

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2015

Bc. JAKUB VRASTYÁK

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta



**Technicko-ekonomické parametry vozidla s pohonem
na zemní plyn**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Jiří Čupera, Ph.D. Vypracoval: Bc. Jakub Vrstýák

Brno 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci:.....

.....
.....vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Dovoluji si tímto poděkovat panu doc. Ing. Jiřímu Čuperovi, Ph.D. za jeho odborné vedení při vypracování diplomové práce, za poskytnutí cenných rad a odborných informací k mojí práci.

ABSTRACT

Tato diplomová práce byla zpracována na téma Technicko – ekonomické parametry vozidla s pohonem na zemní plyn. V teoretické části se práce zabývá jednotlivými, v současné době používanými, druhy alternativních paliv, a to po stránce technické, ekonomické a ekologické. Praktická část je věnována měření výkonnostních a emisních parametrů motoru.

KLÍČOVÁ SLOVA

Alternativní paliva, výkon spalovacího motoru, točivý moment, válcový dynamometr, řízení výkonu motoru, emise zážehových motorů, stlačený zemní plyn.

ABSTRACT

This thesis has been prepared on the topic Technical - economic parameters of vehicles using natural gas. The theoretical part of the thesis deals with the various types of alternative fuels in the technical, economic and environmental factors. The practical part is devoted to the measurement of performance and emission parameters of the engine.

KEY WORDS

Alternative fuels, engine power, torque, chassis dynamometer, engine power control, petrol engine emissions, compressed natural gas.

OBSAH

OBSAH	6
1 ÚVOD	8
2 CÍL PRÁCE.....	10
3 PÍSTOVÉ SPALOVACÍ MOTORY	11
4 PALIVA PRO PÍSTOVÉ SPALOVACÍ.....	11
4.1 Konvenční paliva pro pístové spalovací motory	13
4.2 Alternativní paliva pro pístové spalovací motory	15
4.2.1 Bionafta	16
4.2.2 Alkoholy.....	18
4.2.3 Vodík.....	22
4.2.4 Ropný plyn LPG.....	25
4.3 Zemní plyn	30
4.3.1 Stlačený zemní plyn CNG.....	31
4.3.2 LNG.....	38
5 METODIKA MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	39
5.1 Parametry měřeného vozidla.....	39
5.2 Technické provedení vozidlové zkušebny Mendelu	41
5.3 Technické provedení Emisní systémové analýzy.....	45
5.4 Metodika měření	47
5.4.1 Příprava před měřením	47
5.4.2 Průběh měření	49

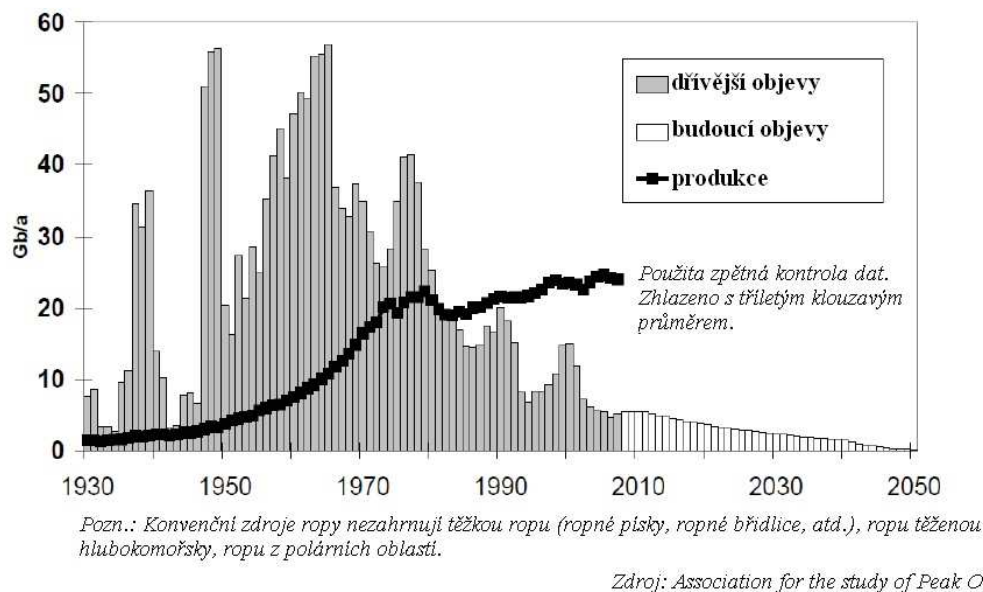
5.4.3 Atmosférické podmínky během měření	51
5.5 Vyhodnocení měření a diskuze	51
5.5.1 Tabulkové a grafické zpracování	51
6 ZÁVĚR.....	63

1 ÚVOD

Alternativní paliva jsou stále častěji skloňovaným tématem s ohledem na stále se snižující zásoby světových nalezišť ropy a ekologickou zátěž spojenou s konvenčními palivy, jež dnes představují motorová nafta a benzín. Z tohoto důvodu je nevyhnutné zabývat se otázkou náhrady konvenčních paliv jejich ekvivalentními náhradami, které by je byly schopny v budoucnosti částečně a později plně nahradit ve všech spektrech automobilové dopravy a splňovaly nejen technické a ekologické požadavky, ale především také požadavky ekonomické, které v dnešní době dle mého názoru představují hlavní úskalí celé problematiky náhrady konvenčních paliv.

Definice pojmu „alternativní paliva“ je často mylně zaměňována s obecným pojmem biopaliva, avšak spektrum alternativních paliv zahrnuje paliva nejen s podílem biodegradabilní složky, ale i modifikovaná paliva z fosilních zdrojů. Proto tento termín, ačkoliv není zcela exaktní, se bude v následujících kapitolách vyskytovat bez respektování k původu zdrojů. Důvodem je harmonizace terminologie s Výborem pro dopravu Evropského parlamentu [31].

Jak již bylo řečeno, mimo stále se snižující zásoby ropy, viz průběh v grafu na obr. 1, hrají ve prospěch alternativních paliv také ekologické důvody. Především v městských aglomeracích tvořených hustou silniční sítí a neustále se zvyšujícím trendem nově registrovaných motorových vozidel hovoříme o palčivém problému spočívajícím v neustálém nárůstu emisních látek znečišťujících životní prostředí.



Obrázek 1 - *Produkce a nově objevená naleziště ropy v letech 1930 až 2050(predikce)*
[32]

Svoji roli s nástupem alternativních paliv hrají také ekonomické a politické důsledky. V současné době se jedná v případě spotřebitele o poměrně výrazný rozdíl nákupní ceny ve prospěch alternativních paliv oproti konvenčním, nicméně naproti tomu vyšší pořizovací náklady spojené s nákupem vozidel využívajících alternativních paliv v důsledku nutného vývoje a investic světových výrobců do těchto technologií v tomto odvětví. Jak tomu bude v budoucnosti, kdy dojde k rozšíření vozidel využívajících alternativní paliva je otázkou, nicméně dle mého názoru se dá předpokládat, že po rozšíření vozidel využívajících alternativních paliv dojde ke zvýšení cen těchto paliv a naproti tomu pořizovací náklady nových vozidel využívajících alternativní paliva klesnou. Problém v současné době spatřuji také v nekonzistentnosti světových výrobců na vývoji těchto pohonů ve shodě, která z daných alternativních paliv by měla být v budoucnosti upřednostněna a stanou se tak skutečně konkurenty klasických konvenčních paliv dnešní doby.

S jistotou však je možné již dnes říci, že krok směrem k vývoji alternativních paliv a systémů využívajících tato paliva je pro další rozvoj dopravy a světové ekonomiky naprosto nevyhnutný. Proto i v dalších letech by mělo být cíleno na vývoj a rozšiřování těchto systémů v praxi a v globálním měřítku zajistit také postupné rozšiřování infrastruktury spojené s rozšířením těchto paliv v globálním měřítku.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této práce je v úvodu uvést základní problematiku zážehových a vznětových motorů a možnosti využití jednotlivých typů paliv, následně představit v současnosti využívaná paliva pro spalovací motory, a to jak konvenční, tak paliva řadící se mezi alternativní, dále je představit po stránce složení a jejich technologie výroby až po nutné úpravy a technologické přizpůsobení spalovacích motorů a jejich součástí pro jejich využití.

Bližze představit možnosti využití zemního plynu v automobilové dopravě, problematiku a aspekty při zavádění tohoto paliva na území ČR po stránce legislativy a dopravní infrastruktury.

Vyhodnotit výsledky z měření užitkového vozidla Iveco Daily 3.0 HPT využívající ho pro svůj pohon paliva ve formě CNG provedeného na vozidlovém dynamometru 4VDM E120-D Mendelovy univerzity v Brně. Výsledky měření zhodnotit a diskutovat s výsledky jiných autorů.

3 PÍSTOVÉ SPALOVACÍ MOTORY

Základy technologie pístových spalovacích motorů byly položeny již před více jak 100 lety a za tuto dobu byly podrobeny četným inovacím a změnám vedoucích k faktu, že v dnešní době představují nerozšířenější tepelný stroj na světě. Princip činnosti pístových spalovacích motorů však zůstal i napříč neustálému vývoji a zlepšování zachován. Pístové spalovací motory pracují na principu vnitřního spalování paliva, přičemž dochází k přeměně chemické energie obsažené v palivu na energii mechanickou, která pohání funkční skupiny automobilu.

Jak již bylo řečeno pístové spalovací motory i dnes podrobujeme modernizaci a to především z důvodu neustále se zpřísnujících požadavků na plnění emisních limitů a s ohledem na snižující se zásoby světových nalezišť ropy také na samotnou spotřebu paliv. Z těchto důvodů se světoví výrobci automobilů soustředěných jak v segmentu osobních automobilů tak užitkových a nákladních zabývají mimo z výšení efektivity a zlepšení emisních limitů při využití konvenčních paliv také využitím alternativních typů paliv, jež by v budoucnosti dokázala současná konvenční paliva postupně nahradit.

4 PALIVA PRO PÍSTOVÉ SPALOVACÍ

Paliva pístových spalovacích motorů slouží především k přivedení energie do pracovního oběhu motoru. Všechna paliva jsou charakteristická dílčími vlastnostmi a tyto vlastnosti ovlivňují jednotlivé faktory, mezi něž řadíme tvoření směsi, pracovní oběh, hospodárnost motoru, spolehlivost chodu a v neposlední řadě jeho ekologické parametry [6].

Motorová paliva jsou tvořena směsí různorodých uhlovodíků, přičemž stavba a velikost molekul stejně jako poměr počtu atomů uhlíku a vodíku v molekulách a množství určitých druhů uhlovodíků obsažených v palivu silně ovlivňují spalovací procesy v pístových spalovacích motorech. Mezi hlavní požadavky kladené na paliva využívaná u pístových spalovacích motorů řadíme především [6]:

- velká výhřevnost paliva představující množství získaného tepla z jednotkové hmotnosti paliva;
- malý obsah nespalitelných částí, které mohou způsobovat jak problémy při spalování paliva, tak zhoršit ekologické parametry pístového spalovacího motoru;
- dobrá zápalnost paliva a vhodná teplota bodu zápalu, respektive samovznícení;
- schopnost vytvořit zápalnou směs i při nízkých teplotách;
- bez nadbytečných vzestupů tlaku zajistit hoření, v případě zážehových pístových spalovacích motorů zajistit pozvolné spalování bez detonačního způsobu hoření, co se týče vznětových motorů zajištění nízké tvrdosti chodu;
- v průběhu spalování pokud možno co nejnižší množství produkovaných zdraví škodlivých látek – legislativně limitovaných i těch, které prozatím nejsou restriktivně omezeny;
- neovlivňovat účinky koroze jednotlivé součásti palivové soustavy;
- necitlivost na okolní vlivy tvořené vzdušným kyslíkem, či slunečním zářením;
- nízká fyziologická agresivita, snadná skladovatelnost a bezpečná přeprava;
- čistota a to jak mechanická tak chemická;
- dostupnost velkého množství při zachování nízkých výrobních nákladů [6].

Podle skupenství paliva pro pístové spalovací motory rozlišujeme dle následujícího způsobu:

- Kapalná
 - V případě pístových spalovacích motorů je lze označit za nejpoužívanější. Je možné je rozdělit na uhlovodíkové, které představují ropné produkty, dále neuhlovodíkové představující alkoholy a ostatní paliva ve formě směsí [6].

- Plyná
 - Plyná paliva se využívají v podobě zemního plynu, bioplynu, vodíku, metanu, či propan – butanu. Jejich skladování se provádí ve stlačené podobě a to jak v kapalném, tak kapalném skupenství. Problémy s uchováním vznikají v případě vodíku, kdy dochází k jeho úniku v důsledku jeho malých molekul, jež mohou pronikat kovovou mřížkou nádoby. Plyná paliva jsou pro využití v pístových spalovacích motorech vhodná díky svým vlastnostem, například mají vysokou odolnost vůči detonačnímu hoření, neboť dosahují vysokého oktanového čísla. U metanu je to až OČ 130 [6].

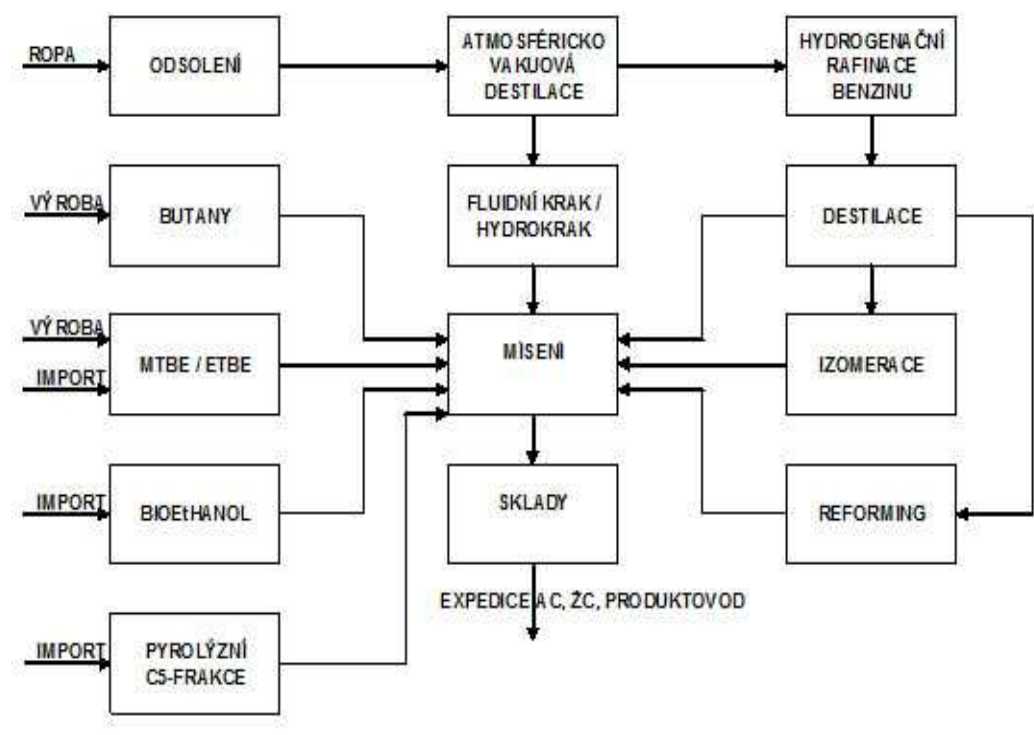
4.1 Konvenční paliva pro pístové spalovací motory

Benzín:

V současné době v případě zážehových spalovacích pístových motorů považuje za nejčastěji používané palivo automobilový benzín. Je na něj kladena celá řada požadavků. Musí být čirý, bez přítomnosti mechanických nečistot, vody, těžkých frakčních podílů a pryskyřic. Dále je kladen důraz na vhodné spalovací a antikorozi vlastnosti. Při jeho spalování by nemělo docházet ke vzniku usazenin ve formě karbonu ve spalovacích prostorech motoru či výfukovém systému. V důsledku zlepšení technologických vlastností motorového benzínu se využívá přísad ve formě antikorozi, depresantů, antidetonátory, či přísady nutné pro pachovou a barevnou identifikaci jednotlivých druhů benzínu. Automobilový benzín je tvořen směsí převážně ropných uhlovodíků vroucí v rozmezí přibližně 30 – 120 °C se 3 až 12 atomy uhlíku v molekule. Mezi hlavní sledované parametry u automobilového benzínu považujeme antidetonační charakteristiky, těkavostní parametry či parametry sledující čistotu [1].

Složení uhlovodíkového podílu benzínů se liší podle druhu benzínu, použité suroviny a výrobní technologie rafinérie. Benzinová frakce, jak ji získáme z atmosférické destilace, tvoří jen základ pro další zpracování. Schéma výroby automobilového benzínu je uvedeno na obr.2. Benziny se připravují mísením z řady komponent, aby se

získalo vhodné oktanové číslo a důležitý je také vliv složení benzínu na složení výfukových plynů, na vypařování těkavých složek a podobně. Pro měření náchylnosti benzínu ke klepání při spalování byla vytvořena umělá stupnice, kde krajní hodnoty byly definovány pomocí dvou uhlovodíků, kterým byly přiděleny hodnoty nula a sto (n-heptan a izooktan) a další body této stupnice se tvoří mísením objemových procent obou uhlovodíků [3], [33].

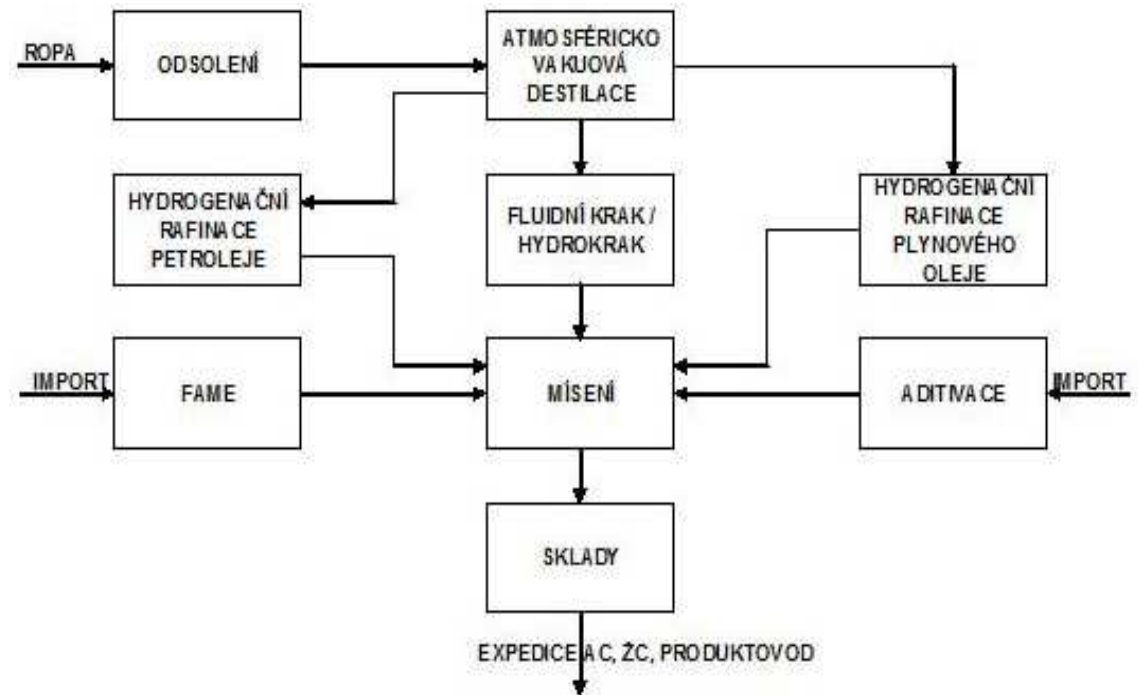


Obrázek 2 - Schéma výroby automobilového benzínu [33]

Nafta:

Pro naprostou většinu vznětových motorů je jakožto paliva využíváno nejčastěji motorové nafty vyráběné z ropy. Jedná se o poměrně komplikovanou směs alkanických, cyklických a aromatických uhlovodíků s 12 až 22 atomy uhlíku v molekule s bodem varu v rozmezí přibližně 180 – 370 °C. Motorová nafta mimo jiné obsahuje také přísady potřebné pro zlepšení jejích vlastností při nízkých okolních teplotách a mimo to také přísady pro zlepšení celkových užitkových vlastností tohoto paliva. Navíc se do motorové nafty přidávají stejně jako u automobilového benzínu označovací barviva. Motorová nafta není zvláštní frakcí při destilaci ropy, ale připravuje se mísením

plynového oleje a části petroleje, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností. Výrobní proces je naznačen na obr. 3. Vlastnosti jsou charakterizovány například cetanovým číslem, pomocí něhož je hodnocena náchylnost k tvrdému chodu při spalování [1], [3].



Obrázek 3 - Schéma výroby motorové nafty [34]

4.2 Alternativní paliva pro pístové spalovací motory

Za alternativní paliva neboli „*alternative transportation fuels, ATF*“ považujeme paliva, jež v současné době mohou nahradit stávající konvenční paliva na bázi ropy. Nástup alternativních paliv a jejich praktické využití postupně probíhalo v průběhu 90. let a to po předešlém několikaletém vývoji a spolupráci výrobců pohonných hmot a výrobců automobilů. Alternativní paliva byla využívána v automobilových motorech postupně a to zprvu od jednoduché substituce ropných paliv v podobě etanolu, či směsné motorové nafty, přes složitější využití plyných paliv v podobě CNG či LPG a s nimi spojenými náročnějšími konstrukčními úpravami palivových systémů až po technologie využívající systému palivových článků [17].

Hlavní příčiny tlaku přispívajících k zavádění alternativních paliv spatřujeme ve třech základních ohledech:

- Cena ropy, její přístupnost a spolehlivost dodávek
 - Ropu řadíme mezi vyčerpatelné zdroje energie, proto je nutno zabývat se možnostmi její náhrady. Zvyšující se náklady na výzkum ropných nalezišť a dobývání ropy způsobují přibližně 5% roční nárůst cen ropy na světových trzích [17].

- Požadavky na čistotu životního prostředí
 - Ekologické faktory v dnešní době patří k vlivům, jež mají vysokou váhu při posuzování změn v konstrukci motorů a jejich příslušenství. I když v posledních letech došlo k prudkému snížení emisí produkovaných pístovými spalovacími motory, problém globálního oteplování atmosféry a takzvaný skleníkový efekt naproti tomu stále zůstává [17].

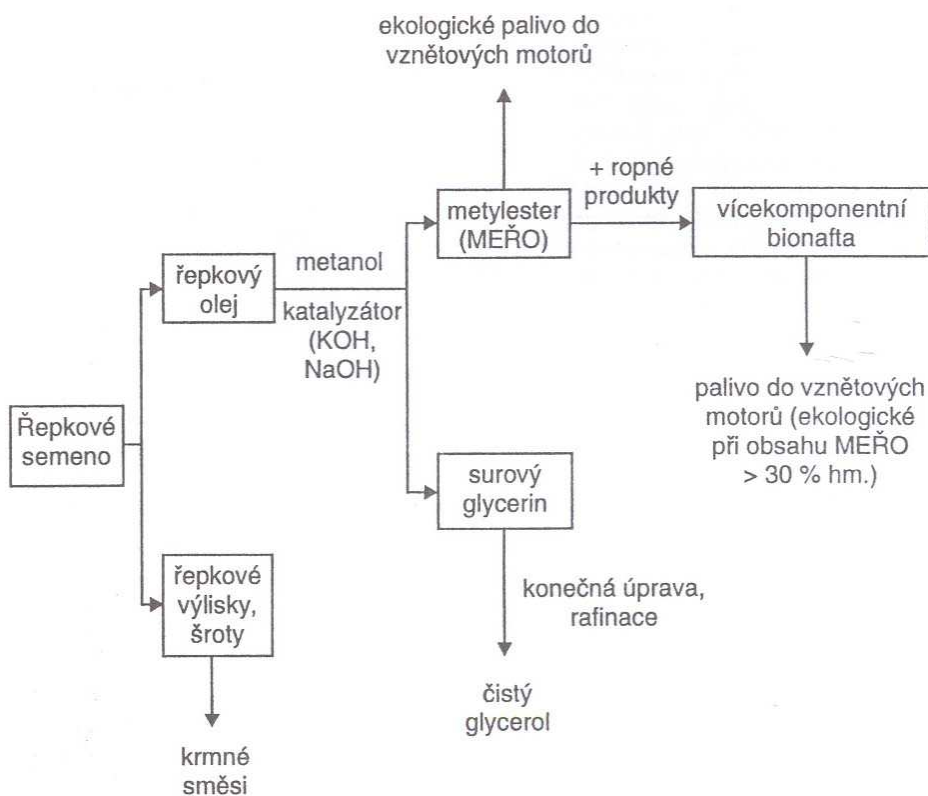
- Pokroky v technologii motorů a vozidel
 - I když se základní princip pístového spalovacího motoru, charakteristický energeticky nevýhodným přímočarým vratným pohybem pístu, prakticky nezměnil, je možné i přes to u moderních vozidlových motorů spatřit vývoj v několika směrech a to především [17]:
 - snižování emisí,
 - snižování měrné spotřeby paliva,
 - elektronizace a automatizace funkcí, snímání parametrů a jejich využití pro řízení motoru [17].

4.2.1 Bionafta

Bionafta, případně směsná motorová nafta, v současnosti představuje alternativu při využití klasické motorové nafty a účelné využití biomasy. Základní složkou bionafty jsou oleje rostlinného původu, přičemž přímé využití rostlinných olejů v pístových

spalovacích motorech není možné z důvodu vyšší viskozity či vyššího bodu vzplanutí. Z těchto důvodů se vylisované oleje dále upravují a to procesem esterifikace, kdy jsou za pomoci alkoholu velké molekuly oleje štěpeny na menší. Tato úprava vede k podstatnému snížení viskozity a výsledná směs tvořená tímto palivem má vlastnosti odpovídající klasické motorové naftě [9], [11].

V České republice a Evropské unii je Bionafta definovaná jako FAME nebo MEŘO. V případě FAME se jedná o metylestery mastných kyselin, přičemž vstupními surovinami jsou v tomto případě sójový, slunečnicový či palmový olej v kombinaci s použitými potravinářskými oleji a živočišnými tuky. V případě MEŘO, zjednodušený výrobní proces je uveden ve schématu na obr. 4, hovoříme o metylesterech mastných kyselin výhradně řepkového oleje, jenž je nejvhodnější surovinou pro jeho výrobu [9], [11].



Obrázek 4 - Schéma výroby bionafty [35]

MEŘO či bionafta 1. generace se v Evropské unii využívá na celoevropské úrovni pod označením B100 podle evropské a české normy EN ČSN 14214+A1. Lze však říci, že nejčastěji se s touto variantou setkáme Německu a Rakousku. V České republice se

setkáme s bionaftou 2. generace, neboli směsnou motorovou naftou, jejíž parametry jsou stanoveny dle normy ČSN 65 6508 (2009). Toto palivo je tvořeno nejméně 30 objemovými procenty MEŘO s majoritním podílem motorové nafty. S touto variantou Bionafty se setkáme nejen v České republice ale také například ve Francii [9], [11].

Ekonomické faktory:

Sazba spotřební daně je u SMN B30 snížena na 7,665 Kč/litr, tj. o 30 % oproti klasické motorové naftě se sazbou daně 10,95 Kč/litr. Současně je sazba spotřební daně zvýhodněna při použití SMN B30 v zemědělské prvovýrobě u tzv. zelené nafty: Vratka spotřební daně je 85 % ze sazby SMN B30 v porovnání s vratkou ve výši jen 60 % ze sazby motorové nafty [9].

Ekologické faktory

Z ekologického hlediska lze říci, že bionafta má příznivé ekologické důsledky v souvislosti se snížením emisí nespálených uhlovodíků, částic a na nich navázaných polycyklických aromatických uhlovodíků. V další řadě nedochází k tak výraznému uvolňování emisí škodlivin do ovzduší, jež představují látky poškozující lidské zdraví a způsobující ovlivnění klimatických podmínek.

4.2.2 Alkoholy

Alkoholy vedle dalších alternativních paliv představují jednu z možných náhrad konvenčních motorových paliv a počátky jejich využívání jsou známé již z dob mezi první a druhou světovou válkou, kdy se využívala lihobenzínová směs v 11 evropských oblastech a 12 mimoevropských oblastech. Povinně se využíval přírůstek ethanolu také na Kubě a v Brazílii, kdy k jeho výrobě docházelo z nadbytečného množství třtinového cukru [3]. Snaha využít alkoholová paliva, není tedy novinkou.

V současnosti je jejich využití sledováno především z důvodu možného zlepšení vlastností pohonných hmot a v neposlední řadě také snižování možných dopadů na životní prostředí redukcí škodlivých látek ve výfukových plynech jelikož mají jednodušší strukturu, než automobilový benzín či motorová nafta, lépe hoří a celý proces vede k menší tvorbě nespálených uhlovodíků či PM.

Výhodou alkoholů je také jejich výparné teplo v porovnání s automobilovým benzinem. Výparné teplo umožňuje snížení teploty v pracovním prostoru válce, díky čemuž dochází ke zlepšení chodu motoru. Dochází k příznivějšímu naplnění válce motoru, což je způsobeno tím, že část paliva odpařujícího se v průběhu plnění a kompresního zdvihu výrazně snižuje teplotu čerstvé náplně. V dnešní době považujeme za nejvýznamnější zástupce alkoholů využívajících se pro výrobu automobilových paliv metanol a etanol [3], [9], [10], [11].

Etanol:

Obecně platí, že etanol je produktem zemědělské výroby, přičemž k výrobě dochází kvašením surovin obsahujících cukr, celulózu, nebo škrob. V České republice je využívání především cukrové řepy, krmné řepy, dále brambor, cukrové třtiny, kukuřice a obilovin. Je možné jej využívat jako pohonnou hmotu, a to buď samostatně, nebo ve směsi s využitím dalších paliv, nejčastěji však s uhlovodíky, kde zlepšuje některé vlastnosti směsi. Výhřevnost etanolu je 65,75% výhřevnosti automobilového benzínu, či 67,3% výhřevnosti motorové nafty. Etanol jakožto alkohol má jak již bylo řečeno vysoké výparné teplo a mimo jiné také vysoké oktanové číslo. Nevýhodou alkohol – benzinové směsi je skutečnost, že dochází k adsorpci vody. To vede k separaci fází [3], [9], [10], [11].

Etanol může být vyráběn následujícími postupy:

- fermentací přírodních cukrů,
- fermentací z uhlovodíků, nebo ze škrobu,
- kyselou, nebo enzymatickou hydrolýzou celulóзовých látek.

V České republice a zemích EU je k dostání směs motorového benzínu a bioetanolu pod označením E85 tvořená z 85% bioetanolem a 15% automobilového benzínu. Tato směs se v průběhu roku může měnit z důvodu zachování optimálních podmínek při spalování například v zimních měsících kvůli nízké výhřevnosti etanolu, přičemž minimální obsah etanolu musí zůstat zachován na 70% podílu. Palivo splňuje požadavky ČSN 656512, přičemž oproti klasickému automobilovému benzínu Natural disponuje vyšším oktanovým číslem 109 [3], [9], [10], [11].

Ekonomické faktory:

V České republice představuje cílené využití biomasy pro výrobu alkoholu v podobě etanolu především možnost hospodárného využití zemědělských přebytků pro výrobu obnovitelného zdroje energie z domácích surovin a potlačení závislosti tuzemského trhu na fosilních palivech stejně jako v jiných zemích EU. Především pro zemědělskou výrobu tak proto vzniká možnost cíleného a systémového využití jejich nadprodukce nežli pouhý export na světové trhy [9].

Kromě ekonomických přínosů po stránce cíleného využití nadprodukce biomasy na tuzemském trhu a příznivých ekologických dopadů, jsou patrné také s ohledem na vlastnosti palivové směsi tvořené směsí etanolu a automobilového benzínu pozitivní ekonomické dopady samotného provozu vozidla na tuto palivovou směs spočívající především ve zvýšení životnosti. Důležitým faktem je také v rámci České republiky skutečnost, že biosložka v palivu E85 prozatím nepodléhá spotřební dani a je tak viditelný citelný rozdíl v ceně oproti klasickému automobilovému benzínu, který je zatížen daňovou povinností ve výši 12,84 Kč/litr [9], [10], [11].

Požizovací náklady spojené s přestavbou vozidla na systém E85 činí přibližně v případě 4 válcového pístového spalovacího motoru 10.000 Kč. Roční úspora při využití tohoto systému v osobním vozidle při ročním nájezdu 15.000 km v porovnání

s provozem na motorový benzín činí přibližně 4.000 Kč. To vše při uvážení průměrné ceny motorového benzínu Natural 95 33,9 Kč/litr a E85 23,9 Kč/litr [18].

Ekologické faktory

Jak již bylo řečeno, etanol představuje hospodárné a ekologické využití zemědělských přebytků biomasy a na trhu paliv jak v České republice tak EU představuje ekologicky šetrnou variantu alternativního paliva dosahujícího až 70% snížení produkce CO₂. Ve srovnání s metanolem, není pro lidský organismus toxický [18].

Technické řešení:

Pro optimální využití etanolu v rámci paliva E85 u zážehových pístových spalovacích motorů je nutné zvýšení dodávaného paliva při stejném množství vzduchu. Důvodem je výrazně odlišný stechiometrický poměr v případě paliva E85 9:1 oproti 14,6:1 u automobilového benzínu. Vozidla splňující požadavky pro využití paliva E85 jsou označena jako Flexi Fuel Vehicle neboli FFV (vozidla využívající více paliv) a na českém trhu se setkáváme jak s originální úpravou již od výrobce konkrétního vozidla tak s možností dodatečné úpravy a díky tomu tak využití E85 i u starších vozidel. Samotná úprava vozidla, které má využívat paliva na bázi etanolu spočívá v přidání samostatné řídicí jednotky, přizpůsobující požadavky stechiometrického poměru pro palivo E85 [18], [9], [10], [11].

Metanol:

Metanol je vyráběn oproti etanolu katalytickou hydrogenací oxidu uhelnatého prostřednictvím fosilních paliv především z ropy, zemního plynu a v neposlední řadě také částečně z biomasy díky suché destilaci dřeva. V současné době jsou využívány dva způsoby výroby Metanolu. Za nejrozšířenější je považována výroba ze zemního

plynu. Druhou možností je výroba prostřednictvím biomasy, díky čemuž je možné získávat metanol opakovatelně a ekologičtěji, nicméně takřka dvojnásobně nákladnější.

Pro metanol platí, že je vysoce toxický pro lidský organismus a k některým používaným technickým materiálům je mimo jiné také vysoce chemicky agresivní. Mezi tyto materiály řadíme především pryže plasty a slitiny hliníku.

Metanol se v současné době využívá především při vývoji palivových článků a v menší míře také jakožto palivo pro vysokovýkonné přeplňované závodní automobily. Spalování čistého metanolu je možné a toto palivo je označeno jako M100, přičemž spalné teplo je přibližně poloviční v porovnání automobilovým benzinem, což vede k vyšší spotřebě přibližně dvojnásobně a je nutné zvýšení objemu palivové nádrže. Řešením je také zvětšení kompresního poměru a to na hodnotu 12:1. Metanol má vysoké výparné teplo a to 1,1 MJ/kg (100%) v porovnání s automobilovým benzinem, jenž má výparné teplo pouze přibližně 0,32 MJ/kg (29%). Metanol disponuje také vysokým oktanovým číslem a to 112, přičemž cetanové číslo je naproti tomu poměrně nízké a to 2. Kromě přímého využití metanolu jsou využívány také směsi metanolu s automobilovým benzinem pod označením M85 tvořené z 85% metanolem a 15% automobilovým benzinem. Metanol je mimo jiné také využíván k výrobě paliv či jejich aditiv ve formě MTBE, DME a jiným druhům etherů [9], [10], [11], [3].

4.2.3 Vodík

Vodík představuje nejlehčí a nejjednodušší chemický prvek, je velmi reaktivní a proto se jeho atomy navzájem spojují a vytvářejí molekuly o dvou atomech. Oproti atomovému vodíku je molekulový vodík poměrně stabilní s vysokou vazebnou energií. V úvodu je nutné poznamenat, že vodík není klasickým palivem, nýbrž nosičem energie. Vodík jako zdroj energie představuje důležitý milník v problematice budoucnosti energetiky a dopravy nezávislých na fosilních palivech [9], [19].

Energie, jež je obsažena ve vodíku může být uvolněna dvojnásobem a to přímo ve spalovacím prostoru pístového spalovacího motoru, nebo v takzvané studené formě a to prostřednictvím palivového článku přímou přeměnou v elektrickou energii. V případě spalování vodíku ve spalovacím prostoru motoru je palivový systém motoru přizpůsoben za pomoci elektronického směšovacího systému, jenž určuje směšovací

poměr vodíku a vzduchu, přičemž spalování probíhá s přebytkem vzduchu. V současné době patří mezi nejrozšířenější respektive nejperspektivnější metody výroby vodíku následující [9]:

Parní reforming zemního plynu

Jedná se v současné době o nejrozšířenější a ekonomicky nepřijatelnější metodu. Teplo pro reformní metodu je dodáváno prostřednictvím přímého spalování části zemního plynu, takzvaný autotermní reforming. Příklad průmyslově vyráběného vodíku je patrný z obr. 5. Samotný proces je tvořen dvěma fázemi, v první se za přítomnosti katalyzátoru do vodní páry (500 - 1 100°C, 0,3 - 2,5 MPa) přivádí metan (dominantní část zemního plynu). Směs metanu a páry reaguje za vzniku vodíku a oxidu uhelnatého a menšího podílu oxidu uhličitého. Poté následuje navyšování množství produkovaného vodíku konverzí CO z reforméru s další přidanou párou. Reakce probíhá již za nižších teplot. Účinnosti procesu se pohybuje okolo 80% [20], [19].



Obrázek 5 - *Technologie parního reformingu zemního plynu [19]*

Vysokoteplotní elektrolýza

Charakteristickým znakem této metody je skutečnost, že část energie je dodávána při procesu výroby v podobě elektrické energie a část je dodána v podobě energie tepelné. Díky tomu dochází ke zvýšení účinnosti procesu výroby. Celková účinnost včetně výroby nutné energie může dosahovat až 45% [20].

Elektrolýza vody

Při této metodě dochází k průchodu stejnosměrného proudu vodou doplněné o látky zvyšující vodivost, přičemž dojde k rozštěpení chemické vazby mezi kyslíkem a vodíkem. Účinnost procesu se pohybuje v rozmezí 80 – 92%. Výstupem elektrolýzy je kyslík a vysoce čistý vodík v plynném skupenství, který pro většinu jeho aplikací postačuje, a není již potřeba jeho dalšího dočištění [20].

Co se týká technologie palivových článků, ty představují zařízení, v nichž dochází na základě elektrochemických procesů k přímé přeměně vnitřní energie paliva na energii elektrickou. Nejjednodušší palivový článek představuje systém typu vodík – kyslík. Oproti tepelným strojům s generátorem elektrické energie disponují palivové články při výrobě elektrické energie vysokých účinností, jelikož přeměna energie je přímá a neprobíhá přes mezi stupně v podobě tepelné a mechanické energie jako je tomu u pístových spalovacích motorů. Účinnost palivových článků při výrobě elektrické energie je 60% při měření v laboratorních podmínkách. Reálná účinnosti dosahuje přibližně 40 – 55% [20].

Ekonomické faktory:

V souvislosti s neustále se snižujícím počtem nově nalezených ropných nalezišť a blížícím se ropným vrcholem označujícím stav kdy dojde ke zvýšení ceny ropy na takovou úroveň, že začne klesat poptávka a její těžba se dostáváme do situace, kdy vývoj technologií pro výrobu vodíku přestává být ekonomicky náročným a stává se reálnou alternativou při nahrazení konvenčních paliv, či energetických zdrojů. Nicméně oproti ostatním typů alternativních paliv a zdrojů energií se nepředpokládá jeho globální zavedení v průběhu nejbližších let a i nadále bude především cílem dalšího vývoje a s jeho širší aplikací a zavedením se oproti ostatním alternativním palivům či zdrojům energie počítá až v dlouhodobém horizontu. Navzdory tomu se již dnes setkáváme u mnohých výrobců automobilů s malosériovou výrobou automobilů využívajících právě tohoto pohonu a to ať již s přímým spalování vodíku, či s technologií palivových článků. V České republice byla v současné době vybudována první vodíková čerpací stanice sloužící primárně pro provoz vodíkového autobusu, který je součástí projektu H2Bus, nicméně v Rakousku, Německu a Velké Británii vzniká již koordinovaná síť čerpacích stanic majících za cíl přiblížit tuto technologii širší veřejnosti [19], [20].

Ekologické faktory

Vodík jakožto palivo budoucnosti z ekologického hlediska je a bude pouze do takové míry ekologické, jak budou ekologicky přijatelné vstupní materiály na počátku jeho výroby. V dnešní době je v globálním měřítku většina z celkové výroby vodíku vyráběna prostřednictvím fosilních paliv. Jak již bylo řečeno v úvodu, vodík je možné vyrobit celou řadou způsobů, nicméně má-li se vodík stát v dlouhodobém horizontu alternativou k fosilním palivům, není jej možné touto cestou nadále vyrábět. Budoucnost se proto jeví ve využití některých vysokoteplotních cyklů a vysokoteplotní elektrolýze vody. Samotné využití vodíku v dopravě disponuje nulovými emisemi [20].

4.2.4 Ropný plyn LPG

Ropný plyn na poli obnovitelných zdrojů energií nepředstavuje z technologického hlediska novinku a jeho využití je známo již od druhé poloviny 80. let 20. století, kdy

byl již využíván k pohonu motorových vozidel a získal si již v této době oblibu jako palivo pístových spalovacích motorů.

Ropný plyn LPG je tvořen směsí propanu a butanu. Propan, butan a jejich směsi jsou zkapalněné uhlovodíkové plyny, převážně se třemi až čtyřmi atomy uhlíku v molekule a to jak nasycené, tak nenasycené. Při teplotách a tlakových podmínkách běžného klimatu je tato směs plynná. Je však možné směs zkapalnit i za běžné teploty prostřednictvím relativně malého tlaku. Při zkapalnění dochází k výrazné změně objemu, přičemž platí, že z přibližně 250 litrů směsi propanu – butanu v plynném stavu se získá přibližně 1 litr kapaliny. Díky těmto vlastnostem je možné skladovat v poměrně malém prostoru velké množství energie. Ropný plyn LPG je syntetizován rafinací ropy, nebo kapalného zemního plynu. Je tedy získáván především z fosilních zdrojů energií. Ropný plyn LPG disponuje velice kvalitními vlastnostmi a to především vysokou antidetonační odolností a vysokou výhřevností oproti automobilovému benzínu, či motorové naftě. Výhřevnost ropného plynu LPG je udávána 46,1 MJ/kg. Ropný plyn LPG není jedovatý, nicméně pro lidský organismus je nedýchatelný [9], [10], [11], [21].

Ekonomické faktory:

V současné době lze říci, že ropný plyn LPG je v Evropě nejrozšířenějším alternativním palivem využívajícím se v pístových spalovacích motorech. Statistické údaje z roku 2008 udávají, že v celosvětovém měřítku je poháněno ropným plynem LPG přibližně 13 milionů vozidel. Této skutečnosti odpovídá také stále se zvyšující síť čerpacích stanic, nabízejících toto palivo i v rámci České republiky. Dle údajů uváděných Ministerstvem průmyslu a obchodu České republiky byl počet čerpacích stanic ke k 31.12 roku 2013 celkem 847 čerpacích stanic majících v sortimentu ropný plyn LPG. K 31.12.2014 byl celkový počet čerpacích stanice disponujících ropným plynem LPG celkem 872, přičemž meziroční nárůst u těchto čerpacích stanic činil celkem 25 nově zbudovaných čerpacích stanic v rámci území České republiky [9], [21], [22].

Ekonomická přívětivost paliva ve formě ropného plynu LPG je v na tuzemském trhu dána také nízkou daňovou zátěží tohoto paliva, jež činí v České republice 0,72 Kč/1000l, přičemž do roku 2018 je plánováno zvýšení této daně na částku 2,39

Kč/1000l. Další zvyšování této daně bude závislé od Národního akčního plánu čisté mobility, který by měla vláda schválit v roce 2015 [23].

Průměrná cena konverze standardního zážehového palivového systému na systém využívající k pohonu také ropného plynu LPG se pohybuje v rozmezí 20.000 – 50.000 Kč v případě sekvenčního vstřikování paliva, nikoli vstřikování ropného plynu LPG v kapalně formě, v tomto případě je cena výrazně vyšší v rozmezí 50.000 – 100.000 Kč. Cena všech přestaveb je závislá na počtu válců motoru a typu vozidla. Návratnost instalace dnes nejčastějšího sekvenčního vstřikovacího systému využívajícího paliva ve formě ropného plynu LPG činí přibližně 14 měsíců a to při uvážení průměrných cen automobilového benzínu 33,9 Kč/l, ropného plynu LPG 15,50 Kč/l, dále ceně instalace systému 30.000 Kč a přibližném ročním nájezdu 20.000 km/rok při průměrné ekvivalentní spotřebě benzínu 8 l/100 km. Roční úspora na pohonných hmotách tak za rok činí 27.000 Kč [24].

Ekologické faktory

Z ekologického hlediska představuje kapalným ropným plynem LPG palivo s dobrými předpoklady k dosažení nižších emisí výfukových škodlivin než mají motory využívající pro svůj provoz konvenční paliva v podobě automobilového benzínu, či motorové nafty. Příznivou vlastností je skutečnost, že toto palivo disponuje menším hmotnostním podílem uhlíku v 1 kg paliva – u LPG (60/40) je to 0,825 kg C, konvenční paliva (automobilový benzin, motorová nafta) obsahují v 1 kg paliva přibližně 0,86 – 0,87 kg C. Tato skutečnost vede v případě zážehového plynového pístového spalovacího motoru k nižší produkci CO [3], [9], [10], [11].

Technické řešení:

Systémy umožňující přestavbu a využití ropného plynu LPG je možno rozdělit na několik typů, přičemž v průběhu let zaznamenaly jednotlivé systémy četné technické úpravy v důsledku vyvíjejících se a především modernizujících se pístových spalovacích motorů. Ropný plyn LPG, je po natankování uložen do tlakové nádrže zajištěné víceúčelovým tlakovým ventilem. Ten plní jak provozní tak bezpečnostní funkce [3] [2].

Provozní:

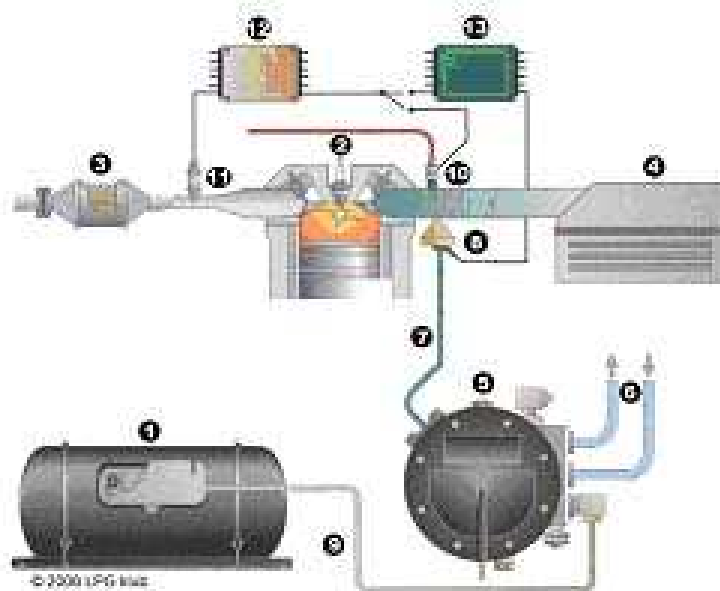
- kazatel množství paliva v nádrži,
- bezpečné uzavření nádrže při vypnutém zapalování,
- odebírání paliva z palivové nádrže [2].

Bezpečnostní:

- tepelná pojistka odpouštějící plyn z nádrže v případě požáru,
- ruční uzavření přívodu plynu do nádrže a k přípojce dálkového plnění,
- vypuštění plynu při přetlaku nad 2,7 MPa a plnění nádrže do max. 80% obsahu,
- bezpečné uzavření nádrže při vypnutém zapalování,
- zastavení toku paliva při úniku nad 6 litrů za minutu (při poruše potrubí) [2].

Plynová nádrž včetně víceúčelového ventilu je osazena plynotěsnou schránkou a soustavou odvětrávacích hadic, jež v případě úniku paliva odvádějí palivo mimo prostor vozidla. Z plynové nádrže je posléze palivo dopravováno prostřednictvím vysokotlakého potrubí do regulátoru tlaku umístěného v motorovém prostoru. Potrubí určené k tomuto účelu bývá nejčastěji vyrobeno z plastu, případně z mědi potažené plastovou vrstvou [2], [3].

V regulátoru tlaku dochází vlivem horkovodního okruhu k odpařování a k přeměně kapalného ropného plynu LPG na plynnou fázi. V plynné fázi dochází k přesunu paliva do směšovače, v němž se mísí s nasávaným vzduchem. Takto připravená směs je přiváděna do pracovního prostoru pístového spalovacího motoru. V případě systémů využívajících systému vstřikování paliva, je ropný plyn LPG přiváděn k jednotlivým válcům motoru do blízkosti benzínových vstřikovačů. Dle konstrukce rozlišujeme vstřikovače pístové a membránové. Schéma systému vstřikování LPG je uvedeno na obr. 6. [2], [3].



Obrázek 6 - Schéma systému vstřikování plynného paliva-seriový systém pro vozidla vybavená systémem palubní diagnostiky EOBD a OBD II [2]

1. tlaková nádrž
2. spalovací prostor
3. katalyzátor
4. filtr nasávaného vzduchu
5. regulátor tlaku
6. horkovodní okruh
7. hadice LPG
8. vstřikovač LPG
9. Cu potrubí

10. benzínový vstřikovač
11. lambda sonda
12. benzínová řídicí jednotka
13. plynová řídicí jednotka

4.3 Zemní plyn

Stejně jako u mnoha dalších alternativních zdrojů energií má využití zemního plynu kořeny v historii, přičemž metan byl poprvé využit pro pohon pístového spalovacího motoru již v roce 1872. Držitelem prvenství v širším využití zemního plynu pro pohon pístových spalovacích motorů je Itálie, s ohledem na skutečnost, že již od 30. let 20. století disponovala zemním plynem z vlastní těžby. Na území České republiky byla první přestavba vozidla uzpůsobeného pro využití paliva ve formě zemního plynu provedena v roce 1981. Následně na území České republiky docházelo k rychlému rozvoji, přičemž v na počátku 90. let 20. století bylo již v provozu prvních 5 autobusů městské hromadné dopravy využívajících zemního plynu v Praze a k dalšímu zavádění autobusů městské hromadné dopravy využívajících paliva ve formě zemního plynu docházelo i v dalších městech a to především na Moravě, ve městech Uherské Hradiště, Prostějov, Havířov či Frýdek Místek. U veškerých tehdejších autobusů se jednalo o přestavbu původních naftových motorů na motory plynové. Zemní plyn se v současné době využívá především pro pohon velkých dopravních prostředků, jako jsou autobusy, či užitkové automobily, v neposlední řadě však také v osobních automobilech. Jeho hlavní využití by tak mělo být především v městské dopravě, nízko emisních zónách, a hromadné dopravě soustředující se ve zvláště chráněných územích jako jsou například národní parky. Mimo jiné sahá využití zemního plynu také do lodní či vlakové dopravy. V otázce využití zemního plynu pro účely dopravy v dnešní době uvažujeme o dvou podobách zemního plynu a to stlačeném zemním plynem CNG a kapalném zemním plynem LNG [1], [3], [5].

4.3.1 Stlačený zemní plyn CNG

Zemní plyn ve stlačené podobě CNG je využíván celosvětově ve větší míře oproti zkapalněné podobě pod označením LNG a to především z důvodu skladování, jelikož skladování zemního plynu ve stlačené podobě je ekonomicky i technologicky méně náročné a umožňuje tak širší využití [25], [26].

Ekonomické faktory

V České republice je v současné době registrováno dle údajů České plynárenské společnosti 8800 vozidel využívajících k pohonu stlačený zemní plyn CNG, přičemž za posledních 10 let vzrostl podíl vozidel využívajících tohoto paliva 22 krát. Z celkového počtu registrovaných vozidel činí 7950 osobních a lehkých užitkových vozidel, dále 527 autobusů a 260 speciálních vozidel ve formě vysokozdvížných vozíků či traktorů. Zbývající podíl zastupují vozidla využívající komunální služby. Meziroční nárůst nově registrovaných vozidel využívajících stlačeného zemního plynu CNG činí 2100 nově registrovaných vozidel. Ve prospěch širšího využití zemního plynu v podobě CNG hovoří také skutečnost, že na tuzemském trhu je široká nabídka nových vozidel vybavených již továrně technologií využívající stlačený zemní plyn, konkrétně 65 modelů osobních či užitkových vozidel, včetně šesti modelů autobusů. V rámci Evropské unie je evidováno celkově 1149114 vozidel využívajících stlačený zemní plyn CNG [25], [26].

Důležitý faktor pro uplatnění jakéhokoli alternativního paliva je jeho dostupnost a dostatečná síť čerpacích stanic. V rámci České republiky je v současnosti zbudováno 83 čerpacích stanic majících v sortimentu stlačený zemní plyn, přičemž jejich počet nadále roste. Dle České plynárenské společnosti by měl počet čerpacích stanic v roce 2015 dosáhnout celkového počtu 100 čerpacích stanic stlačeného zemního plynu CNG, viz obr. 7. V rámci Evropské unie je vybudováno dle dostupných informací 3600 čerpacích stanic stlačeného zemního plynu CNG [25], [26].



Obrázek 7 - Síť čerpacích stanic CNG v ČR [25]

Co se týká ekonomiky provozu vozidla využívajícího stlačený zemní plyn, v jeho prospěch mimo jiného hovoří nízké daňové zatížení. Spotřební daň stlačeného zemního plynu CNG je stabilizována na hodnotě 3,92 Kč/kg, přičemž průměrná cena stlačeného zemního plynu CNG v České republice činí 26,34 Kč/kg. Důležitým faktorem je také nulová silniční daň pro vozidla využívána k podnikání s nejvyšší povolenou hmotností méně než 12 tun, stejně jako je tomu v případě vozidel využívajících k pohonu další alternativní paliva v podobě ropného plynu LPG, směsi bioetanolu a automobilového benzínu E85, hybridní vozidla vybavena pístovým spalovacím motorem a elektromotorem, či vozidla vybavena pouze elektromotorem [23], [25].

Ekonomika provozu vozidla vybaveného systémem spalování stlačeného zemního plynu CNG je patrná v tabulce 1 níže a to v případě srovnání užitkového vozidla Iveco Daily 35S14GV 3,0 CNG a jeho ekvivalentu ve variantě využívající paliva ve formě motorové nafty Iveco Daily 35 S15 V 2,3.

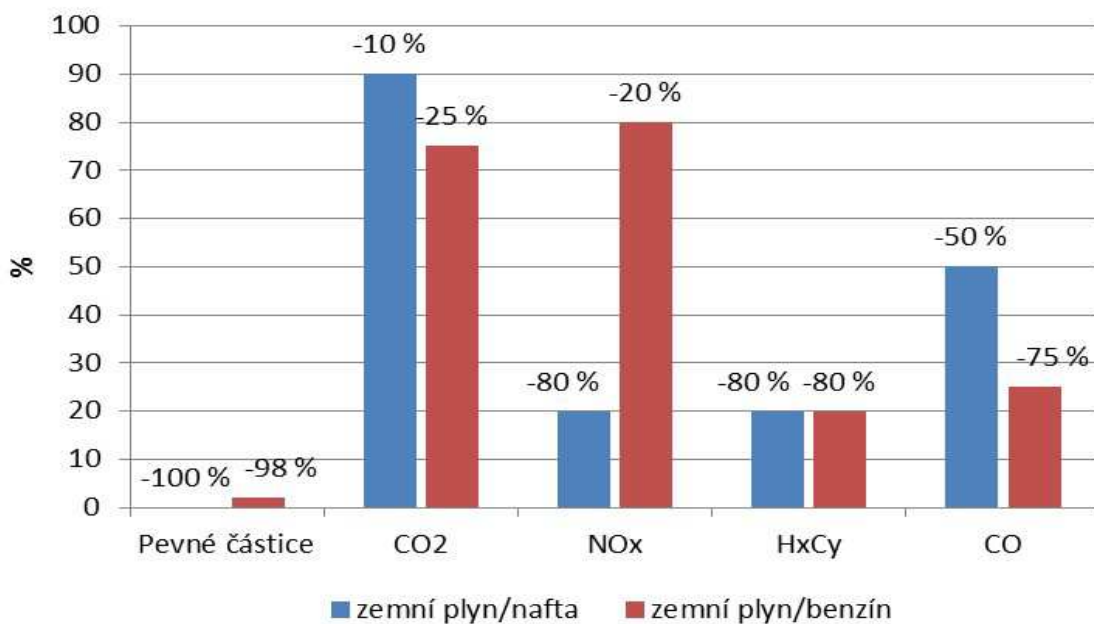
Tabulka 1 - *Provozní náklady vozidla CNG*

	Stlačený zemní plyn CNG	Motorová nafta
Spotřeba paliva (dle ES 2004/3)	8,5 kg/100 km	9,3 l/100 km
Cena paliva (průměrná cena paliva ČR 2015)	26,34 Kč/kg	31,5 Kč/l
Palivové náklady na 1 km	2,24 Kč/km	2,93 Kč/km
Ujetá vzdálenost na 1000 Kč	446 km/1000 Kč	341 km/1000 Kč
Náklady při ročním nájezdu 150000 km	336000 Kč/150tis. km	439500/150tis. Km
Roční úspora při jízdě na stlačený zemní plyn CNG	103500 Kč/rok	

Ekologické faktory

Zemní plyn je považován za jedno z nejčistších fosilních paliv s ohledem na skutečnost, že je tvořen z 85% metanem CH₄ představujícím jednoduchý uhlovodík, bez barvy a zápachu, hořlavý, se vzduchem vybuchující plyn, jenž se často vyskytuje v přírodě i ve formě důlního či bahenního plynu. Zbývající podíl složení zastupuje z 10% dusík a oxid uhličitý a z 5% vyšší uhlovodíky. Alternativou zemního plynu se v současné době stává bioplyn vznikající rozkladem organických látek anaerobním kvašením, probíhajícím v dnešní době především při provozu bioplynových stanic. Přičemž po zbavení nežádoucích příměsí v podobě oxidu uhličitého a sirovodíku disponuje bioplyn vlastnostmi odpovídajícími zemnímu plynu [9], [11].

Dle grafu uvedeného na obr. 8 je patrný rozdíl ve složení výfukových plynů v porovnání zemního plynu s konvenčními palivy ve formě automobilového benzínu a motorové nafty.



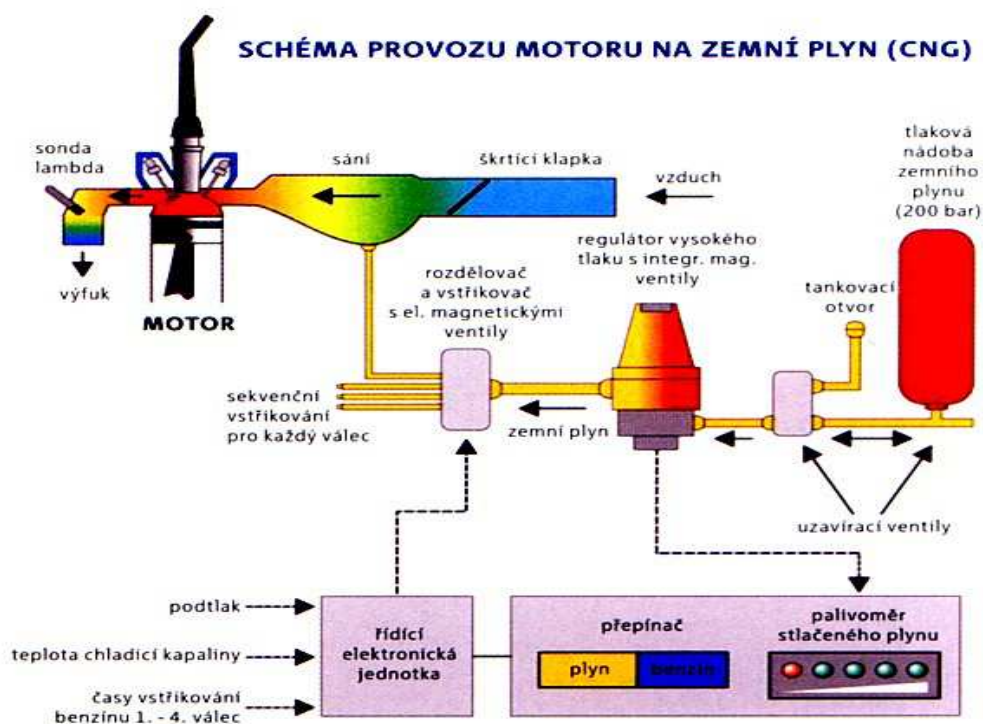
Obrázek 8 - Srovnání emisních parametrů zemní plyn/motorová nafta; zemní plyn/automobilový benzín [36]

Technické řešení:

V případě stlačeného zemního plynu CNG se v dnešní době setkáváme převážně s vozidly vybavenými systémy pracujícími s tímto palivem již továrně upravenými v kombinaci s automobilovým benzinem a schopností jízdy na jedno i druhé palivo samostatně. S ohledem na skutečnost, že tlakové nádrže v případě stlačeného zemního plynu CNG jsou vystaveny podstatně vyššímu tlaku dosahujícím krátkodobě hodnoty až 26 MPa jsou tyto palivové nádrže technologicky náročnější na výrobu a s ohledem na tuto skutečnost také rozměrově a váhově náročnější. Z tohoto důvodu není dodatečná přestavba především u osobních automobilů tak výhodná jako v případě ropného plynu LPG a vlivem přestavby dojde ke snížení užitných vlastností daného vozidla. V případě tovární zástavby dochází k umístění palivových nádrží do prostoru pod vozidlem, v případě dodatečných instalací je nutné nádrže umístit do zavazadlového prostoru, v případě nízkopodlažních autobusů je možné se setkat také s instalacemi na střeše vozidla. Palivové nádrže jsou výhradně vyráběny jako válcové silnostěnné nádoby z oceli, hliníku, či kompozitních materiálů [5], [9], [10].

Z technického hlediska je možné říci, že systémy využívající paliva ve formě stlačeného zemního plynu CNG jsou takřka identické se systémy využívajícími ropného plynu LPG, není však možné je zaměnit. Zásadní rozdíl u všech variant systémů je v provozním tlaku, kdy v případě stlačeného zemního plynu CNG pracují systémy s výrazně vyšším pracovním tlakem a je k tomu přizpůsobena také jejich konstrukce, detailněji je patrné z obr. 9.

V minulosti byla směs zemního plynu vytvářena pomocí směšovače, nicméně stejně jako v případě ropného plynu LPG se postupným vývojem přešlo na kvalitnější systémy spočívající ve vstřikování plynu do jednotlivých sacích potrubí motoru prostřednictvím plynových vstřikovacích ventilů [5], [9], [10].



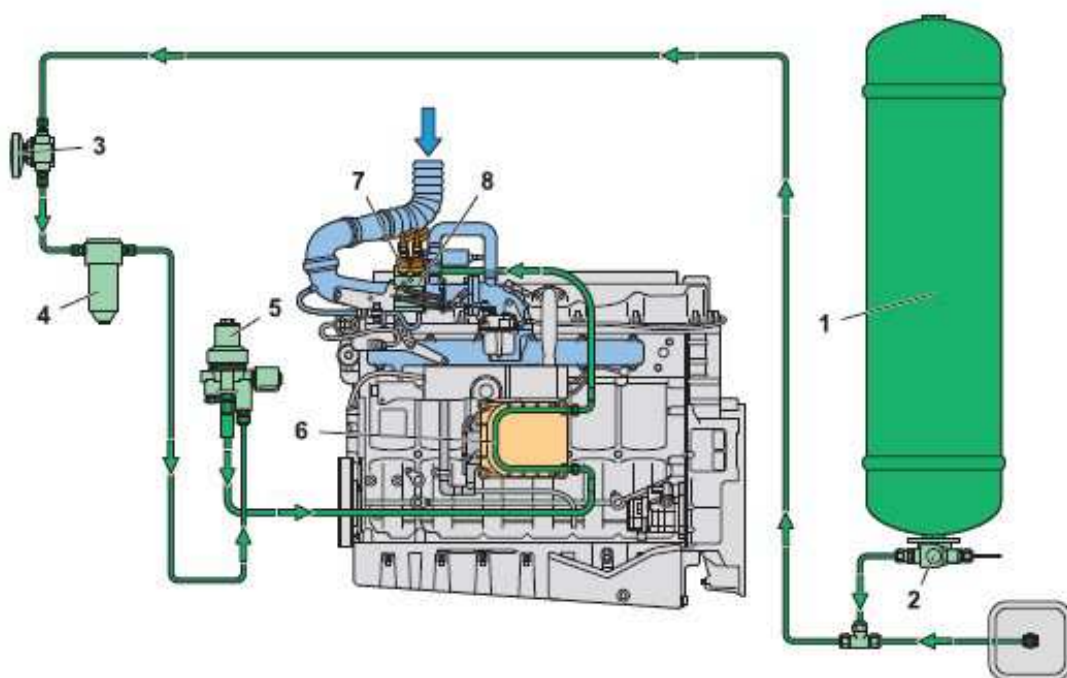
Obrázek 9 - Schéma palivového systému CNG [37]

Za pomoci vysokotlakého potrubí je pohonná hmota přiváděna do nádrže, kde je stlačený zemní plyn CNG udržován pod tlakem 20 MPa. Ústí nádrže je vybaveno víceúčelovým ventilem. Tento ventil stejně jako v případě ropného plynu LPG plní funkci především provozní kdy zajišťuje odběr paliva z nádrže, či uzavírá nádrž

v případě vypnutého zapalování a bezpečnostní funkci kdy v okamžiku havárie a vzniku přetlaku či zvýšení teploty zajišťuje vypouštění přebytečného plynu. V případě porušení vedení plynu a výraznému poklesu tlaku zajistí dále přerušování průtoku plynu. Z palivové nádrže je následně palivo vedeno vysokotlakým potrubím do regulátoru tlaku, který zajišťuje úpravu tlaku ze skladovacího tlaku v nádrži na vstřikovací tlak do spalovacího prostoru, který je v rozmezí 0,2 - 0,3 MPa. V okamžiku kdy řídicí systém rozpozná, že tlak na výstupu z regulátoru poklesl pod tuto hodnotu, je situace vyhodnocena řídicím systémem jako nedostatečné množství paliva a dochází tak k automatickému přechodu na automobilový benzin. Regulátor tlaku je propojen s chladícím okruhem motoru a teplo vznikající rozpínáním plynu v regulátoru je ním následně odebíráno. Následně palivo směřuje do jednotlivých sacích potrubí, v nichž jak již bylo řečeno, dochází ke vstřikování plynu za pomoci plynových vstřikovacích ventilů [5], [9], [10].

Dalším v současnosti často používaným systémem u vozidel vybavených systémem palubní diagnostiky EOBD a OBD II je systém sekvenčního vstřikování plynu. Plynové vstřikovače jsou umístěny samostatně na vstřikovací liště, přičemž každý vstřikovač v systému je tvořen několika dalšími sekcemi, jejichž počet je závislý na počtu válců motoru. Vstřikovače následně zajišťují vstřikování plynu v přesné dávce a ve stanoveném čase do každého válce motoru. Každý válec je zapojen na jednu sekci, díky čemuž je zajištěna plná realizace sekvence plynového vstřiku. Dávkování vstřikovaného plynu se určuje na základě získaných signálů z benzinových vstřikovačů, které zajišťuje benzinová řídicí jednotka ECU benzin. Tyto signály jsou následně zpracovány v plynové řídicí jednotce ECU plyn, jenž slouží pro řízení plynových vstřikovačů a mimo jiné zpracovává také informace z diagnostických systémů EOBD a OBD II díky čemuž je možné zajistit ještě přesnější dávkování plynu do spalovacího prostoru. [27]

V případě vozidel využívajících k pohonu motorové nafty, je možný provoz na stlačený zemní plyn pouze v případě přestavby vznětového motoru na plynový, což je ale jak po stránce technické i ekonomické poměrně náročné, nebo úprava vnějších komponentů motoru takového vozidla na takzvaný bivalentní systém (viz obr. 10) umožňující současné přivádění plyného i kapalného paliva do spalovacího prostoru. S touto variantou se setkáváme především u nákladních automobilů, či zemědělské techniky. [28]



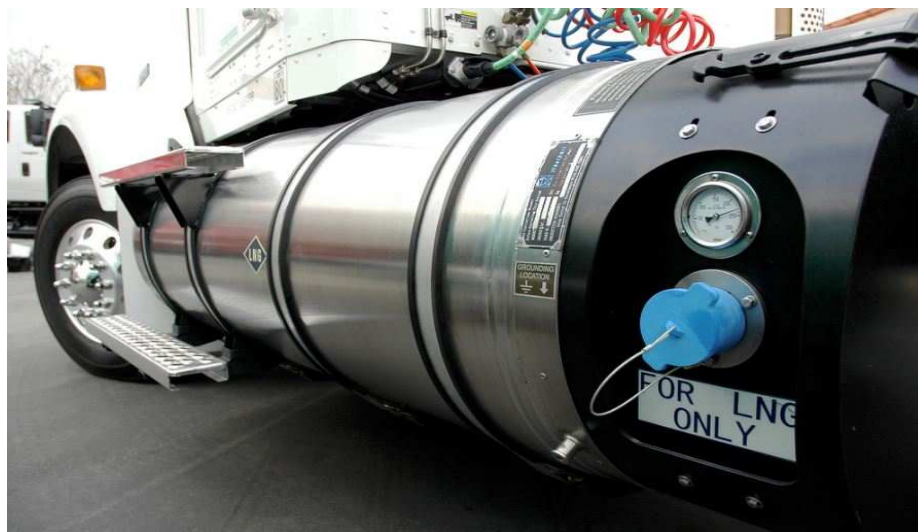
Obrázek 10 - Schéma bivalentního systému vstřikování plynného i kapalného paliva [28]

1. tlakový zásobník
2. plnicí ventil
3. uzavírací ventil
4. filtr
5. regulátor tlaku
6. řídicí jednotka
7. dávkovací ventil
8. dávkovací ventil

4.3.2 LNG

Co se týče alternativních plynných paliv v současné době, jsou pro pohon automobilů nejvíce využívanými plyny propan butan a zemní plyn, ten především stlačený pod označením CNG, v menší míře ve formě zkapalněného LNG. Na zkapalněný zemní plyn LNG v současné době v celosvětovém měřítku jezdí přibližně několik tisíc vozidel, nejvíce však USA. Nárůst využívání LNG je v nejbližších letech očekáván v Asii (Čína, Korea) a v Evropě (Anglie, Německo, Španělsko) [25].

Zkapalněný zemní plyn je stejně jako stlačený zemní plyn tvořen z 90 – 100% metanem, který je zchlazen na teplotu -162°C při atmosférickém tlaku a jeho uskladnění je nutné v takzvaných kryogenních nádržích. Zkapalněný zemní plyn je studená, namodralá, průzračná kapalina bez zápachu, nekorozivní, netoxická, s malou viskozitou, přičemž zkapalněný zemní plyn zaujímá přibližně 600 krát menší objem než plynný zemní plyn. Výhodami zkapalněného zemního plynu LNG vůči stlačenému zemnímu plynu CNG je především vyšší dojezd srovnatelný s konvenčními pohonnými hmotami a nízká hmotnost palivových nádrží z důvodu dostačujícího menšího objemu nádrží a díky tomu zvýšení dostupného užitečného prostoru. Nevýhodami jsou především odpar paliva z nádrže při delší odstávce, nutnost uchování za velmi nízkých teplot, technologicky nákladnější a náročnější technologie v porovnání se stlačeným zemním plynem CNG [25]. Příklad nádrže na LNG je uveden na obr. 11.



Obrázek 11 - Tlaková nádrž LNG [38]

5 METODIKA MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

Měření mnou vybraného užitkového automobilu Iveco Daily 35S14G 3,0 CNG probíhalo na Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity v Brně. Parametry vybraného vozidla byly měřeny prostřednictvím vozidlového dynamometru 4VDM E120-D a Emisní systémové analýzy BOSCH ESA.

5.1 Parametry měřeného vozidla

Pro potřeby měření jsem ve své diplomové práci využil vozidlo Iveco Daily 35S14G v karosářské verzi Furgon. Vozidlo je vybavené přeplňovaným zážehovým řadovým čtyřválcovým motorem, typ F1CE0441 spalující palivo ve formě stlačeného zemního plynu CNG. Motor je vybaven sekvenčním vstřikováním plynu s 4 vstřikovacími ventily a statickým jednoradovým zapalováním. Systém přípravy směsi je instalován u výrobce, zajímavostí je způsob změny spalovaného paliva. V případě, že poklesne tlak v nádržích CNG pod limit dojezdu, pak řídicí systém provede automaticky přepnutí na dojezd spalováním benzínu. Avšak benzín není primárním palivem a slouží de facto pouze jako nouzové palivo pro dojezd čerpací stanici. Při spalování CNG je regulační systému motoru připraven spalovat bohaté až mírně chudé směsi, avšak u benzínu se striktně dodržuje stechiometrie, proto generovaný točivý moment na vnější charakteristice je významně nižší než je tomu při spalování CNG. Spalovací motor je přeplňován turbodmychadlem s řízeným Waste Gate a mezichladičem stlačeného vzduchu. Strategie tvorby směsi je typu stechiometrická, vozidlo je vybaveno katalyzátorem a autodiagnostickým systémem kompatibilní s EOBD. Technické údaje k dané motorizaci jsou patrné v tabulce 2 uvedené níže.

Tabulka 2 - Parametry motoru Iveco Daily 35S14 GV [39]

Model / Motorizace	35 S14 GV
	100 kW / 136
	4 válcový CNG / benzin
Zdvihový objem [cm³]	2998
Max. výkon, [kW] při 1/min	100 / 2730 - 3500
Max. točivý moment, [Nm] při 1/min	350 / 1500 - 2730
Emisní třída	EEV
CO₂ Zplodiny, [g/km], kombinovaný provoz	X
Nejvyšší rychlost, [km/h]	151
Spotřeba paliva, [kg], l/100km (kombinovaný provoz)	8,5
Zrychlení vozidla 0 - 100 [s]	X
Objem nádrží CNG [kg] / benzin [l]	36
Dojezd CNG / celkem [km]	290 - 360 / 450

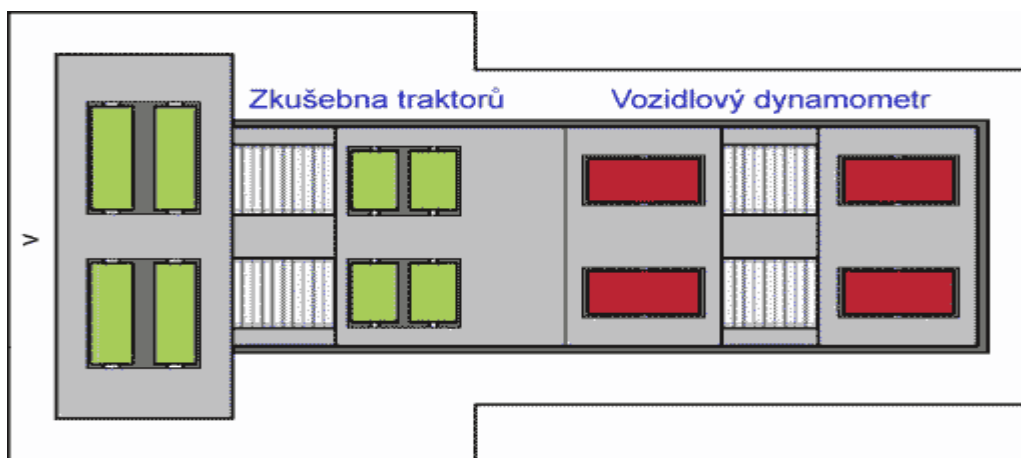
V níže uvedené tabulce 3 jsou patrné údaje týkající se převodového ústrojí, přičemž výrobce vozidla uvádí, že údaje jsou platné pro pneumatiky o rozměru 225/65 R16 a převod nápravy 3,42.

Tabulka 3 - Parametry převodového ústrojí Iveco Daily 35S14 GV [39]

Typ	Převod		Max. rychlost [km/h]	Stoupavaost [%]
FPT 2840.6 6-ti stupňová	1°	5,373:1	171	65
	6°	0,791:1		

5.2 Technické provedení vozidlové zkušebny Mendelu

Vozidlový dynamometr 4VDM E120-D (koncepce stanoviště je patrná z obr. 12) konstrukčně vychází z tuhých základních rámu, které jsou osazeny ložisky válců o průměru 1,2 m, stojin a v neposlední řadě také základních rámu, na nichž jsou uloženy stejnosměrné elektrické dynamometry. Takto provedené rámy se stojinami tvoří základní bloky a to jak pro přední tak zadní nápravu vozidla umístěného na zkušebně. Změna rozvoru dle požadavku zkoušeného vozidla je proveden pomocí posuvně uloženého bloku zadní nápravy, přičemž blok přední nápravy je uložen pevně. Vzájemné propojení levého a pravého válce je provedeno prostřednictvím elektricky ovládané frikční spojky. Vzájemné rozpojení levého a pravého válce umožňuje dynamické měření brzdných sil z vysokých rychlostí. Co se týče propojení elektrických stejnosměrných dynamometrů typu SDS 225 5604 s válcovými jednotkami, jejich propojení je zajištěno pomocí ozubených řemenů [29].

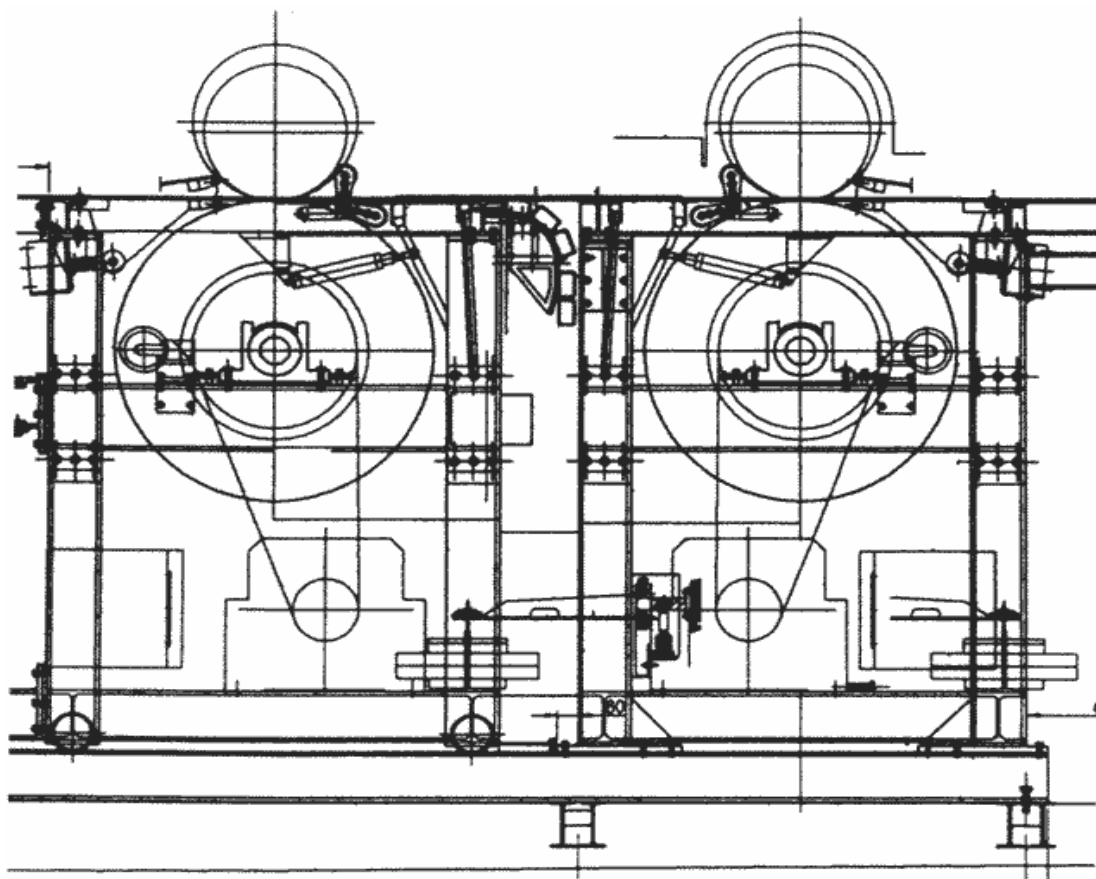


Obrázek 12 - Vozidlový dynamometr 4VDM E120-D [29]

Najetí vozidla na válce a bezpečnostní zabrzdění, je zajištěno pneumaticky ovládanými brzdami. Všechny válcové jednotky jsou dále doplněny o měřicí rolny s odsouvatelnými kryty a pneumaticky ovládanými nájezdovými a středícími zařízeními. Obě osy jsou umístěny na konstrukci tvořené ocelovými profily, které jsou upevněny na základním rámu. Ten je zalit betonem na dně montážní jámy. Na

základním rámu jsou dále uchyceny podpěry pevného a posuvného krytí vozidlového dynamometru. Kotvící drážky pro upevnění úvazků vozidla jsou zality podlaže v blízkosti montážní jámy. Celá plocha v okolí vozidlového dynamometru je v rovině podlahy zakryta krycími plechy vyrobenými z oceli. Pod jednotlivými osami uprostřed (v zapuštěném kanálu) se dále nachází ústí přívodu chladícího vzduchu pro prostor montážní jámy. Konstrukční řešení je patrné z obr. 13. V prostoru před zkoušeným vozidlem je umístěn ventilátor náporového chlazení s usměrňovací hubicí, připojený pohyblivým přívodem do zásuvky spínané přes ovládací klávesnici z kabiny vozidla [29].

Tabulka 4 udává základní technické parametry válcového dynamometru. Pohled do prostoru zkušebny je uveden na obr. 14.



Obrázek 13 - Schéma elektrických stejnosměrných dynamometrů typu SDS 225 5604 s válcovými jednotkami [29]

Konstrukčně lze vozidlovou zkušebnu rozdělit na tyto funkční celky:

- pevná a posuvná část
 - přední a zadní monoválce pro osobní vozidla,
 - rám,
 - válce se spojkou, hnacími řemeny a brzdou,
 - dynamometry s ventilací,
 - snímací rolny,
 - ustavovací zařízení,
- pojezdové profily a pohon pojezdu,
- posuvné, pevné podlahy a jejich kryty,
- upevňovací zařízení pro osobní vozidla, traktory a bezpečnostní zábrany [29].

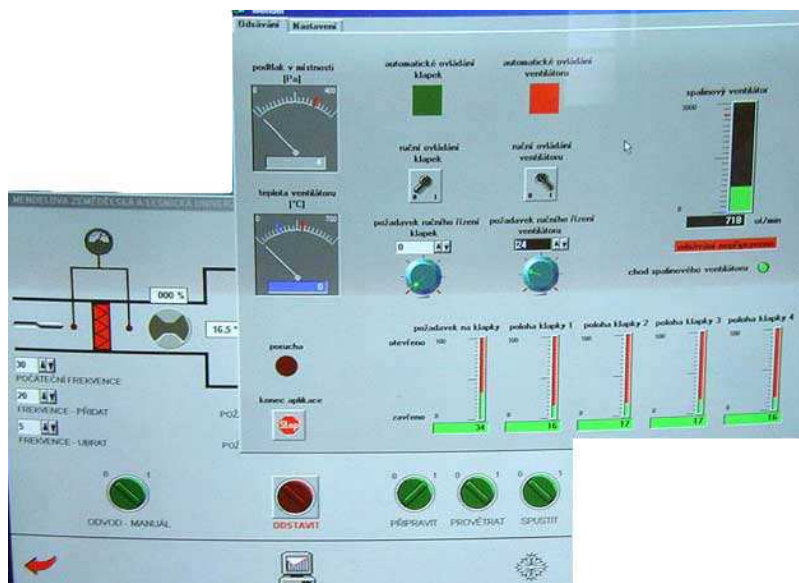
Tabulka 4 - Parametry vozidlového dynamometru 4VDM E120-D [29]

Max. zkušební rychlost [km.h⁻¹]	200
Max. výkon na nápravu [kW]	240
Max. hmotnost na nápravu [kg]	2000
Průměr válců [m]	1,2
Šířka válců [mm]	600
Mezera mezi válci [mm]	900
Povrch válců	Zdrsnění RAA 1,6
Setrvačná hmotnost válců každá náprava [kg]	1130
Min. rozvor [mm]	2000
Max. rozvor [mm]	3500
Zatížitelnost krytí	-
• V místě jízdy [kg]	2000
• V místě chůze [kg]	500
Tlakový vzduch [bar]	min.4
Rozsah měření rychlosti [km.h⁻¹]	0 – 200
Rozsah měření sil [kN]	4x 0 - 5
Přesnost měření rychlosti [km.h⁻¹]	± 0,05
Přesnost měření sil [%]	± 1,5
Přesnost regulace rychlosti [%]	± 1,5
Přesnost regulace síly [%]	± 2,5



Obrázek 14 - Vozidlová zkušebna Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity v Brně [29]

V rámci technického vybavení zkušebny hovoříme nejen o měřicích zařízeních, ale důležitou roli hraje také příslušenství zkušebny ve formě vzduchotechniky a spalínového hospodářství. Podtlak v prostorách zkušebny je možné regulovat od 5 do 300 Pa a výměnné množství vzduchu činí až 25 000 m³/h. Co se týká výfukových plynů, regulace je možná jak ručně, tak v závislosti na odebíraném výkonu motoru a to až do 24 000 m³/h. Masky ovládacího sw je znázorněna na obr. 15 [29].



Obrázek 15 - Softwarové prostředí ovládání systému vzduchotechniky [29]

5.3 Technické provedení Emisní systémové analýzy

Měření emisí výfukových plynů, bylo během měření v rámci vozidlové zkušebny Mendelu prováděno prostřednictvím přístroje Bosch ESA, viz obr. 16. Za pomoci tohoto zařízení je možné mimo jiné provádět také základní seřízení motoru. Emisní systémová analýza představuje modulárně řešený systém, jehož funkce je možné modulárně podle potřeb postupně rozšiřovat. Jako základ je možné zvolit sestavy, jenž umožňují měření emisí zážehových (ESA 3.140), vznětových (ESA 3.110) nebo zážehových a vznětových motorů (ESA 3.250). Měřit lze i motory poháněné alternativními palivy (LPG, CNG, metanol) s tím, že součinitel lambda je vypočítán podle zvoleného druhu paliva (pouze v některých verzích analyzátoru). Zařízení umožňuje kromě měření plynných emisí, či kouřivosti a potřebného měření otáček a teploty oleje také provádění jednoduché funkce motortestru [30].



Obrázek 16 - Emisní systémová analýza BOSCH ESA [30]

1. Monitor.
2. Dálkové ovládání.
3. Inkoustová tiskárna .
4. Měřicí modul MTM Plus.
5. Modul opacimetru RTM 430.
6. Klávesnice .
7. PC modul.
8. Modul analyzátoru ETT 008.70-1.
9. Dílenský vozík.

Modul analyzátoru ETT 8.70 provádí měření čtyř základních složek výfukových plynů CO, HC, CO₂, O₂ a z nich pak vypočítává hodnotu součinitele přebytku vzduchu lambda pro právě měřené palivo (benzín, LPG, CNG a metanol). Parametry systému jsou uvedeny v tab. 5. Modul ETT 8.71 je navíc připraven na montáž snímače pro měření NO_x. Modul opacimetru RTM 430, se vyznačuje unikátně řešeným systémem vzduchových závěsů, který zaručuje vysokou přesnost měření a dlouhé intervaly údržby [30].

Výfuková sonda s nastavitelnou délkou umožňuje bezproblémové připojení na výfuk i vozidel s extrémně krátkou nebo nezvykle tvarovanou koncovkou výfuku. Magnetické uchycení přijímače a vysílače zrychluje již tak velmi jednoduchou údržbu [30].

Tabulka 5 - Parametry systémové emisní analýzy Bosch ESA [30]

Modul analyzátoru ETT 008.70	Měřicí rozsah	Rozlišení
CO	0,000 - 10,00 % obj.	0,001 % obj.
CO ₂	0,00 - 18,00 % obj.	0,01 % obj.
HC	0 - 9999 ppm obj.	1 ppm obj.
O ₂	0,00 - 22 % obj.	0,01 % obj.
Lambda	0,500 - 1,800	0,001
<i>Splňuje požadavky normy OIML třídy 1</i>		
Modul opacimetru RTM 430	Měřicí rozsah	Rozlišení
Kouřivost	0 - 100 %	0,10%
Opacita	0 - 10 1/m	0,01 1/m

5.4 Metodika měření

5.4.1 Příprava před měřením

Před započítím samotného měření, je nutné dodržet veškerá bezpečnostní opatření a také ověřit technické informace o měřeném vozidle, stejně tak jeho technický stav, aby bylo během měření docíleno co nejpřesnějších informací. Před samotným přistavením vozidla na zkušebnu je nutné zkontrolovat, zda je vozidlo vybaveno pneumatikami, jež stanovuje výrobce vozidla. V případě mého měření se jednalo o továrně osazované pneumatiky o rozměru 225/65 R16. Dále proběhla kontrola upevnění vyvažovacích závaží na všech discích a pneumatiky byly dohuštěny na výrobcem předepsaný tlak. Po té byl vůz přistaven do prostoru měřící zkušebny a zadní hnací nápravou usazen na válcové měřící jednotky. Vozidlo bylo poté zajištěno pomocí jistících konzolí dosedajících na nárazník vozidla z jeho přední části, viz obr. 17.

Dále proběhlo ukotvení pomocí kotvících pásových lan a řetězů k těmto účelu určeným fixačním bodům rozmístěným v podlaze zkušebny, tak aby nedošlo k samovolnému pohybu vozidla ať už v podélném, nebo příčném směru. Přední hnaná náprava byla posléze ještě zajištěna podkládacími klíny. V závěru byl přistaven do blízkosti motorového prostoru vozidla v přední části náporový ventilátor, pro dostatečné chlazení motoru vozidla, do motorového prostoru připojen snímač otáček a do ústí výfukového systému umístěn měřicí modul emisní systémové analýzy. Na koncovku výfukového systému po té ještě nasazen odvod výfukových plynů.



Obrázek 17 - Vozidlo Iveco Daily 35S14 GV zajištěné a připravené k měření

5.4.2 Průběh měření

Dynamická zkouška

Během zkoušky dochází k akceleraci z počátečních otáček do otáček koncových při stálém zařazeném rychlostním stupni z důvodu omezení prokluzu pneumatik vozidla vůči povrchu válce dynamometru. V mém případě se u sledovaného motoru jednalo o rozmezí otáček 1300 min^{-1} až 3100 min^{-1} a zařazený 6. rychlostní stupeň.

Po stanovení jízdních odporů začalo vozidlo plynule akcelerovat až na poslední rychlostní stupeň. Po té začal vůz opět plynule akcelerovat od zmiňovaných počátečních otáček 1300 min^{-1} až do koncových otáček 3100 min^{-1} . Moment na povrchu válce je vypočten ze vztahu:

$$M = \varepsilon \cdot I, [\text{N.m}] \quad (1)$$

kde:

- ε - úhlové zrychlení [rad.s^{-2}]
- I - moment setrvačnosti válců zkušebny [kg.m^2]
(zahrnuje i tabelárně zadávaný moment setrvačnosti hnacího ústrojí)

Nevýhodou této metody je skutečnost, že během zkoušky nedojde ke stabilizaci vnitřních teplot motoru, hovoříme především o povrchových teplotách spalovacího prostoru, proudění v sacím či výfukovém potrubí. To má za následek, že celá křivka výkonu může jevit známky deformace a těmito faktury být ovlivněna.

Statická zkouška

Měření probíhá za plné dodávky paliva a konstantních otáček motoru, jenž je zatížen brzdícím účinkem dynamometru. Oproti dynamické metodě není závislost vztažena k momentu setrvačnosti, ale k měření síly na určitém rameni prostřednictvím tenzometrické příruby či tenzometru při působení brzdícího účinku válce. Naměřené hodnoty nejsou ovlivněny setrvačnými hmotami vozidla. Během měření byly zaznamenávány také údaje týkající se ztrátového výkonu, který je vytvářen během pohybu vozidla, přičemž jeho hodnota je přímo úměrná otáčkám vozidla. Ztrátový výkon vozidla je dán vztahem:

$$P_z = F_o \cdot v, [\text{kW}] \quad (2)$$

kde:

- F_o - odporová síla [kN]
- v - rychlost pohybu vozidla [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Výkon motoru je stanoven na základě hodnot zaznamenaných na válcích dynamometru a tenzometrickém zařízení přičemž jsou využity hodnoty otáček a k nim příslušící hodnoty točivého momentu. Během měření byly získány hodnoty týkající se výkonu motoru P , otáčky motoru n , točivý moment Mt , rychlost jízdy v , odporová síla F_o . Mimo uvedené výkonnostní parametry motoru byly zaznamenány prostřednictvím emisní systémové analýzy kontinuálně podoba všech uskutečněných zkušebních měření také hodnoty týkající se emisních parametrů motoru a to především nespálené uhlovodíky HC , oxid uhelnatý CO , oxid uhličitý CO_2 a oxidy dusíku NO_x . Měření proběhlo při procentuálním otevření škrticí klapky, a to 50 %, 75 % a 100 % otevření škrticí klapky.

5.4.3 Atmosférické podmínky během měření

V tab. 6 jsou uvedeny atmosférické podmínky při měření.

Tabulka 6 - *Atmosférické podmínky během měření*

Veličina	Hodnota	Jednotka
Teplota vzduchu	24,1	°C
Relativní vlhkost	62,0	%
Barometrický tlak	97,6	kPa

5.5 Vyhodnocení měření a diskuze

Pro zpracování výstupních dat zajištěných během měření, jsem využil tabulkového procesoru Microsoft Excel. Pro synchronizaci kanálů externích měření (emisní analýza, OBD2 atp.) je využito softwarové řešení, kdy jsou na úrovni hw generovány synchronizační pulzy. Toto řešení není časově deterministické, avšak vzhledem k vzorkovací frekvenci zkušebny je časové rozlišení pod 10 ms.

5.5.1 Tabulkové a grafické zpracování

V následujících tabulkách 7, 8, 9, 10 jsou uvedena naměřená data zachycená během jednotlivých měření statickou metodou, přičemž jsou zachycená data rozdělena podle procentuálního otevření škrticí klapky motoru.

Tabulka 7 - Naměřené hodnoty během 100% otevření škrticí klapky

100% škrticí klapka								
P	n	v	M _t	HC	Nox	CO	CO ₂	Součinitel přebytku vzduchu λ
[kW]	[1.min ⁻¹]	[km/h]	[N.m]	[ppm]	[ppm]	[%]	[%]	-
36,2	1365	60,1	273,5	84	246	0,234	11,47	0,989
56,0	1819	80,1	316,3	71	238	0,255	11,44	0,988
66,1	2001	88,1	339,6	55	207	0,337	11,40	0,986
73,3	2273	100,1	331,6	43	225	0,352	11,42	0,986
79,3	2499	110,0	326,6	34	280	0,188	11,50	0,992
89,3	2840	125,0	323,8	25	268	0,173	11,52	0,993
93,8	3065	135,0	315,2	20	258	0,159	11,54	0,994

Tabulka 8 - Naměřené hodnoty během 75% otevření škrticí klapky

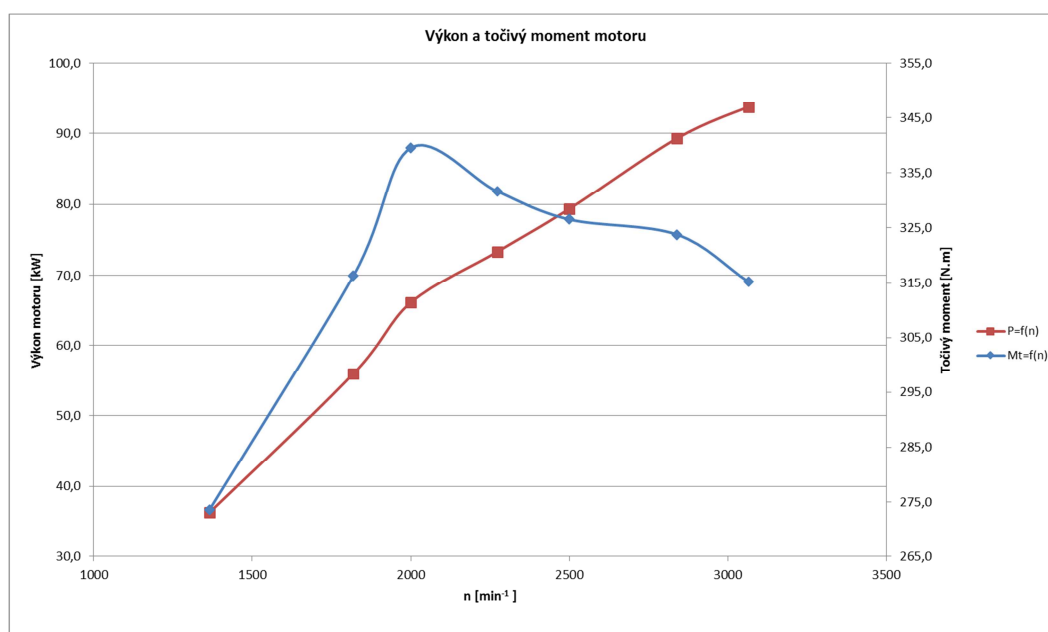
75% škrticí klapka								
P	n	v	M _t	HC	Nox	CO	CO ₂	Součinitel přebytku vzduchu λ
[kW]	[1.min ⁻¹]	[km/h]	[N.m]	[ppm]	[ppm]	[%]	[%]	-
36,2	1365	60,1	273,1	97	274	0,220	11,50	0,989
53,6	1819	80,1	303,3	77	230	0,278	11,47	0,986
60,1	2001	88,1	309,3	57	224	0,260	11,50	0,989
73,5	2273	100,1	332,5	48	212	0,329	11,46	0,986
78,7	2499	110,1	323,9	35	245	0,166	11,55	0,993
89,2	2840	125,1	323,6	26	243	0,123	11,59	0,995
93,7	3065	135,0	315,0	21	227	0,136	11,59	0,995

Tabulka 9 - Naměřené hodnoty během 50% otevření škrticí klapky

50% škrticí klapka								
P	n	v	M _t	HC	Nox	CO	CO ₂	Součinitel přebytku vzduchu λ
[kW]	[1.min ⁻¹]	[km/h]	[N.m]	[ppm]	[ppm]	[%]	[%]	-
35,8	1365	60,1	269,9	100	252	0,238	11,48	0,988
42,1	1819	80,1	239,0	71	251	0,157	11,56	0,993
46,1	2001	88,1	237,7	54	189	0,205	11,52	0,991
52,2	2273	100,1	236,9	40	174	0,184	11,55	0,993
55,2	2499	110,0	228,1	32	164	0,185	11,55	0,993
65,1	2840	125,0	237,0	27	208	0,077	11,62	0,997
69,2	3066	135,0	233,3	22	177	0,136	11,59	0,995

Tabulka 10 - *Parametry ztrátového výkonu*

Ztrátový výkon P_z		
v	F_o	P_z
km/h	kN	kW
60,1	0,279	4,7
80,1	0,296	6,6
88,1	0,303	7,4
100,1	0,316	8,8
110,0	0,327	10,0
125,0	0,345	12,0
135,0	0,358	13,4



Obrázek 18 – *Výkon a točivý moment v závislosti na otáčkách*

Ve výše uvedeném grafu na obrázku 18 je charakterizována vnější otáčková charakteristika naměřená během statické metody, přičemž jsou patrné hodnoty nejvyššího dosaženého výkonu 93,8 kW při otáčkách 3065 min^{-1} . Nejvyšší točivý moment dosáhl hodnoty 339,6 N.m při otáčkách 2001 min^{-1} .

Naproti tomu výrobcem deklarovaný výkon je stanoven na hodnotu 100 kW od hranice otáček 2700 min^{-1} . Co se týká točivého momentu, výrobcem stanovený parametr udává hodnotu 350 N.m na od hranice otáček 1500 min^{-1} . Na základě těchto údajů je patrný posun stabilní oblasti motoru, jež je ohraničena otáčkami, při nichž

dochází k dosažení nejvyššího točivého momentu a výkonu motoru v otáčkách 2100 min⁻¹ až 3065 min⁻¹, přičemž v této oblasti by měl být motor optimálně využíván pro dosažení co nejlepší ekonomiky provozu.

Jestliže motor pracuje v ustáleném režimu v rozsahu stabilní oblasti točivého momentu, dokáže na přiměřenou změnu zatížení zareagovat nalezením nového rovnovážného stavu, přičemž pokud dojde ke zvýšení zatížení motoru a poklesu otáček zvýší se momentu motoru. Daný provozní režim se tedy neustále nachází v oblasti nejnižších měrných spotřeb motoru, což lze vyjadřovat i v ekonomických parametrech [2].

Další viditelný faktor je patrný z nižší hodnoty pružnosti měřeného motoru, kdy v případě měřeného motoru byla celková pružnost motoru E vypočítána na hodnotu 1,6 oproti hodnotě vypočtené dle údajů výrobce 1,82.

Rozsah pružností zážehového a vznětového motoru potvrzuje Hlavňa „*Celková pružnost motoru je součinem momentové a otáčkové pružnosti, hodnoty momentové pružnosti jsou stanoveny pro motory zážehové v rozmezí 1,1-1,3 pro motory vznětové potom 1,05-1,15. Otáčková pružnost pro oba typy motorů se pohybuje v rozmezí 1,3 -2,0 [1].*“ Z těchto údajů vyplývá i hodnota celkové pružnosti motoru E zážehového 1,43 - 2,6 a vznětového 1,37 - 2,3 [1]. Pružnost motoru je stanovena vztahem:

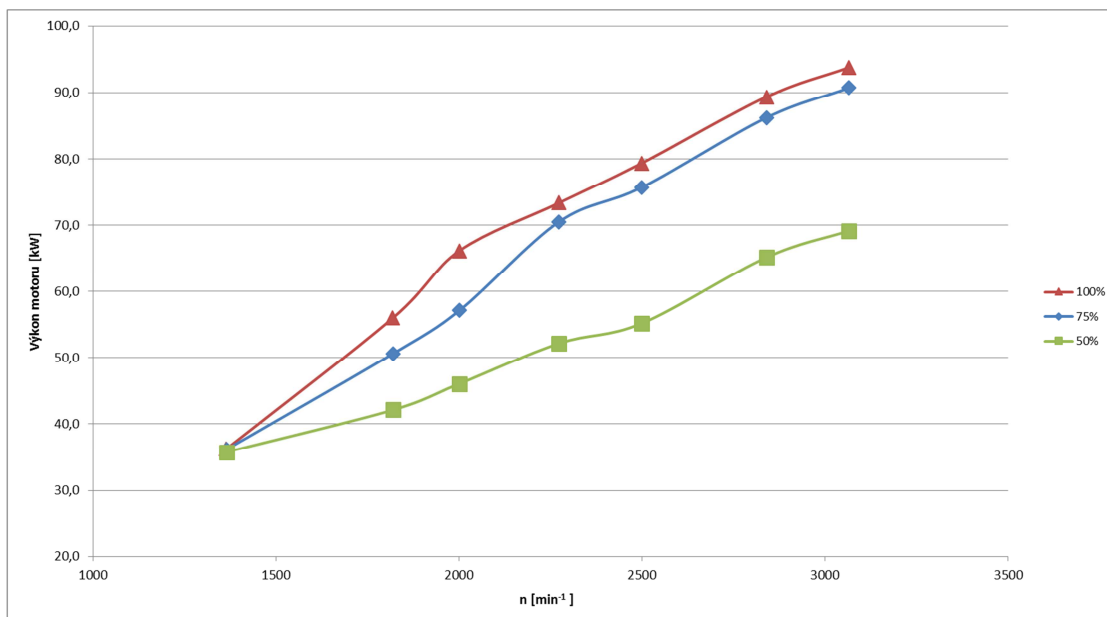
$$E_M = \frac{M_{tmax}}{M_{tj}}, [-] \quad (3)$$

$$E = E_M \cdot E_n [-] \quad (4)$$

$$E_n = \frac{n_j}{n_{M_{tmax}}} [-] \quad (5)$$

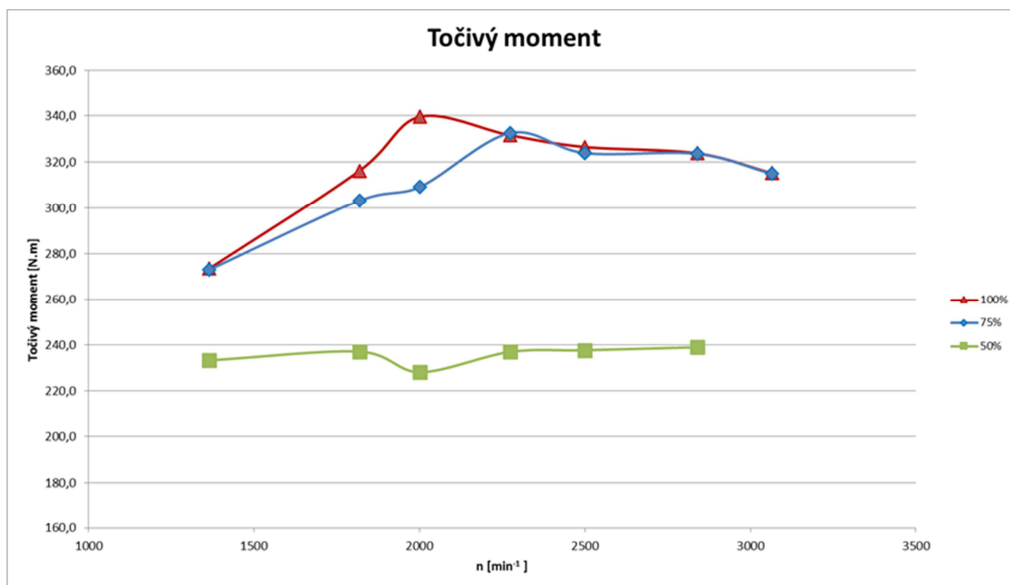
kde:

- E_M - momentová pružnost [-]
- E_n - otáčková pružnost [-]
- M_{tmax} - maximální točivý moment [N.m]
- M_{tj} - točivý moment motoru při maximálním výkonu [N.m]
- n_j - otáčky motoru při maximální výkonu [min⁻¹]
- $n_{M_{tmax}}$ - otáčky motoru při maximálním točivém momentu [N.m]

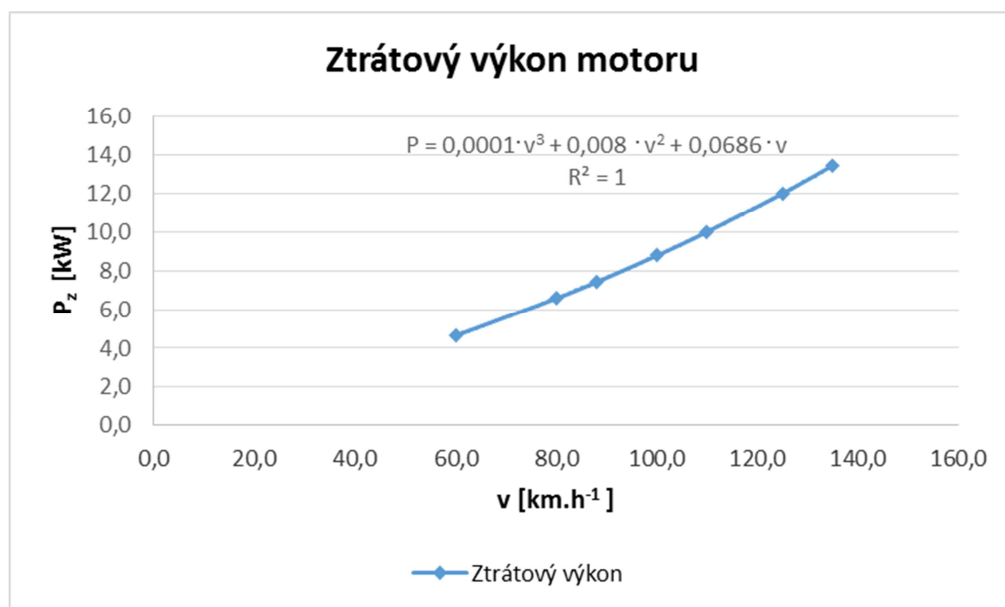


Obrázek 19 – Výkon závislý na otáčkách při různém otevření škrticí klapky

V grafu na obrázku 19 je znázorněna závislost výkonu motoru na jeho otáčkách. Jednotlivé závislosti jsou ovlivněny polohou otevření škrticí klapky, přičemž z průběhů jednotlivých závislostí je patrné, že motor je vybaven omezovacím regulátorem. Z toho dále vyplývá, že maximálního výkonu motoru stejně jako jeho točivého momentu v grafu na obrázku 20 je možné dosáhnout pouze při plně otevřené škrticí klapce. Zajímavostí je poměrně malá diference generovaného výkonu motoru mezi 75% a 100% otevřením škrticí klapky. Je nutné si uvědomit, že typ regulačního systému motoru pracuje bez „pevné“ vazby aktuátoru (nastavovače škrticí klapky) a žádosti na výši točivého momentu (pedál akcelérátoru). Poloha škrticí klapky byla odečítána z OBD-2 systému. Vzhledem k odlišné funkci aktuátoru, proti dříve užívaným systémům, které byly lineární z hlediska požadavku na regulátor, je tedy možné, že diference mezi polohou škrticí klapky ve vztahu ke skutečnému průtoku vzduchu nemá lineární závislost.

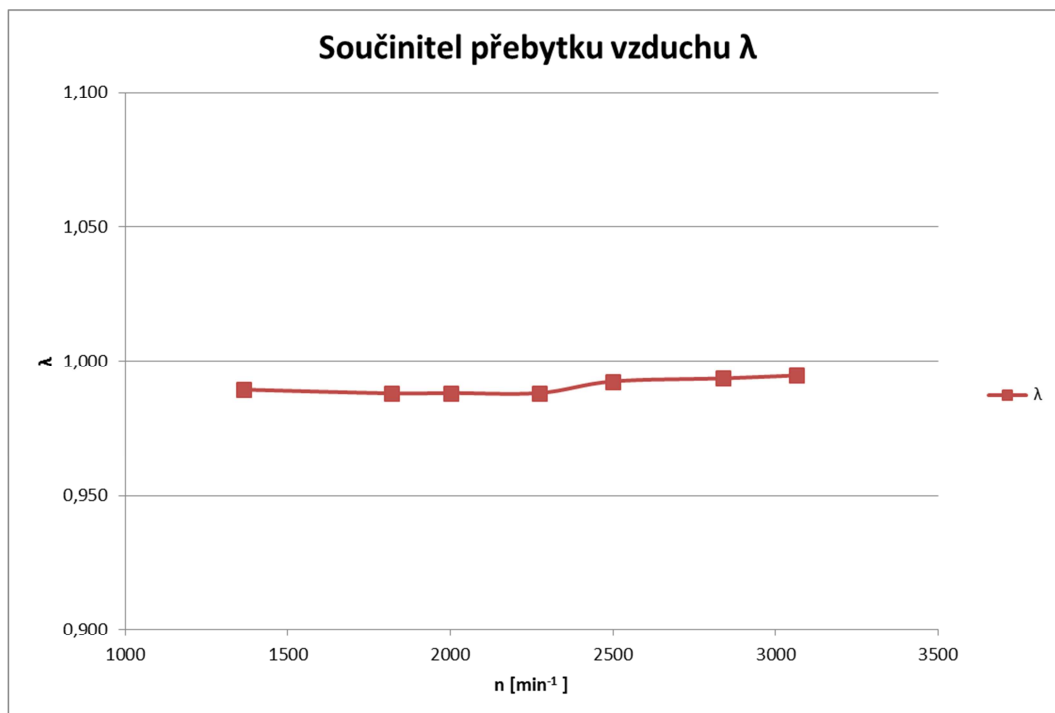


Obrázek 20 – Točivý moment závislý na otáčkách při různém otevření škrticí klapky



Obrázek 21 – Ztrátový výkon motoru závislý na otáčkách

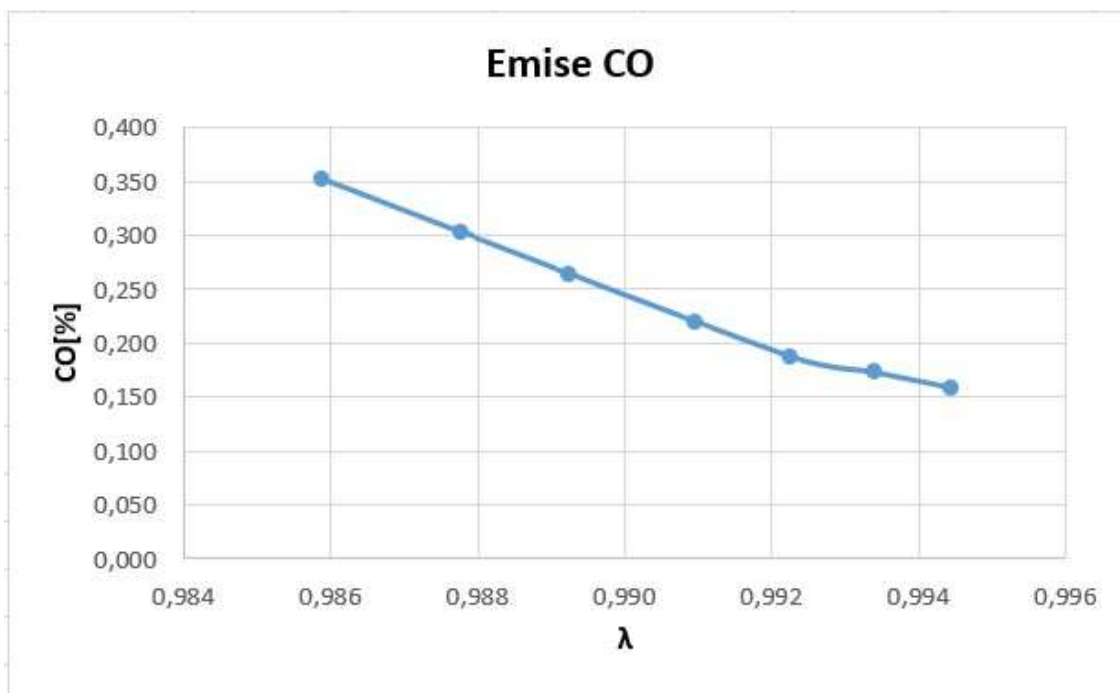
V grafu na obrázku 21 je znázorněn průběh ztrátového výkonu, z jehož průběhu je patrné, že ztrátový výkon se zvyšuje úměrně s otáčkami motoru a jeho maximum je dosaženo v místech dosažení maximálního výkonu motoru.



Obrázek 22 – Součinitel přebytku vzduchu λ závislý na otáčkách

V grafu na obrázku 22 je patrná závislost součinitele přebytku vzduchu λ na otáčkách motoru, přičemž v nižším spektru otáček je patrná odchylka od stechiometrického poměru $\lambda=1$, jenž je optimální pro udržení vhodných parametrů emisí motoru. V nižších otáčkách motoru je tedy dosahováno spíše bohaté směsi $\lambda<1$ v níž je nižší obsah kyslíku. Naopak se vzrůstajícími otáčkami se hodnota λ blíží, 1 což v konečném důsledku vede ke zvýšení účinnosti katalyzátoru a snížení množství emisí škodlivých výfukových plynů. Současně ale dochází k ohrožení motoru vlivem vysokých teplot a samozřejmě vede ke zvýšení koncentrace NOx ve spalinách.

V porovnání s grafem na obrázku 18 je také patrné, že oblast, v níž motor dosahuje stechiometrického poměru $\lambda=1$ a dochází tedy ke snížení škodlivých emisí motoru se prolíná částečně se stabilní oblastí motoru, v níž motor dosahuje nejlepší ekonomiky provozu.



Obrázek 23 – *Emise CO závislé na součiniteli přebytku vzduchu λ*

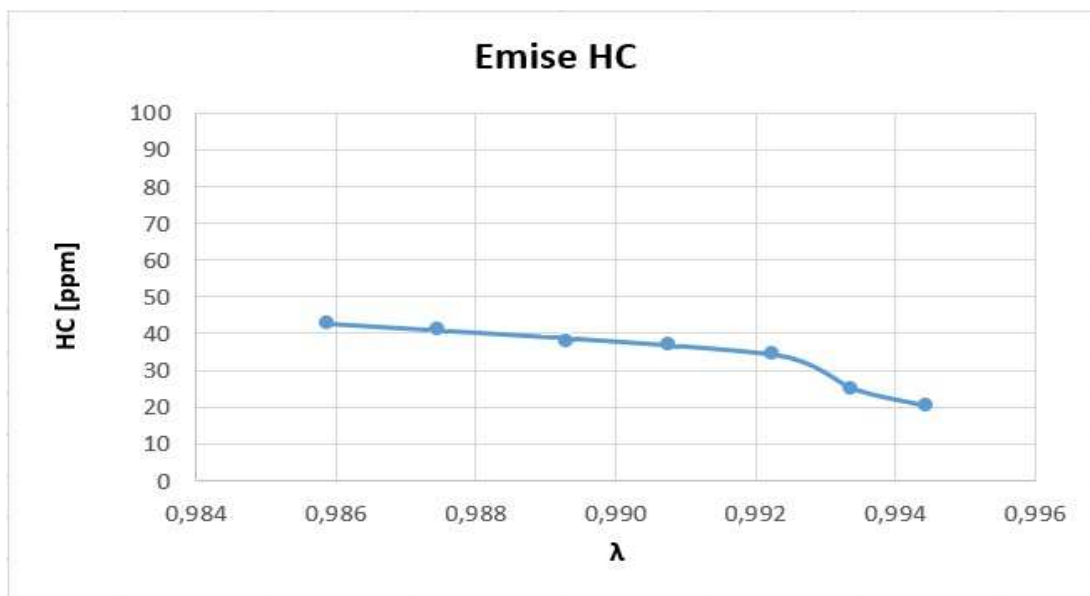
V grafu na obrázku 23 je znázorněn průběh tvorby emisí oxidu uhelnatého CO v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu λ . Z uvedeného grafu je patrné, že se zvyšujícím se součinitelem přebytku vzduchu λ dochází k rovnoměrnému snižování emisí oxidu uhelnatého CO a v oblasti blížící se stechiometrickému poměru $\lambda=1$ je nejnižší podíl emisí oxidu uhelnatého CO.

Komparace výsledků této práce s ostatními autory, potvrzuje obdobné závislosti konečných koncentrací CO na součiniteli přebytku vzduchu λ . Tuto skutečnost ve svých výsledcích potvrzuje také autor SARBJOT SINGH SANDHU, který uvádí, že emise oxidu uhelnatého dosáhly během měření svých maxim v oblastech bohaté směsi účinkem nedokonalého spalování směsi. Se zvyšujícím se přebytkem vzduchu a zvyšující se teplotou následně dochází k dokonalejšímu spálení směsi a tudíž ke snížení množství emisí oxidu uhelnatého CO. Nejnižšího množství těchto emisí autor dosáhl v oblasti $\lambda=0,82$ [16].

Tuto příčinu vzniku oxidu uhelnatého lze také popsat jako hmotově bilanční, jak uvádí Hromádka. „*Prioritní příčinou vzniku oxidu uhelnatého CO ve spalínách je nedostatek kyslíku ve spalované směsi. Globální nebo lokální nedostatek kyslíku lze pak označit za hmotově – bilanční příčinu vzniku CO* [2].“

Graf na obrázku 24 dále znázorňuje závislost další složky sledovaných emisí motoru využívajícího paliva ve formě stlačeného zemního plynu a to nespálených uhlovodíků HC na součiniteli přebytku vzduchu λ . Emise nespálených uhlovodíků HC jsou jako v případě oxidu uhelnatého CO ovlivněny množstvím vzduchu tvořícím směšovací poměr, přičemž se směšovacím poměrem blížícím se stechiometrickému poměru dochází ke snížení vzniku nespálených uhlovodíků HC tak, jak uvádí Gscheidle a kol. *„Stejně jako u emisí CO stoupá hodnota HC v oblasti bohaté směsi s klesající hodnotou λ . Důvodem je přebytek paliva a neúplné spalování a tím i zvýšená hodnota nespálených a částečně spálených uhlovodíků [12].“* Tuto příčinu vzniku nespálených uhlovodíků HC je možné popsat jako hmotově – bilanční, reakčně kinetickou příčinu. Tuto skutečnost potvrzuje Takáts. *„V otázce příčin emisí nespálených uhlovodíků, které jsou rovněž produktem nedokonalého průběhu oxidační reakce (resp. totální absence průběhu této reakce) platí analogicky úvahy, odvozené v popisu mechanismů emise CO s jistými odchylkami. Mechanizmy hmotově - bilanční a reakčně - kinetické jsou srovnatelně účinné. Prakticky to znamená, že emise uhlovodíků při spalování extrémně chudé směsi (s nízkou reakční rychlosti) je (co do množství emitované složky) srovnatelná s emisí uhlovodíků při spalování bohaté směsi. Zvýrazňuje se vliv oblastí s nízkou teplotou hoření (v blízkosti stěn, úzké štěrbin) a v souvislosti s emisí uhlovodíků se pro tyto oblasti používá někdy název zhášecí zóny [14].“*

Na základě komparace výsledků potvrzuje závislost vzniku nespálených uhlovodíků HC ve svých výsledcích také mimo jiného kolektiv autorů J. B. Li, J. G. Liu & B. W. Zou, kteří ve svých výsledcích potvrzují závislost vzniku emisí nespálených uhlovodíků na množství přebytečného vzduchu λ , přičemž nejvyšších hodnot emisí nespálených uhlovodíků HC bylo během jejich měření dosaženo při $\lambda=0,84$ a minimálního množství při $\lambda=0,96$ [15].



Obrázek 24 – Emise HC závislé na součiniteli přebytku vzduchu λ

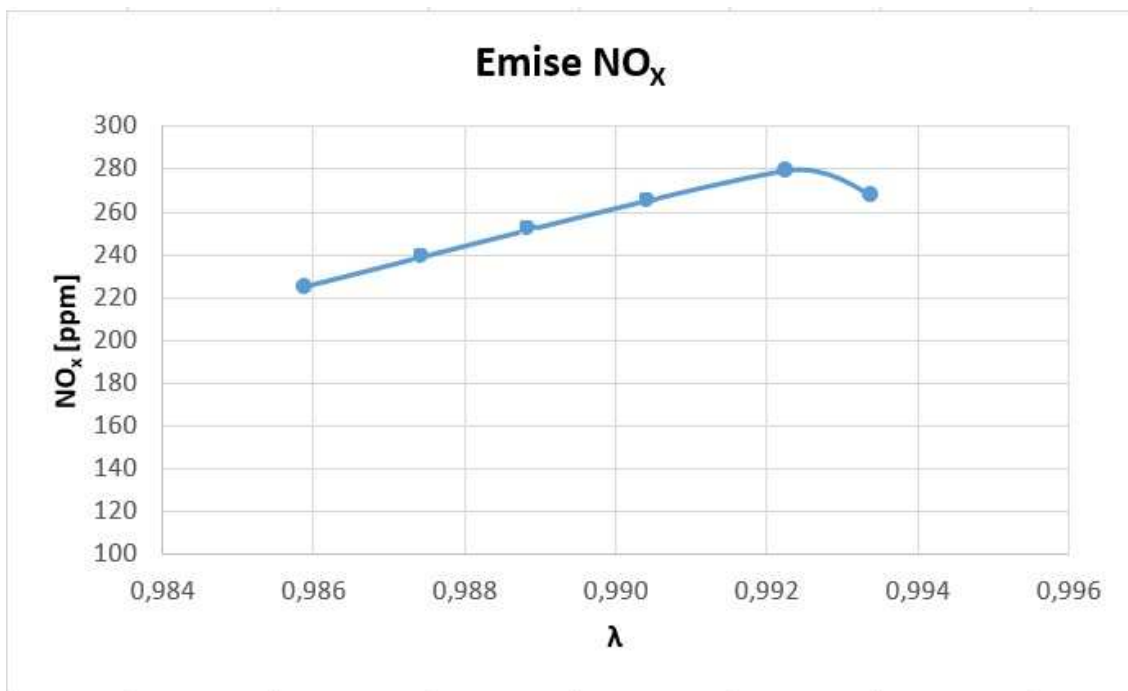
Z grafu na obrázku 25 znázorňujícího závislost oxidů dusíků NO_x na součiniteli přebytku vzduchu λ je patrná skutečnost, že stechiometrický směšovací poměr vzduchu a paliva $\lambda=1$ se neprojevuje pozitivně na všech složkách emisí výfukových plynů. V případě emisí oxidu dusíku NO_x je patrné, že nižší obsah těchto emisí je naopak v případě bohaté směsi, kdy je součinitel přebytku vzduchu $\lambda < 1$. S rostoucím součinitelem přebytku vzduchu λ tak stoupá také množství emisí oxidů dusíku NO_x oproti emisím nespálených uhlovodíků HC a oxidu uhelnatému CO u nichž byla situace opačná. V oblasti se zvyšující se koncentrací kyslíku tak dochází ke zvýšení teplot, které podporují vznik emisí oxidů dusíku NO_x .

Tuto skutečnost potvrzuje Zeldovičův mechanismu, který popisuje produkci emisí NO_x jako funkci teploty. Produkce oxidů dusíku NO_x je dle Zeldovičova mechanismu dána vztahem [13]:

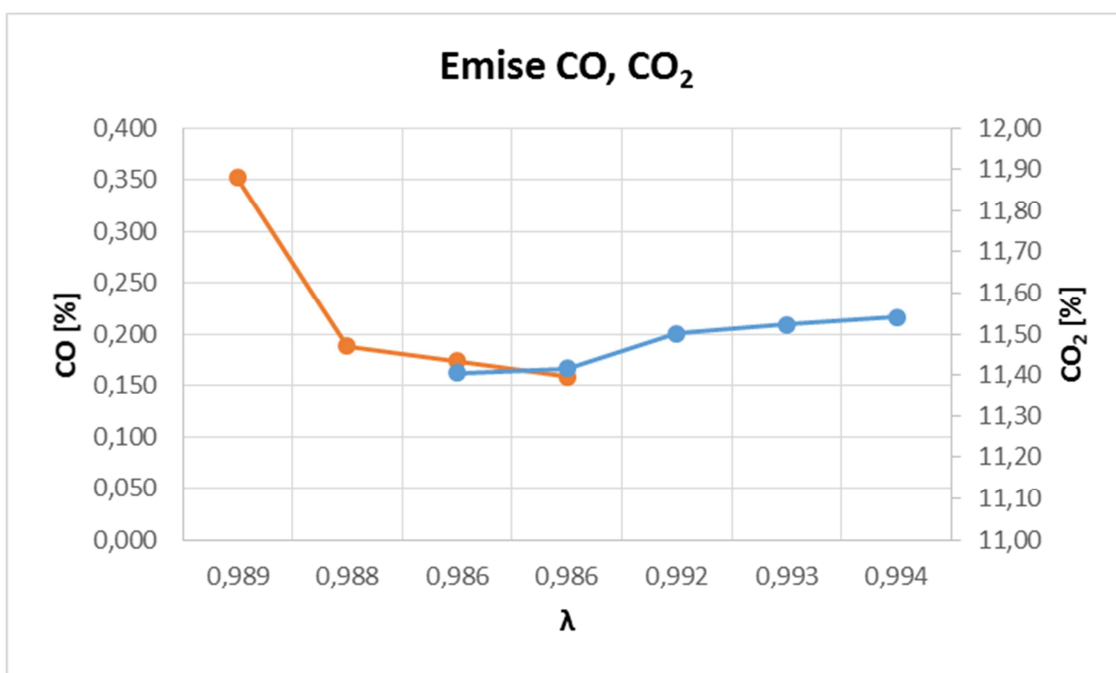
$$[NO] = k_1 \cdot e^{-k_2/T} \cdot [N_2] \cdot [O_2]^{0,5} \cdot t \quad (6)$$

kde:

- k_1 a k_2 – konstanty
- T – absolutní teplota v [K]
- t – doba styku [s]
- $k_1 = 5,74 \cdot 10^{14}$



Obrázek 25 – Emise NO_x závislé na součiniteli přebytku vzduchu λ



Obrázek 26 – Emise CO a CO₂ závislé na součiniteli přebytku vzduchu λ

Graf na obrázku 26 znázorňuje závislost již dříve popsaného oxidu uhelnatého CO na součiniteli přebytku vzduchu λ nyní doplněnu o závislost oxidu uhličitého CO₂ také na součiniteli přebytku vzduchu λ . Z uvedeného grafu je patrné, že se zvyšujícím se součinitelem přebytku vzduchu λ dochází k rovnoměrnému snižování emisí oxidu uhelnatého CO a v oblasti blížící se stechiometrickému poměru $\lambda=1$ je nejnížší podíl emisí oxidu uhelnatého CO.

Naproti tomu se zvyšující se účinností katalytického systému dosahované právě v oblasti, v níž se součinitel přebytku vzduchu blíží $\lambda=1$ což potvrzuje Hlavňa a kol. *„Pro zabezpečení funkčnosti třicestného katalyzátoru v zážehovém motoru je potřebné regulovat součinitel přebytku vzduchu λ na hodnoty v úzkém intervalu okolo 1 [1].“* dochází k neutralizaci zmiňovaného oxidu uhelnatého CO, ale následně k uvolňování vedlejší složky výfukových plynů nejedovatého oxidu uhličitého CO₂. K jeho tvorbě dochází při redukci ostatních složek výfukových plynů, přičemž se zvyšující se hodnotou λ směrem k $\lambda=1$ dochází k jeho dalšímu zvyšování až na hodnotu 11,54%. Tuto skutečnost potvrzuje Hlavňa a kol *„Hodnota CO₂ slouží společně s CO a HC k posouzení funkčnosti katalyzátoru. Při stechiometrickém směšovací poměru je hodnota CO₂ maximální dosahuje hodnoty cca 14,7 % [1].“*

6 ZÁVĚR

S rostoucími požadavky kladenými na paliva pro pístové spalovací motory a snižujícími se zásobami světových nalezišť ropy, se stává otázka náhrady konvenčních paliv stále častěji diskutovaným tématem. Zpřísňující se podmínky na složení emisí výfukových plynů představují dle mého názoru jeden z rozhodujících faktorů, které budou mít v budoucnosti zásadní vliv na uplatnění alternativních paliv v širším měřítku a to jak po stránce technické tak především ekonomické. Důraz kladený na snižování parametrů emisí výfukových plynů je patrný především v aglomeracích s vysokou koncentrací obyvatel a tomu odpovídajícímu počtu provozovaných automobilů.

V tomto ohledu spatřuji výhody paliva ve formě stlačeného zemního plynu CNG především u užitkových vozidel pohybujících se v centrech těchto aglomerací kde nízké množství celkových sledovaných emisí výfukových plynů představuje rozhodující faktor pro jejich pohyb a není tak po stránce emisní zátěže ovlivněn jejich vjezd. S ohledem na skutečnost, že v současnosti jsou tato vozidla provozována především na palivo ve formě motorové nafty se domnívám, že důležitým emisním parametrem mimo ostatních sledovaných parametrů je obsah pevných částic, jejichž zpřísňující se limity nebudou schopny vznětové motory v budoucnosti spolehlivě plnit. Oproti tomu v případě zážehových motorů využívajících paliva ve formě stlačeného zemního plynu obsah emisí pevných částic neuvažujeme vůbec.

Jak je patrné z výsledků měření emisních parametrů, lze sledovat ve výsledných vzájemných závislostech emisních složek shodu s pracemi autorů (J. B. Li, J. G. Liu & B. W. Zou) či (SANDHU) přičemž celkové parametry mého měření potvrzují nižší obsah emisí oproti motorům spalujícím palivo ve formě automobilového benzínu. Rozdíl výsledných koncentrací složek emisí s parametry naměřenými ostatními autory shledávám v odlišnosti regulačních systémů a metodice zkoušení. V případě méj diplomové práce jsem měření provedl na válcovém dynamometru, zatímco práce ostatních autorů vznikly za exaktních laboratorních podmínek na motorovém dynamometru. Jedná se tedy o jistý nesoulad metodik měření, nicméně jsem přesvědčen, že s ohledem na skutečnost, že nepřesnost či nejistota měření je významně vyšší u válcového dynamometru, jsou výsledky mého měření relevantnější ve vztahu k reálnému provozu vozidla. Dále se zcela zásadně a kriticky stavím k užitým metodikám dle EHK R83, neboť charakter jízdního testu, zejména s přihlédnutím k provozu daného

typu vozidla - furgon, je dle mého názoru naprosto nevyhovující a nezahrnuje skutečné dynamické režimy motoru, kde jak je obecně známo vznikají hrubé časové fluktuace v regulačním systému motoru. Tato skutečnost představuje významné zvýšení téměř všech složek škodlivých polutantů.

Po ekonomické stránce spatřuji v případě stlačeného zemního plynu CNG pozitivum v podobě oproštění od povinnosti úhrady silniční daně či nízkého zatížení cen paliva spotřební daní. Je však otázkou, jakým směrem se bude zvýhodnění tohoto alternativního paliva vyvíjet po jeho výraznějším rozšíření. Faktorem, jenž ovlivňuje rozšíření jakéhokoliv alternativního paliva kromě ekonomiky daného státu, je především dostatečná síť čerpacích stanic, přičemž v rámci České republiky a dalších států Evropské unie je v současné době znatelné zvýšení celkového počtu uvedených čerpacích stanic a tedy i potvrzující se zvyšující zájem veřejnosti o vozidla využívající toto palivo.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Literární zdroje:

- [1] HLAVŇA V., KUKUČA P., ISTENÍK R., LABUDA R., LIŠČÁK Š., *Dopravný prostriedok-jeho motor*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2000. 442 s. ISBN 80-7100-665-3.
- [2] HROMÁDKO J., *Spalovací motory*. 1. vyd. Praha: Grada , 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [3] ROUBÍČEK, V., RÁBL, V. *Technologie ropy. Alternativní paliva*. Ostrava: VŠB-Technická Univerzita Ostrava, 2000. 268 s. ISBN 80-7078-690-6.
- [4] TAKÁTS, M., *Měření emisí spalovacích motorů*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997. 111 s. ISBN 80-01-01632-3.
- [5] MACEK, J., *Spalovací motory*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2012. 262 s. ISBN 978-80-01-05015-6.
- [6] JAN Z., ŽDÁNSKÝ B., *Automobily 3 Motoroy*. 3. vyd. Brno: Nakladatelství Avid s.r.o. Brno, 2004. 165s.
- [7] FERENC B., *Spalovací motory, karburátory a vstříkávání paliva*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství a nakladačství Computer Press, 2004. 388s. ISBN 80-251-0207-6
- [8] TRNKA J., URBAN T., *Spalovacie motory*. Bratislava: Alfa Vydavateľstvo ekonomickej a technickej literatúry, 1992.
- [9] VLK F., *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.

- [10] VLK F., *Automobilová technická příručka*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. 791 s. ISBN 80-238-9681-4.
- [11] VLK F., *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 376 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [12] GSCHEIDLE R., *Příručka pro automechanika*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství nakladatelství Sobotáles Praha, 2002. 637 s. ISBN: 978-80-86706-17-7.
- [13] ZELDOVICH Y.B., *Acta Physicochim. U.S.S.R.*, 1946; 21:577
- [14] TAKÁTS M., *Měření emisí spalovacích motorů*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. 111 s. ISBN: 80-01-01632-3

Internetové zdroje:

- [15] J. B. LI, J. G. LIU & B. W. ZOU, *Effects of a three – stage split injection on Hydrocarbon (HC) emissions of a CNG engine during hot start in the stratified mode*. In *Environment, Energy and Applied Technology*. Wen-Pei Sung, Jimmy C.M. Kao. [online]. 2015 [cit. 15. února 2015]. Dostupné na: <<http://www.crcpress.com/product/isbn/9781138026919>>
- [16] SARBJOT SINGH SANDHU, *Improvement in Performance and Emission Characteristics of a Single Cylinder S.I. Engine Operated on Blends of CNG and Hydrogen*. [online] 2015 [cit. 2. března 2015]. Dostupné na: <<http://waset.org/Publications/improvement-in-performance-and-emission-characteristics-of-a-single-cylinder-s.i.-engine-operated-on-blends-of-cng-and-hydrogen/16376>>

- [17] KITTEL H., *Alternativní motorová paliva*. [online]. 2015 [cit. 10. ledna 2015] Dostupné na: <<http://old.cappo.cz/veletrh2003/kittel.html>>
- [18] ANONYM, *Ethanol E85*. [online]. 2015 [cit. 14. ledna 2015] Dostupné na: <<http://www.ethanolshop.cz/content/7-o-ethanolu>>
- [19] CZECHINVEST, *Česká vodíková technologická platforma - Implementační akční plán*. [online]. 2015 [cit. 20. února 2015] Dostupné na: <<http://www.czechinvest.org/ceska-vodikova-technologicka-platforma>>
- [20] JANÍK, L., *Jak se vyrábí palivo budoucnosti. Palivo pro auta i elektroniku*. [online]. 2015 [cit. 5. února 2015] Dostupné na: <http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-/tec_technika.aspx?c=A080127_234744_tec_technika_vse>
- [21] FIAT ČR, *Fiat LPG* [online]. 2015 [cit. 10. února 2015] Dostupné na: <<http://www.fiat.cz/lpg/vse-o-lpg/co-je-lpg/>>
- [22] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, *Statistika čerpacích stanic pohonných hmot* [online]. 2015 [cit. 10. února 2015] Dostupné na: <<http://www.mpo.cz/cz/energetika-a-suroviny/statistiky-energetika/#category130>>
- [23] J.K., *CNG a LPG zvyšuje podíl, stát je možná více zdaní* [online]. 2015 [cit. 10. březen 2015] Dostupné na: <<http://www.petrol.cz/aktuality/cng-a-lpg-zvysuje-podil-stat-je-mozna-vice-zdani-4857.aspx>>
- [24] FEDOR AUTO, *Ceník přestaveb vozidel na LPG* [online]. 2015 [cit. 10. březen 2015] Dostupné na: <<http://www.fedorauto.cz/cenik-prestavby-lpg>>
- [25] RWE, *Vše o CNG* [online]. 2015 [cit. 12. březen 2015] Dostupné na: <<http://www.cng.cz/cs/vse-o-cng/>>

- [26] CNG 4 YOU, *CNG info* [online]. 2015 [cit. 12. březen 2015] Dostupné na:
< <http://www.cng4you.cz/>>
- [27] ELPIGAS, *Přestavba CNG* [online]. 2015 [cit. 15. březen 2015] Dostupné na:
< <http://www.elpigas.cz/prestavba-lpg-cng/prestavba-cng>>
- [28] ČUPERA J., ŠMERDA T., NOVÁK P., *Provoz traktorového motoru na CNG nebo bioplyn*. [online]. 2015 [cit. 20. březen 2015] Dostupné na:
< <http://www.elpigas.cz/prestavba-lpg-cng/prestavba-cng>>
- [29] ČUPERA J., *Konstrukční řešení vozidlového dynamometru 4VDM-E120-D*. [online]. 2015 [cit. 20. březen 2015] Dostupné na:
<<http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/konstdyn.htm>>
- [30] ČUPERA J., *Emisní systémová analýza*. [online]. 2015 [cit. 20. březen 2015] Dostupné na: < <http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/esa.htm> >
- [31] EVROPSKÝ PARLAMENT., [online]. 2015 [cit. 25. březen 2015] Dostupné na:
< <http://www.europarl.europa.eu> >
- [32] ENVIKOGIKA, [online]. 2015 [cit. 20. březen 2015] Dostupné na:
< <http://www.envigogika.cuni.cz/index.php/Envigogika/article/view/356/360> >
- [33] PETROLEUM, [online]. 2015 [cit. 20. březen 2015] Dostupné na:
< <http://www.petroleum.cz/vyrobky/benzin-vlastnosti.aspx> >
- [34] PETROLEUM, [online]. 2015 [cit. 20. březen 2015] Dostupné na:
< <http://www.petroleum.cz/vyrobky/nafta-vlastnosti.aspx> >
- [35] JIHOČESKÁ UNIVERZITA AGRNOMICKÁ FAKULTA, [online]. 2015 [cit. 20. březen 2015] Dostupné na:
< http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/4/energie_biomasy.html >

- [36] VÍTEJTE NA ZEMI, [online]. 2015 [cit. 20. březen 2015] Dostupné na:
<<http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=index&site=default>>
- [37] AUTA5P, [online]. 2015 [cit. 22. březen 2015] Dostupné na:
<<http://auta5p.eu/clanky/cng/cng.php>>
- [38] CNGPLUS, [online]. 2015 [cit. 25. březen 2015] Dostupné na:
<<http://www.cngplus.cz/lng-vs-cng.html>>
- [39] IVECOHK, [online]. 2015 [cit. 25. březen 2015] Dostupné na:
<<http://www.ivecohk.cz/daily-furgony>>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - <i>Produkce a nově objevená naleziště ropy v letech</i>	9
Obrázek 2 - <i>Schéma výroby automobilového benzínu</i>	14
Obrázek 3 - <i>Schéma výroby motorové nafty</i>	15
Obrázek 4 - <i>Schéma výroby bionafty</i>	17
Obrázek 5 - <i>Technologie parního reformingu zemního plynu</i>	23
Obrázek 6 - <i>Schéma systému vstřikování plynného paliva-seriový systém pro vozidla vybavená systémem palubní diagnostiky EOBD a OBD II</i>	29
Obrázek 7 - <i>Síť čerpacích stanic CNG v ČR</i>	32
Obrázek 8 - <i>Srovnání emisních parametrů zemní plyn/motorová nafta; zemní plyn/automobilový benzin</i>	34
Obrázek 9 - <i>Schéma palivového systému CNG</i>	35
Obrázek 10 - <i>Schéma bivalentního systému vstřikování plynného i kapalného paliva</i> ..	37
Obrázek 11 - <i>Tlaková nádrž LNG</i>	38
Obrázek 12 - <i>Vozidlový dynamometr 4VDM E120-D</i>	41
Obrázek 13 - <i>Schéma elektrických stejnosměrných dynamometrů typu SDS 225 5604 s válcovými jednotkami</i>	42
Obrázek 14 - <i>Vozidlová zkušebna Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity v Brně</i>	44
Obrázek 15 - <i>Softwarové prostředí ovládání systému vzduchotechniky</i>	45
Obrázek 16 - <i>Emisní systémová analýza BOSCH ESA</i>	46
Obrázek 17 – <i>Výkon a točivý moment v závislosti na otáčkách</i>	53
Obrázek 18 – <i>Výkon závislý na otáčkách při různém otevření škrticí klapky</i>	55
Obrázek 19 – <i>Točivý moment závislý na otáčkách při různém otevření škrticí klapky</i> ..	56
Obrázek 20 – <i>Ztrátový výkon motoru závislý na otáčkách</i>	56
Obrázek 21 – <i>Součinitel přebytku vzduchu λ závislý na otáčkách</i>	57
Obrázek 22 – <i>Emise CO závislé na součiniteli přebytku vzduchu λ</i>	58
Obrázek 23 – <i>Emise HC závislé na součiniteli přebytku vzduchu λ</i>	60
Obrázek 24 – <i>Emise NOx závislé na součiniteli přebytku vzduchu λ</i>	61
Obrázek 25 – <i>Emise CO a CO2 závislé na součiniteli přebytku vzduchu λ</i>	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - <i>Provozní náklady vozidla CNG</i>	33
Tabulka 2 - <i>Parametry motoru Iveco Daily 35S14 GV</i>	40
Tabulka 3 - <i>Parametry převodového ústrojí Iveco Daily 35S14 GV</i>	40
Tabulka 4 - <i>Parametry vozidlového dynamometru 4VDM E120-D</i>	43
Tabulka 5 - <i>Parametry systémové emisní analýzy Bosch ESA</i>	47
Tabulka 6 - <i>Atmosférické podmínky během měření</i>	51
Tabulka 7 - <i>Naměřené hodnoty během 100% otevření škrtkící klapky</i>	52
Tabulka 8 - <i>Naměřené hodnoty během 75% otevření škrtkící klapky</i>	52
Tabulka 9 - <i>Naměřené hodnoty během 50% otevření škrtkící klapky</i>	52
Tabulka 10 - <i>Parametry ztrátového výkonu</i>	53