezinárodní vědecká konference českých a slovenských univerzit a institucí zabývajících se výzkumem motorových vozidel a spalovacích motorů*. Technická univerzita v Liberci, 2017. S. 207-212. ISBN 978-80-7494-354-6.
- [6] ŠEBOR, G., POSPÍŠIL, M., ŽÁKOVEC, J.: *Technicko - ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě*. Studie. Ústav technologie ropy. Vysoká škola chemicko - technologická. Praha 2006.

5.2 Seznam internetových zdrojů

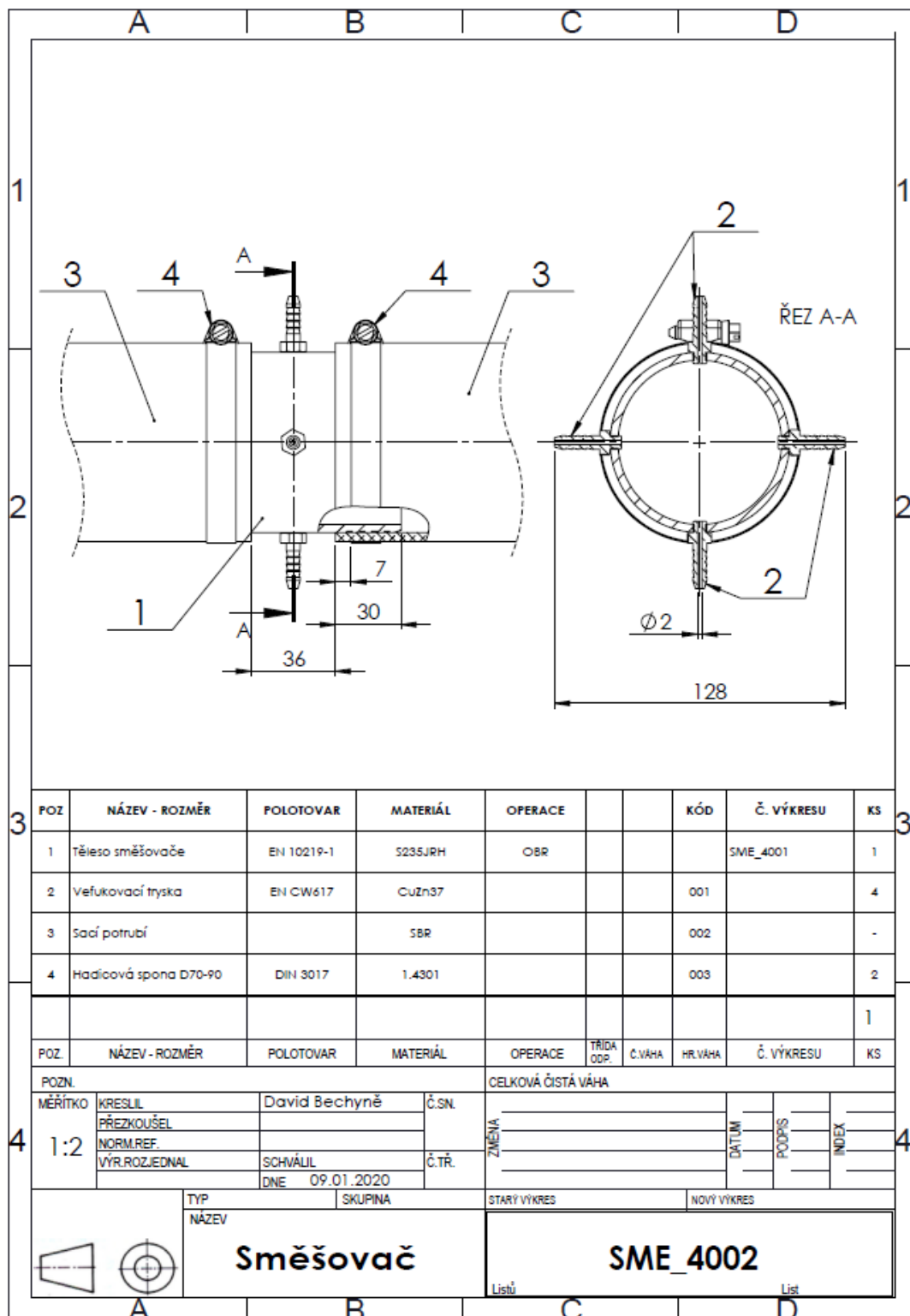
- [7] AC S.A. [online]. Dostupné z: <https://www.ac.com.pl/en-services-zone-technical-materials>
- [8] Bosch Dual-Fuel - future of diesel engines? *Gazeo.com* [online]. Poland [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <https://gazeo.com/automotive/technology/Bosch-Dual-Fuel-future-of-diesel-engines,article,7831.html>
- [9] *CNG United* [online]. USA: Will2Design, 2014 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.cngunited.com>

- [10] *Cummins: Engines ISBe* [online]. U.S.A.: Columbus, 2020 [cit. 2020-01-03].
Dostupné z: <https://www.cummins.com/engines>
- [11] *Encycloedia Britannica: Étienne Lenoir* [online]. GB, 2012 [cit. 2019-12-27].
Dostupné z: <https://www.britannica.com/biography/Etienne-Lenoir>
- [12] Kurzycz: Energie- vývoj cen energií na komoditních trzích. *Kurzycz* [online]. ČR: AliaWeb, 2019, 1.12.2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/energie/>
- [13] *Lucky gas: Principy fungování LPG/CNG systémů* [online]. Borovnice: GlobeWeb Czech, 2019 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://www.luckygas.cz/page/principy-fungovani-lpg-systemu/30>
- [14] Motorová nafta. *Pohonné hmoty G7 a.s.* [online]. Litvínov, 2019 [cit. 2019-11-11].
Dostupné z: <http://www.g7.cz/motorova-nafta-tridy-b-d-f-mn-tr-b-d-f>
- [15] MUSIL, Ing. Ladislav. TZB-info: Co možná nevíte o zemním plynu. TZB-info [online]. Topinfo, 0019n. 1., 30.3.2004 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1908-co-mozna-nevite-o-zemnim-plynu>
- [16] Natural gas transport. *Opus Kinetic Pte Ltd* [online]. 2018 [cit. 2019-12-27].
Dostupné z: <https://www.opuskinetic.com/2018/02/commentary-singapores-rising-natural-gas-ambitions-face-big-challenges/>
- [17] *Omnitek Diesel to Natural gas conversion* [online]. [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <https://www.omnitekcorp.com/altfuel.htm>
- [18] *Opel CNG program* [CD]. Brno: BS auto Brno, 2005 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <http://www.bsauto.cz>
- [19] Pátrání po zemním plynu pomocí špičkových technologií. *Wingas* [online]. Německo: WINGAS, 2015 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.wingas.cz/o-zemnim-plynu/jak-se-tezi-zemni-plyn.html>

- [20] SPFI - Direct natural gas injecton. *Gazeo.com* [online]. PL: Gazeo, 2019, 09.04.2014 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://gazeo.com/automotive/technology/SPFI-direct-natural-gas-injection,article,7626.html>
- [21] *Volvo Trucks: Volvo FH LNG* [online]. ČR: Volvo, 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.volvotrucks.cz/cs-cz/trucks/volvo-fh/volvo-fh-lng.html>
- [22] WESTPORT™ HPDI 2.0 A NEW GENERATION NATURAL GAS FUEL SYSTEM OPTIMAL FOR HEAVY-DUTY VEHICLES. *Westport* [online]. USA, 2019 [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <https://www.westport.com/is/core-technologies/hpdi-2>

6 Přílohy

6.1 Příloha č. 1 – Sestava směšovače SME_4002



6.2 Příloha č. 2 – Výrobní výkres směšovače SME_4001

