



Dvoupalivové plynové vznětové motory

Diplomová práce

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

N0716A270006 Automobilové inženýrství

Bc. David Bechyně

doc. Ing. Josef Laurin, CSc.

Katedra vozidel a motorů





Zadání diplomové práce

Dvoupalivové plynové vznětové motory

Jméno a příjmení: **Bc. David Bechyně**
Osobní číslo: S20000233
Studijní program: N0716A270006 Automobilové inženýrství
Zadávací katedra: Katedra vozidel a motorů
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Vyhotovte rešerši současného uplatnění dvoupalivových motorů LPG/nafta a zemní plyn/nafta určených k pohonu nákladních vozidel o užitečné hmotnosti nad 3,5 t a autobusů.
2. S pomocí pracovníků ústavu vozidel CxI zprovozněte funkční vzorek dvoupalivového motoru zemní plyn/nafta CUMMINS ISBe4 a proveďte experimentální výzkum jeho provozních parametrů jednak při chodu na naftu, jednak při chodu na paliva zemní plyn/nafta.
3. Vyhodnoťte a kriticky zhodnoťte výsledky experimentálních prací zejména průběhů tlaků ve válci motoru, spotřeby paliv, teplot výfukových plynů a obsahu škodlivých emisí a oxidu uhličitého ve výfukových plynech.
4. Výsledky porovnejte s obdobnými výsledky dřívějších experimentů provedených na funkčním vzorku dvoupalivového motoru CUMMINS ISBe4 s palivy LPG/nafta uvedenými v publikaci [2]
5. S přihlédnutím k požadavkům Evropské unie týkajícím se snižování emisí oxidu uhličitého v evropských zemích do roku 2050 uveďte svoji představu o budoucích možnostech uplatnění dvoupalivových plynových motorů k pohonu nákladních vozidel o užitečné hmotnosti nad 3,5 t a autobusů.

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

cca 50 str.
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] AC SA, Białystok, Poland. Dostupné z: <https://www.ac.com.pl/en-services-zone>
- [2] Beroun, S., Brabec, P., Dittrich, A. a spol. *Vozidlový plynový duální motor se vstřikováním .kapalného LPG do sacího potrubí*. (Funkční vzorek). Technická univerzita v Liberci Fakulta strojní. Liberec 2017.
- [3] Phu, D.N., Laurin, J., Tuan, T. N. *Combustion of Natural Gas in Engines for Heavy-Duty Vehicles*, 51th International Scientific Conference of Czech and Slovak University
- [4] Departments and Institutions Dealing with the Research of Internal Combustion Engines, Praha, ČVUT, Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, 2020. ISBN: 978-80-01-06744-4.
- [5] Peters, R., Breuer J. L., Decker, M a spol. *Future Power Train Solutions for Long-Haul Trucks Sustainability* 2021, 13(4), 2225; Dostupné na <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/2225/htm>
- [6] Chen, H., He, J. , Zhong, X. *Engine combustion and emission fuelled with natural gas: A review*. Journal of the Energy Institute 92 (2019) 1123e1136.
- [7] Evropská komise. *Sdělení komise evropskému parlamentu, radě, evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů: Zvýšení cílů Evropy v oblasti klimatu do roku 2030* Brusel 17.9.2020 COM (2020) 562 final.
- [8] Ministerstvo průmyslu ČR, Ministerstvo životního prostředí, Ministerstvo dopravy ČR. *Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility (NAP CM) 2019*.
- [9] Hospodářská komora České republiky. *Dopravní politika České republiky pro období 2021- 2027 s výhledem do roku 2050*.

Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Laurin, CSc.
Katedra vozidel a motorů

Datum zadání práce: 15. listopadu 2020
Předpokládaný termín odevzdání: 30. května 2022

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

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

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

16. května 2022

Bc. David Bechyně

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Josefu Laurinovi, CSc. za odborné vedení diplomové práce, za jeho trpělivost, přínosné rady a konzultace. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům laboratoře katedry vozidel a motorů TUL za odborné rady a pomoc při provádění experimentu. A nakonec bych chtěl poděkovat svým přátelům a rodině za pomoc a psychickou podporu.

Dvoupalivové plynové vznětové motory

Anotace

Diplomová práce se zabývá především problematikou plynových vznětových motorů s pohonem na zemní plyn a naftu a zkapalněný ropný plyn a naftu, jejich uplatnění na trhu a analýzou plynových alternativních paliv. Dále se zabývá samotnou přestavbou vznětového motoru a zprovozněním zkušebního stanoviště pro provedení NRTC a WHTC emisních testů a měřením některých parametrů přestavěného dvoupalivového motoru.

Klíčová slova: zemní plyn, zkapalněný ropný plyn, dvoupalivový motor, nákladní vozidlo, autobus

Dual-fuel gas diesel engines

Annotation

The diploma thesis deals mainly with the issue of gas diesel engines powered by natural gas and diesel and liquified petroleum gas and diesel, their application in the market and analysis of gas alternative fuels. I also deal with a specific reconstruction of a diesel engine and the commissioning of a test station for performing NRTC and WHTC emission tests and measuring some parameters of a rebuilt dual-fuel engine.

Keywords: natural gas, liquified petroleum gas, dual fuel engine, truck, bus

Obsah

ÚVOD	15
1 CÍLE PRÁCE	16
2 PLYNOVÉ MOTORY	17
2.1 ZÁŽEHOVÉ MOTORY NA ZEMNÍ PLYN.....	18
2.2 DVOUPALIVOVÉ MOTORY (ZEMNÍ PLYN / NAFTA)	19
2.3 DVOUPALIVOVÉ MOTORY (LPG / NAFTA).....	21
3 UPLATNĚNÍ PLYNOVÝCH MOTORŮ V NÁKLADNÍ A AUTOBUSOVÉ DOPRAVĚ	23
3.1 ALTERNATIVNÍ PLYNNÁ PALIVA POUŽÍVANÁ VE SPALOVACÍCH MOTORECH NÁKLADNÍCH VOZIDEL NAD 3,5 T A AUTOBUSŮ	23
3.1.1 <i>Zemní plyn</i>	24
3.1.2 <i>Bioplyn</i>	25
3.1.3 <i>Zkapalněný ropný plyn LPG</i>	26
3.1.4 <i>Vodík</i>	26
3.2 SOUČASNÍ VÝROBCI NÁKLADNÍCH A AUTOBUSOVÝCH VOZIDEL S PLYNOVÝMI MOTORY	28
3.2.1 <i>IVECO</i>	29
3.2.2 <i>MAN</i>	34
3.2.3 <i>Mercedes-Benz</i>	36
3.2.4 <i>Renault Trucks</i>	39
3.2.5 <i>SCANIA</i>	41
3.2.6 <i>Volvo</i>	45
4 FUNKČNÍ VZOREK DVOUPALIVOVÉHO MOTORU CUMMINS ISBE4 NA ZEMNÍ PLYN A NAFTU	48
4.1 USPOŘÁDÁNÍ PLYNOVÉHO PALIVOVÉHO SYSTÉMU	50
4.1.1 <i>Tlakový regulátor plynu</i>	51
4.1.2 <i>Vefukovací lišta plynu</i>	52
4.1.3 <i>Směšovač</i>	52
4.1.4 <i>Plynová řídicí jednotka</i>	54
4.2 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE A ZAŘÍZENÍ	56
4.2.1 <i>Dynamometr D-MPO Z1710665.001</i>	56

4.2.2	HORIBA MEXA-ONE D1 EGR.....	56
4.2.3	HORIBA PTFM-1000.....	57
4.2.4	Sierra Instruments Mass Flow Meter/620	57
4.2.5	Micro Motion Elite CMF 010 a Coriolis Flow Meter/CMF010	58
4.2.6	Opacimetr AVL 439.....	59
4.2.7	AVL X-ion/AVL Indimeter 619k.....	59
4.2.8	Spectrometer TSI 3090 EEPS.....	59
4.2.9	HORIBA MDLT-ONE.....	60
4.2.10	HORIBA MEXA 2200SPCS	61
4.3	POSTUP MĚŘENÍ.....	63
4.4	VÝSLEDKY MĚŘENÍ A POROVNÁNÍ S DŘÍVĚJŠÍM PROVOZEM MOTORU NA LPG A NAFTU	63
4.4.1	Režim 1500 1/min	64
4.4.2	Režim 1900 1/min	67
4.4.3	Režim 2300 1/min	70

5 MOŽNOSTI BUDOUCÍHO UPLATNĚNÍ VZNĚTOVÝCH PLYNOVÝCH MOTORŮ..... 73

6 ZÁVĚR 74

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ..... 76

6.1	SEZNAM LITERÁRNÍCH ZDROJŮ	76
6.2	SEZNAM INTERNETOVÝCH ZDROJŮ	77

Seznam obrázků

Obrázek 1. Možnosti využití zemního plynu pro různá vozidla.....	17
Obrázek 2. Vnější charakteristika dvoupalivového motoru na zemní plyn a naftu.	20
Obrázek 3. Charakteristiky výkonu a točivého momentu na nastavení palivového systému LPG.....	22
Obrázek 4. Procesní řetězec paliv pro pohony vozidel.....	28
Obrázek 5. Nabídka plynových motorů IVECO S-Way.....	30
Obrázek 6. Vnější otáčková charakteristika motoru CURSOR 13 NP (zemní plyn) a CURSOR 13 (nafta).....	31
Obrázek 7. Motory modelové řady Eurocargo.....	31
Obrázek 8. Vnější otáčkové charakteristiky šestiválcového motoru na CNG Tector 6 a čtyřválcového naftového motoru Tector 5.	32
Obrázek 9. MAN TGM CNG, MAN Lion's City G.....	34
Obrázek 10. Vnější otáčkové charakteristiky motoru MAN D3876.....	35
Obrázek 11. Otáčkové charakteristiky plynového (M936 G) a naftového (OM 936) motoru.....	39
Obrázek 12. Otáčková charakteristika motoru NGT9 (CNG) a DTI 8 (nafta).	41
Obrázek 13. Charakteristika plynového 13 l motoru.....	42
Obrázek 14. Charakteristiky motorů Volvo.....	47
Obrázek 15. Funkční vzorek dvoupalivového motoru v laboratoři TUL 1.	49
Obrázek 16. Funkční vzorek dvoupalivového motoru v laboratoři TUL 2.	49
Obrázek 17. Blokové schéma plynového palivového příslušenství.....	50
Obrázek 18. Regulátor tlaku plynu.....	51
Obrázek 19. Vefukovací lišta typ STAG AC W02.....	52
Obrázek 20. Fotografie směšovače funkčního vzorku.....	53
Obrázek 21. Montážní schéma směšovače.	53
Obrázek 22. Řídící jednotka plynového systému STAG Diesel.....	54
Obrázek 23. Schéma elektrického zapojení plynového systému.....	55
Obrázek 24. Průtokoměr výfukových plynů HORIBA PTFM-1000.....	57
Obrázek 25. Schéma průtokoměru vzduchu Siera Instruments.....	58
Obrázek 26. Corioliov průtokoměr.....	58

Obrázek 27. Konstrukční schéma opacimetru.	59
Obrázek 28. Schema spectrometru TSI 3090 EEPS.	60
Obrázek 29. Princip měření pevných částic laserovým rozptylem.	61
Obrázek 30. Schéma zapojení měřících přístrojů a zařízení.	62
Obrázek 31. Graf spotřeby nafty v režimu 1500 1/min.	64
Obrázek 32. Graf spotřeby nafty v režimu 1500 1/min při dřívějším experimentu.	64
Obrázek 33. Graf tepelného příkonu a podílu CNG v režimu 1500 1/min.	65
Obrázek 34. Graf tepelného příkonu a podílu LPG v režimu 1500 1/min dřívějšího experimentu.	65
Obrázek 35. Graf teplot výfukových plynů v režimu 1500 1/min.	66
Obrázek 36. Graf teplot výfukových plynů v režimu 1500 1/min dřívějšího experimentu.	66
Obrázek 37. Graf spotřeby nafty v režimu 1900 1/min.	67
Obrázek 38. Graf spotřeby nafty v režimu 1900 1/min při dřívějším experimentu.	67
Obrázek 39. Graf tepelného příkonu a podílu LPG v režimu 1900 1/min.	68
Obrázek 40. Graf tepelného příkonu a podílu LPG v režimu 1900 1/min dřívějšího experimentu.	68
Obrázek 41. Graf teplot výfukových plynů v režimu 1900 1/min.	69
Obrázek 42. Graf teplot výfukových plynů v režimu 1900 1/min dřívějšího experimentu.	69
Obrázek 43. Graf spotřeby nafty v režimu 2300 1/min.	70
Obrázek 44. Graf spotřeby nafty v režimu 2300 1/min při dřívějším experimentu.	70
Obrázek 45. Graf tepelného příkonu a podílu LPG v režimu 2300 1/min.	71
Obrázek 46. Graf tepelného příkonu a podílu LPG v režimu 2300 1/min dřívějšího experimentu.	71
Obrázek 47. Graf teplot výfukových plynů v režimu 2300 1/min.	72
Obrázek 48. Graf teplot výfukových plynů v režimu 2300 1/min dřívějšího experimentu.	72

Seznam tabulek

Tabulka 1. Porovnání emisí zážehového plynového motoru se stechiometrickou a chudou směsí.....	19
Tabulka 2. Vlastnosti plyných automobilových paliv	23
Tabulka 3. Srovnání motorů Iveco E-way.	32
Tabulka 4. Přehled motorů modelové řady Crealis.....	33
Tabulka 5. Přehled motorů modelové řady Crossway.	33
Tabulka 6. Přehled motorů modelové řady Urbanway.	33
Tabulka 7. Srovnání motorů MAN pro nákladní vozidla.	35
Tabulka 8. Srovnání motorů MAN pro autobusy.	36
Tabulka 9. Srovnání motorů Mercedes-Benz pro nákladní vozidla.....	37
Tabulka 10. Srovnání motorů Mercedes-Benz pro autobusy.....	38
Tabulka 11. Srovnání motorů Renault Trucks.	40
Tabulka 12. Srovnání motorů nákladních vozidel Scania.....	43
Tabulka 13. Srovnání motorů autobusů Scania.	44
Tabulka 14. Srovnání motorů Volvo pro nákladní vozidla.....	46
Tabulka 15. Srovnání motorů Volvo pro autobusy.....	47
Tabulka 16. Parametry regulátoru tlaku plynu.....	51
Tabulka 17. Parametry dynamometru CHORCH GmbH.	56

Seznam použitých zkratek

ACEA	Evropská asociace výrobců automobilů
BEV	Battery Electric Vehicles
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicles
LNG	Liquefied Natural Gas
CNG	Compressed Natural Gas
EU	Evropská Unie
IAA	International Automobile Exhibition
SCR	Selektivní katalycká redukce
EGR	Recirkulace výfukových plynů
HVO	Hydrogenačně upravený rostlinný olej
RME	Metylestery řepkového oleje
FAME	Metylestery mastných kyselin
NRTC	Non-Road Transient Cycle
WHTC	World Harmonised Transient Cycle
EHK	Evropská Hospodářská Komise OSN
THC	Total Hydrocarbon Emissions

Seznam symbolů a jednotek

λ	Součinitel přebytku vzduchu	[-]
M_t	Točivý moment	[Nm]
RPM	Otáčky motoru	[1/min]
P	Výkon	[kW]
BHP	Výkon	[hp]
T	Teplota	[°C]
m_{pe}	Měrná spotřeba	[g/kWh]

Úvod

Nákladní a autobusová přeprava se řadí mezi nejrozšířenější typ přeprav a bohužel patří mezi největší znečišťovatele ovzduší v silniční dopravě. Vhodným způsobem, kterým lze snížit škodlivé skleníkové plyny produkované těmito vozidly, vyhovujícím stále se zvyšujícím požadavkům EU, by mohlo být využití dvoupalivových plynových vznětových motorů namísto naftových. Jako palivo dvoupalivových plynových vznětových motorů lze využít zkapalněný ropný plyn (LPG), zemní plyn (CNG/LNG), ale i biometan z obnovitelných zdrojů, na který se nevztahují emisní limity skleníkových plynů, a do budoucna možná i vodík. Spalování směsi zemního plynu s naftou má velký potenciál především kvůli jednoduchým konstrukčním úpravám motoru, kvůli úsporám provozních nákladů a snížení skleníkových plynů. V současné době se na evropském trhu vyskytuje několik výrobců nákladních vozidel a autobusů s plynovým pohonem CNG/LNG. Mezi nejvýznamnější výrobce se řadí například Volvo, Scania, Iveco a další. Plynové motory převážně vycházejí z konstrukce původních vznětových naftových motorů. Přestavbou vznikají plynové zážehové nebo dvoupalivové motory.

Provozní parametry plynového vznětového motoru se mohou v některých zátěžových režimech lišit od původního naftového provozu. Pro zkoumání těchto parametrů je cílem přestavět vznětový motor CUMMINS ISBe4 na dvoupalivový vznětový plynový motor na zemní plyn a naftu, a zprovoznit zkušební stanoviště s asynchronním dynamometrem pro možnost provedení NRTC a WHTC emisních testů.

1 Cíle práce

Hlavním cílem diplomové práce je přestavba vznětového motoru CUMMINS ISBe4 na funkční vzorek dvoupalivového motoru spalující zemní plyn a naftu. Dílčím cílem je zprovoznění zkušební stanoviště s funkčním vzorkem motoru a s elektrickým dynamometrem, umožňujícím provedení dynamických emisních testů v laboratoři vozidel a motorů Technické univerzity v Liberci. Vybavit zkušební stanoviště měřícím systémem s elektronickým sběrem dat všech standardních provozních veličin motoru a speciální měřicí technikou, jako jsou analyzátory výfukových plynů, průtokoměry vzduchu, průtokoměry paliv, průtokoměr výfukových plynů, přístroje k monitorování průběhu tlaku a analýze spalování ve válci motoru. Dalším z dílčích cílů je následná analýza a komparace naměřených parametrů s výsledky dřívějších experimentů provedených na funkčním vzorku dvoupalivového motoru CUMMINS ISBe4 s palivy LPG a naftou.

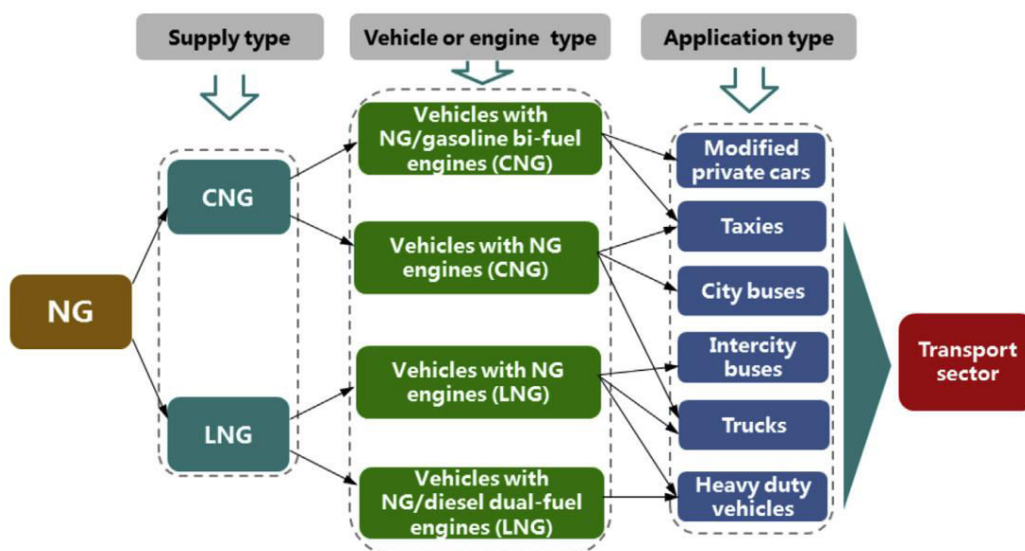
Vyhotovení literární rešerše o uplatnění dvoupalivových motorů k pohonu nákladních vozidel a autobusů nad 3,5 t, stručný popis o průběhu spalování zemního plynu s naftou a uvedení své představy o budoucích možnostech uplatnění dvoupalivových plynových motorů na zemní plyn/naftu s přihlédnutím k požadavkům EU, týkajících se snižování emisí oxidu uhličitého v evropských zemích do roku 2050, je dalším dílčím cílem této diplomové práce.

2 Plynové motory

Náhrada benzínu a nafty plynými palivy jako je zemní plyn (CNG, LNG), popřípadě zkapalněný ropný plyn (LPG) je jednou možností, jak snížit emise CO₂ ve výfukových plynech a zvýšit účinnost některých spalovacích motorů. V současné době existují dva charakteristické typy motorů spalující zemní plyn.

- Zážehové motory spalující pouze plyn,
- vznětové dvoupalivové motory provozované zároveň na naftu a plyn.

Zemní plyn může být spalován v motorech s vyšším kompresním poměrem, než je u benzínových spalovacích motorů, díky své vysoké odolnosti vůči klepání. Se zvyšujícím kompresním poměrem roste i účinnost motoru. Oba základní typy plynových motorů mohou pracovat s vyšší účinností při vyšších kompresních poměrech. Na vozidlech je zemní plyn uložen ve stlačeném stavu v tlakových nádrží (CNG), nebo v kapalné fázi udržované v kryogenní nádrží (LNG).



Obrázek 1. Možnosti využití zemního plynu pro různá vozidla. [18]

Plynové motory obvykle vycházejí ze sériově vyráběné konstrukce zážehových nebo vznětových motorů a nevyvíjí se jako takové. Pouze se provedou některé konstrukční úpravy a doplní se o potřebná příslušenství. [18]

2.1 Zážehové motory na zemní plyn

V dnešní době se jedná o nejrozšířenější druh plynových motorů, zpravidla vybavených elektrickým systémem zapalování palivové směsi. Ke vzniku směsi dochází nejčastěji vefukováním plynu do sacího potrubí před sacími ventily a množství směsi je řízeno škrtkicí klapkou. Pro snížení škodlivých emisí se využívá třísložkový katalyzátor. Přestavba z původně vznětového motoru vyžaduje přidání plynového příslušenství, elektrického zapalovacího systému, řídicí jednotky pro řízení plynového systému a nezbytné konstrukční úpravy hlavy válců, pístu motoru a sacího traktu:

- písty: úprava spalovacího prostoru pro snížení kompresního poměru a pro vhodné spalování.
- Hlava válců: vyjmutí vstřikovačů nafty a upravení otvoru pro přidání zapalovacích svíček.
- Sací potrubí: upraven pro instalaci škrtkicí klapky, směšovače a popřípadě i chladiče plnicího vzduchu.
- Výfukové potrubí: implementace třísložkového katalyzátoru.

Palivová směs

Bohatost vyjádřená pomocí součinitele přebytku vzduchu λ patří mezi důležité vlastnosti palivové směsi zemního plynu se vzduchem. S touto vlastností úzce souvisí další atributy směsi, jako je zápalnost směsi, výhřevnost a odolnost vůči klepání. Bohatost palivové směsi výrazně ovlivňuje provozní parametry, průběh pracovního cyklu a hodnoty výfukových emisí motoru. Motory mohou spalovat chudou, nebo stechiometrickou směs.

V dnešní době se převážně využívá stechiometrické koncepce palivové směsi ($\lambda=1$). Motory spalující stechiometrickou směs jsou náchylnější ke klepání a z toho důvodu bývá jejich kompresní poměr obvykle do 13:1. Výhodou spalování stechiometrické směsi je snadné snižování výfukových emisí oxidací (CO, THC) a redukcí (NO_x) ve třísložkovém katalyzátoru. Výhodou jsou i malé nároky na elektrický zapalovací systém.

Spalováním chudé palivové směsi se součinitelem přebytku vzduchu λ s přibližnou hodnotou 1,5 má za následek nižší maximální teplotu spalování. Při nižších spalovacích

teplotách dochází ke snížení emisí NO_x a k nižším teplotním ztrátám motoru, což vede ke zvýšení účinnosti motoru. Chudé složení palivové směsi je odolnější vůči klepání a lze využít vyššího kompresního poměru oproti spalování stechiometrické směsi. Motory jsou doplněné oxidačním katalyzátorem, sloužícím k oxidaci CO a THC složek výfukových plynů. Emise NO_x jsou zpravidla vyšší, než jsou přípustné limity evropské legislativy pro splnění normy EURO 6. [7]

Na Technické univerzitě v Liberci byl v minulosti proveden vývoj řady zážehových motorů na zemní plyn, vycházejících z konstrukce původně naftových motorů. Na těchto motorech byl proveden homologační test ETC. Tabulka č.1 srovnává výsledky naměřených emisí motoru o výkonu 170 kW spalující stechiometrickou směs a motoru s výkonem 165 kW spalující chudou směs. Oba motory vycházely ze stejného naftového motoru s výkonem 175 kW. [1]

Emissions	Units	WHTC EURO 6	ETC EEV	ML636 NG 165 kW 2000 rpm $\lambda=1,5$	ML636 NGS 170 kW 2000 rpm $\lambda=1$
CO	g.kWh ⁻¹	4,0	3,0	0,03	2,7
NMHC		0,16	0,40	0,10	0,07
CH4		0,5	0,65	0,06	0,05
NOx		0,46	2,0	4,87	0,33
PM		0,01	0,02	0,02	0,01

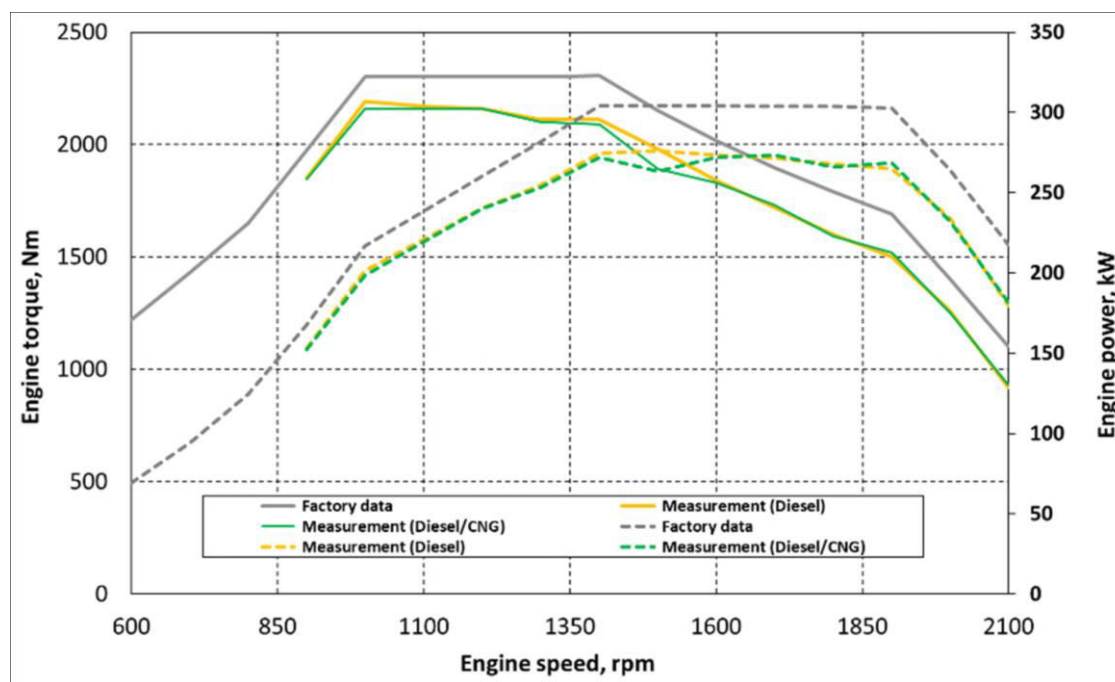
Tabulka 1. Porovnání emisí zážehového plynového motoru se stechiometrickou a chudou směsí.[1]

2.2 Dvoupalivové motory (zemní plyn / nafta)

U dvoupalivových motorů není v sacím traktu škrťící klapka a výkonové parametry odpovídají množství přivedeného paliva. Do válců motoru se přivádí homogenní palivová směs vzduchu a zemního plynu. Při kompresním zdvihu dojde ke stažení homogenní palivové směsi, čímž se zvyšuje její teplota a následně je vstříknuta dávka nafty, která se vznítí a zapálí směs plynného paliva se vzduchem. Poměr jednotlivých paliv se může u konkrétních motorů lišit, a v případě toho samého motoru být proměnlivý. Motory označené jako „plynové motory se zapalovacím vstřikem nafty“ jsou motory s minimální dávkou nafty potřebné pro vznícení směsi. Kompresní poměr může být u těchto motorů až 18:1. [9]

Konstrukční zásah do motoru spočívá pouze v osazení sání vefukovači zemního plynu, což umožňuje kdykoliv vyjmout palivový systém zemního plynu bez trvalých následků, nebo ho v případě nedostatku paliva eventuálně poruchy odstavit a pokračovat v jízdě pouze na motorovou naftu. Další možnost je využití dvoupalivového vstřikovače namísto původního vstřikovače nafty. Dvoupalivový vstřikovač dodává zemní plyn společně s malou dávkou nafty přímo do válce motoru. [34],

Standartní poměr paliv u duálního přestavěného motoru je 50 % zemního plynu a 50 % motorové nafty. Motor však může dostáhnout až 70 % dávky zemního plynu a 30 % nafty. Motor vyrobený Volvem je díky své technologii přímého vefukování schopen nahradit naftu zemním plynem až z 95 %. To zajišťuje charakteristické snížení pevných částic na desetinu hodnoty při provozu na motorovou naftu. [16]



Obrázek 2. Vnější charakteristika dvoupalivového motoru na zemní plyn a naftu. (plná čára – točivý moment, přerušovaná – výkon) [21]

Dvoupalivové motory mají v porovnání s naftovými nižší spalovací tlaky, nižší spalovací teploty a delší průtah vznícení. To má za následek snížení emisí NO_x a zvýšení CO a THC , zejména metanu. Dvoupalivový motor v porovnání s původně naftovým motorem produkuje menší množství CO_2 a pevných částic. Z hlediska účinnosti je

dvoupalivový motor horší při nízkém zatížení a při středním a vyšším zatížení je účinnost přibližně stejná jako u původního naftového motoru.

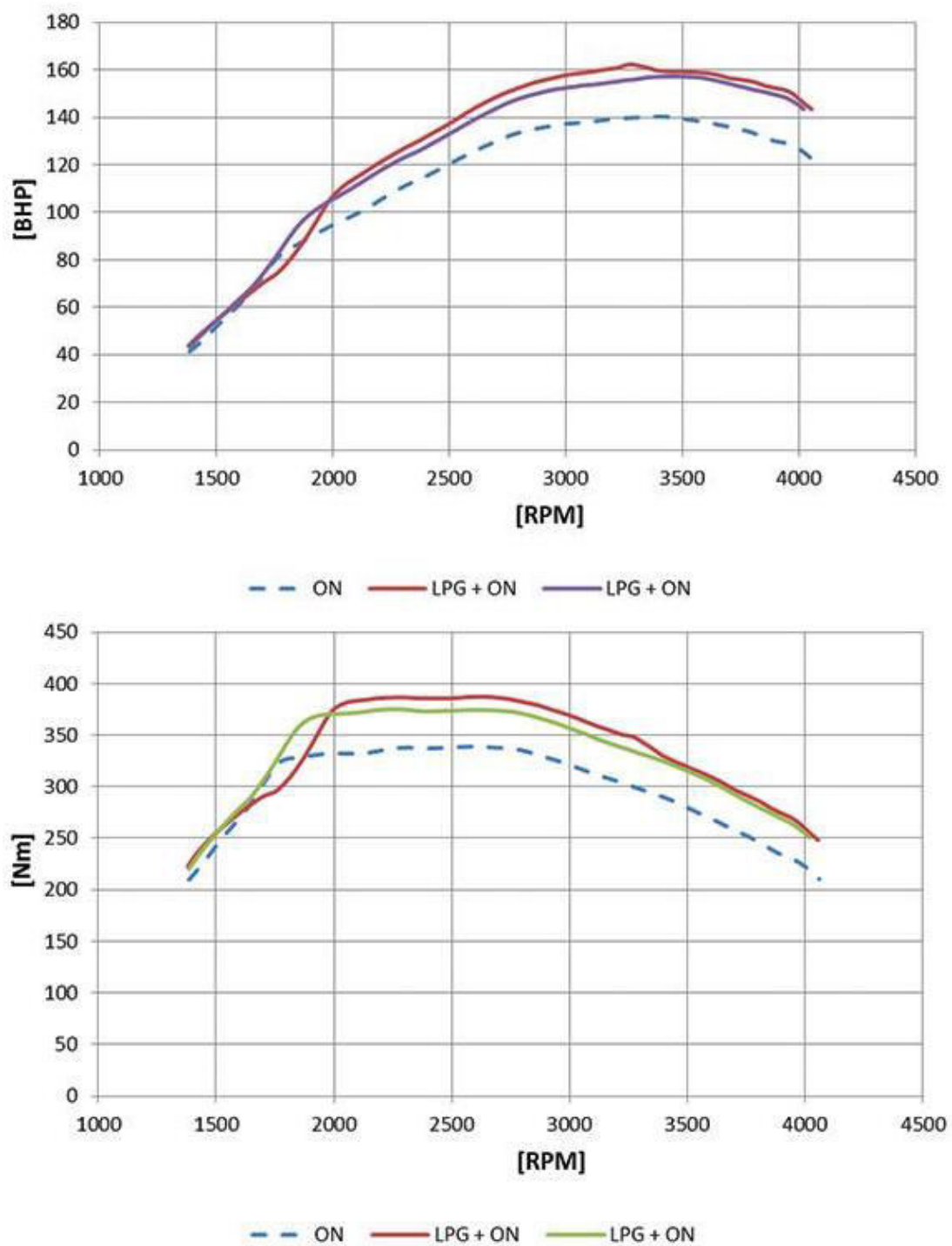
Aby motor splňoval přípustné hodnoty, musí být instalován filtr pevných částic, oxidační katalyzátor a SCR katalyzátor pro redukci škodlivin CO, THC, NOX a pevných částic. [6]

2.3 Dvoupalivové motory (LPG / nafta)

Jedná se o dvoupalivové motory vzniklé přestavbou z původně naftových vznětových motorů. Důvodem jejich nasazení je především úspora provozních nákladů nákladního vozidla o 20-30 % a snížení emisí CO₂ až o 5 % oproti původnímu provozu pouze na naftu. Výhodné jsou především pro dopravní a logistické firmy, uplatnění je ale i v zemědělském nebo stavebním průmyslu.

Při přestavbě je postupováno stejně jako u dvoupalivového motoru na zemní plyn a naftu, tedy přidáním vefukovačů do sání motoru. Systém LPG pracuje při nižších tlacích a je tedy méně robustnější, zejména zásobníky, které jsou dimenzovány na provozní tlak do 2 MPa.

Technologie duálního pohonu spočívá ve vefukování LPG do sání motoru mezi chladičem vzduchu a sacími ventily a snížením vstříknuté dávky nafty do válce podle aktuálního zatížení motoru. Při vstříknutí nafty se vznítí výsledná směs vzduchu, LPG a nafty. LPG zde působí jako katalyzátor hoření a usnadňuje vznícení a lepší prohoření směsi. Následkem toho dochází k výraznému snížení pevných částic ve výsledných emisích. Obvyklý poměr paliv je 70 % motorové nafty a 30 % LPG, záleží však na aktuálním zatížení motoru a dalších provozních parametrech. [16]



Obrázek 3. Charakteristiky výkonu a točivého momentu na nastavení palivového systému LPG. (modrá-nafta, červená-vyšší dávka plynu, fialová/zelená-nižší dávka plynu) [16]

3 Uplatnění plynových motorů v nákladní a autobusové dopravě

V současné době se plynové motory používají především v autobusech hromadné dopravy, postupně se ale dostávají i do nákladních vozidel, kde mají velký potenciál, a do osobních automobilů. Vzhledem k tomu, že nákladní a městská doprava je největším znečišťovatelem ovzduší v silniční dopravě, je plynofikace dopravy dobrým důvodem pro provoz těchto vozidel. Motory vozidel jsou vyráběny přímo výrobcem, nebo jsou tvořeny z původně naftových motorů.

3.1 Alternativní plynná paliva používaná ve spalovacích motorech nákladních vozidel nad 3,5 t a autobusů

Na základě požadavků směrnic EU pro snižování emisí CO₂ do roku 2030 o 55 % a do roku 2050 dosáhnout klimatické neutrality je v energetickém systému vyžadován vyšší podíl obnovitelných zdrojů energie nebo nahrazení nízkouhlíkových paliv. Ve směrnici o obnovitelných zdrojích energie EU je stanoven předběžný cíl nahradit nejméně 32 % spotřeby energie obnovitelnými zdroji. Následným cílem je snížit emise skleníkových plynů a tím zmírnit změnu klimatu. [5]

Alternativní paliva mohou být vyráběna z fosilních zdrojů, například zemního plynu, zkapalněného ropného plynu, nebo z obnovitelných zdrojů tzv. biopaliv (biometan, ethanol, HVO, RME atd.). Další alternativou jsou synteticky vytvořená paliva pomocí chemické reakce vodíku, vyráběného nejčastěji elektrolýzou, a oxidu uhličitého z atmosféry.

Parametr/palivo	Benzin	Nafta	Zemní plyn	LPG	Vodík
Hustota kapaliny při 15°C (kg.m ⁻³)	745	822	415	540	70,7
Hustota plynu při 15°C (kg.m ⁻³)			0,71	2,32	0,09
Výhřevnost (kWh. kg ⁻¹)	11,86	11,80	13,58	12,8	33,2
Oktanové číslo VM	95		125	100	93 (při λ=1,5)

Tabulka 2. Vlastnosti plynných automobilových paliv [22]

3.1.1 Zemní plyn

Zemní plyn je fosilní palivo těžené převážně společně s ropou nebo z plynových polí, například břidlicový plyn. Hlavní složkou zemního plynu je metan CH_4 od 80 až do 99 %, v závislosti na místě těžby. Do České republiky je zatím přiváděn ruský plyn s obsahem metanu přibližně 99 %, norský zemní plyn obsahuje přibližně 84 %. Další složky zemního plynu jsou vyšší uhlovodíky, oxid uhličitý, dusík a stopově další plyny. Těžitelné zásoby zemního plynu se odhadují na 161 000 mld. m^3 a celkové zásoby na 494 000 mld. m^3 . Při současné těžbě by zásoby měly vydržet minimálně 70 let. Metan je nejjednodušší uhlovodík a je vhodný jako alternativní palivo disponující vysokou výhřevností a odolností vůči klepání. Oktanové číslo stanoveno výzkumnou metodou je přibližně 125, metanové číslo je 100.

Hlavní výhodou použití zemního plynu jako paliva v silničních vozidlech v porovnání s benzinem a naftou je úspora ropy, nižší produkce CO_2 až o 20 %, menší zatížení životního prostředí a nižší cena. Z hlediska bezpečnosti je zemní plyn v porovnání benzinem a s tekutými rafinérskými plyny díky svým fyzikálním vlastnostem, hlavně vysoké teplotě zapálení a nižší hustotě, poměrně bezpečným palivem.

Nevýhodou je vyšší cena samotných vozidel, nebo přestavby vozidla na plynový pohon, vyšší nároky na servis vozidel, nízký počet čerpacích stanic a zákaz parkování vozidel s plynovým pohonem v podzemních garážích.

CNG je stlačený zemní plyn na tlak 20-30 MPa používaný zejména pro provoz vozidel. Nevýhodou jsou poměrně těžké a robustní zásobníky, které jsou obvykle těžší než samotný plyn uvnitř a znemožňují tím dojezd vozidla schopný konkurovat naftovému pohonu. Podle návrhu směrnice Evropského parlamentu a Rady pro zavádění infrastruktury pro alternativní paliva by měly být do roku 2025 vybudovány plnicí stanice tak, aby mezi nimi byla průměrná vzdálenost 150 km. [23]

LNG je zkapalněný zemní plyn při atmosférickém tlaku a teplotě $-165\text{ }^\circ\text{C}$. Jeho objem je zhruba 570krát menší, než má zemní plyn v plynném skupenství při atmosférickém tlaku. V zásobnících je skladován při tlaku nepřevyšující 15 bar. Zásobníky LNG jsou oproti zásobníkům na CNG mnohem lehčí a umožňují pojmout více energie obsažené v palivu. Kvalita izolace kryogenní nádrže je rozhodující pro množství

odpařovaného plynu, a tedy i pro časový interval otevření pojistného ventilu pro snížení tlaku a teploty v nádrži.

V případě kontaktu LNG s vodními zdroji neovlivňuje její kvalitu a ani neškodí vodním organismům. V otevřených prostorech se vylitý LNG rychle odpaří, aniž by došlo ke vzniku výbušné atmosféry, nehrozí tedy nebezpečí výbuchu. Jelikož je bezbarvý a bez zápachu, je pro člověka neidentifikovatelný. Ve vnitřních prostorech je třeba dbát zvýšené opatrnosti při manipulaci s touto látkou a používat alarmy hlásící koncentraci methanu v ovzduší. Zápálná směs začíná vznikat, pokud dojde ke smíšení se vzduchem v poměru 5-17 obj. %.

Problémem využití LNG je energetická náročnost zkapalňování i samotné skladování za velmi nízkých teplot. Zemní plyn je v některých místech těžby zkapalňován a dopravován do přijímacích terminálů pomocí lodní přepravy odkud je distribuován k plnicím stanicím zpravidla silniční nebo železniční přepravou. Další nevýhodou je velice řídká síť plnicích stanic, na území České republiky jsou pouze čtyři plnicí stanice, z toho jsou tři v Mladé Boleslavi, Klecanech a Nýřanech provozovány firmou Gasnet s.r.o. a jedna v Lounech provozována firmou Spolgas s.r.o. Podle návrhu směrnice Evropského parlamentu a Rady by na evropských silnicích do roku 2030 měly být vybudovány čerpací stanice s průměrnou vzdáleností mezi sebou do 400 km. [21, 9]

3.1.2 Bioplyn

Představuje plně obnovitelný zdroj s pozitivním přínosem pro ochranu životního prostředí. Bioplyn vzniká při rozkladu organických látek bez přístupu vzduchu tzv. biometanizací, biogasifikací, nebo anaerobní digescí. Hlavními složkami surového bioplynu jsou methan a oxid uhličitý. Surový plyn je následně zbavován vody, CO₂, H₂S a dalších složek. Aby mohl být použit jako pohonná hmota pro motorová vozidla, je ho potřeba vyčistit na kvalitu zemního plynu. Následně ho lze stlačit na BioCNG, nebo zkapalnit na BioLNG. Čištění plynu je drahé a s náklady na stlačení či zkapalnění se zvyšují výrobní náklady, které mají dopad na cenu paliva.

Výrobou bioplynu se zabráňuje samovolnému uvolňování skleníkových plynů do atmosféry, ke kterému běžně v přírodě při rozkladu organických látek dochází. Bioplyn se tedy považuje za zelené CO₂ neutrální palivo nezatěžující životní prostředí. [10]

3.1.3 Zkapalněný ropný plyn LPG

Jedná se o směs propanu a butanu s malým obsahem dalších uhlovodíků například etanu, pentanu, butenu, pentenu a sloučenin síry. Zkapalněné ropné plyny se získávají buď ze zemního plynu, nebo jako vedlejší produkt z ropných rafinerií z primárního nebo sekundárního zpracování ropy. Je tedy limitován fosilními zdroji ropy a zemního plynu.

Vlastnosti LPG by měly vyhovovat normě EN 589 pro motorová paliva LPG zahrnující technické požadavky a zkušební metody. Hlavní parametry LPG udává poměr propanu a butanu, který se může lišit. V tabulce č.2 jsou uvedeny hodnoty LPG složeného z 50 % propanu a 50 % butanu. Oktanové číslo čistého propanu je 112.

Pro pohon motorových vozidel je důležitým kvalitativním parametrem odolnost vůči detonačnímu spalování, tedy oktanové číslo, které se neměří na zkušebním jednoválci, ale je vypočteno ze složení LPG. Důležitým parametrem pro schopnost provozu motorových vozidel je tlak nasycených par, který zajišťuje potřebný přetlak v nádrži. Ve středním klimatickém pásu se obvykle vyrábí směs pro letní a zimní období. Při složení 50 % propanu a 50 % butanu a teploty 20 °C je tlak nasycených par přibližně 570 kPa. Obecně platí, že propan zvyšuje tlak nasycených par a v zimním období obsahuje cca 60 % směsi. Bod varu propanu je při atmosférickém tlaku -42 °C a n-butanu -0,6 °C. Provozní tlak v nádrži LPG se pohybuje pod 2 MPa a konstruovány jsou až na 2,4 MPa. [10]

Páry LPG mají vyšší hustotu, než má okolní vzduch a v případě uniků se shromažďuje na nejnižších místech, se vzduchem tvoří výbušnou směs a hrozí nebezpečí požáru. Vozidla s pohonem LPG nelze garážovat v podzemních parkovištích.

Zdroje LPG v České republice zahrnují tuzemské rafinerské a petrochemické závody, ale i dovoz ze zahraničí. [21, 9]

3.1.4 Vodík

Vodík je nejvíce vyskytujícím se prvkem nejen na zemi, ale i v celém vesmíru. Pouze 1 % z celkové množství na zemi je plynný vodík. Prakticky neomezené zásoby vodíku představují zásoby vodíku obsažené ve vodě, výrazně je zastoupen i ve fosilních palivech. V průmyslovém měřítku se vodík vyrábí nejčastěji petrochemickými procesy, zplyňováním uhlí, nebo elektrolýzou vody. Nejvýznamnější a nejúčinnější metoda výroby vodíku je v současné době parním reformováním zemního plynu. Na výrobu 1 kWh

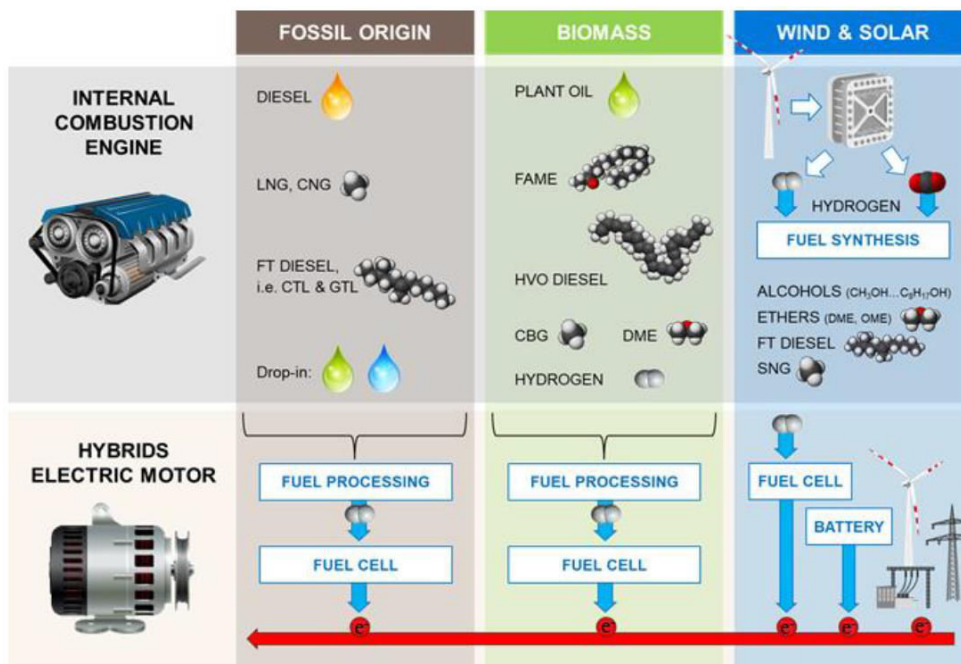
energie ve vodíku je potřeba 1,43 kWh chemické energie zemního plynu. U elektrolýzy je to 1,53 kWh elektrické energie.

Jeho energii lze využít dvěma způsoby. Prvním způsobem je využití samotného vodíku jako paliva ve spalovacích vodíkových motorech, nebo v kombinaci metanem či benzinem. Druhým způsobem je jeho aplikace jako suroviny v palivových článcích, kde prostřednictvím elektrochemické oxidace generuje elektrickou energii, kterou lze využít pro pohon vozidla.

Vodík při spalování v porovnání s automobilovými palivy například benzinem, zemním plynem nebo LPG má následující výrazně odlišující se vlastnosti: vysoká rychlost hoření směsi, nižší odolnost vůči klepání a velmi široké rozmezí zápalnosti směsi vodíku se vzduchem. Palivová směs neobsahuje uhlík, tudíž se ve výfukových plynech nevyskytuje CO₂, CO a ani THC emise. Ve výfukových plynech se z legislativně limitovaných škodlivin vyskytuje pouze emise NO_x. Ke snížení oxidů dusíku pomocí redukčního katalyzátoru není ve výfukových plynech zapotřebí uhlík.

Palivové články využívají reakce vodíku s kyslíkem ze vzduchu, při které vzniká voda, teplo a elektrická energie. Produkují stejnosměrný proud, který je převáděn na střídavý proud pohánějící třífázový elektromotor zajišťující pohyb vozidla. Účinnost palivového článku dosahuje až 60 %, celková účinnost systému palivových článků je vyšší než účinnost spalovacího motoru. Kvůli vysoké ceně palivové články zatím nenalezly širšího uplatnění. Nelze vyloučit, že palivovým článkům bude v budoucnu dáována přednost před spalovacími motory. Provoz nákladních vozidel s palivovými články je nyní ve fázi demonstračních a testovacích projektů.

Vodík lze na vozidle skladovat v metalizovaných plastových vysokotlakých zásobnících při tlaku až 34,5 MPa, v kompozitových zásobnících při tlaku až 75 MPa, nebo v kapalném kryogenním stavu. Bod varu vodíku je přibližně -260 °C, to je téměř o 100 °C nižší teplota než u LNG. Zkapalňování je tedy energeticky náročný proces. Další možností ukládání vodíku jsou takzvané chemické zásobníky. Vodík se ukládá do příhodné chemické sloučeniny, kterou jsou například kovové hydridy a metylcyklohexan – toluen. Nevýhodou tohoto zásobníku je však vysoká cena a hmotnost absorpčních slitin. Budoucnost ukládání vodíku je s největší pravděpodobností v grafitových nanovlákních, kde se vodík absorbuje až do 40 % hmotnosti. Tento typ je zatím v ranném stádiu výzkumu v laboratorních podmínkách. [10] [22]



Obrázek 4. Procesní řetězec paliv pro pohony vozidel. [4]

3.2 Současní výrobci nákladních a autobusových vozidel s plynovými motory

Výrobci nákladních vozidel a autobusů jsou nuceni s přihlédnutím k požadavkům EU snižovat emise svých výrobků. Velcí výrobci podepsali deklaraci ACEA, kde se zavazují k ukončení výroby nákladních vozidel na fosilní paliva do roku 2040. Svůj vývoj tedy směřují k využívání alternativních paliv, jako jsou přechodný zemní plyn, vodík, elektrická energie vyrobená palivovými články, nebo elektrická energie uchovávaná v baterii pro pohon nákladních vozidel a autobusů.

V současnosti se na trhu zatím vyskytují pouze sériově vyráběná nákladní vozidla a autobusy s plynovým pohonem na zemní plyn ve formě CNG, nebo LNG pro vozidla s vyšším dojezdem. Ostatní uvedené možnosti alternativního pohonu nákladních vozidel pro dálkovou přepravu jsou stále ve vývoji nebo v prototypové fázi. Například Tesla Semi s pohonem pomocí baterie (BEV) nebo Tatra, která vyvíjí pohon za pomoci palivových článků (FCEV). [15]

Evropskými představiteli výrobců nákladních a autobusových vozidel s plynovými motory spalujícími zemní plyn nebo biometan jsou Iveco, Scania, Man, Mercedes-Benz,

Renault. Tito výrobci využívají technologii zážehového zapálení směsi. Volvo kromě zážehového principu nabízí i vznětový plynový motor, který je díky dvoupalivovému přímému vstřikovači schopný plně konkurovat naftovému. Motory na ostatní plynná paliva současní výrobci nenabízí, dá se jí však docílit následnou přestavbou.

3.2.1 IVECO

Společnost IVECO je celosvětový výrobce nákladních vozidel a autobusů s dlouholetými zkušenostmi. V jejich portfoliu můžeme nalézt mnoho nákladních vozidel a autobusů na plynový pohon. Hlavním představitelem plynového pohonu nákladních vozidel je modelová řada S-Way NP, Eurocargo a u autobusů se jedná o modelové řady Urbanway, Crossway a Crealis.

Pro dálkovou a regionální dopravu je určen model S-Way s možností pohonu na naftu, bionaftu, zemní plyn a biometan. Výrobce nabízí širokou škálu všestranných podvozků s maximální možnou kombinací upevnění palivových nádrží CNG/LNG, aby co nejlépe vyhovovaly požadavkům zákazníka a použití vozidla pro daný účel. Při volbě LNG výrobce zaručuje dojezd od 800 až po 1600 km, podle volby uspořádání nádrží. IVECO nabízí i kombinaci nádrží CNG+LNG.

Model Eurocargo vhodný pro městskou přepravu a služby je lehkým, snadno ovladatelným a všestranným vozidlem pro městské úkoly, jako je sběrný vůz odpadu, vůz pro čištění komunikací, sypačů atd. Vzhledem k nízkým požadavkům na dojezd tohoto vozidla je tento model nabízen pouze s pohonem na CNG.

Autobusy IVECO mají s pohonem na CNG více než dvacetiletou zkušenost. Kromě turistických dálkových autobusů Evadys najdeme alternativní pohon ve všech modelových řadách městských autobusů a meziměstských autobusů. Kromě pohonu na CNG nabízí společnost IVECO jako alternativní pohon ještě hybridní a elektrický pohon u modelové řady Urbanway a E-way. [20]

Motory IVECO S-WAY

Zákazník si může vybrat z pěti nabízených šestiválcových přeplňovaných motorů CURSOR, a to jak ve vznětové verzi s pohonem na naftu nebo HVO, tak v zážehové verzi s pohonem na CNG, LNG, BioLNG, BioCNG. Lze si vybrat mezi jedenácti výkonovými verzemi motorů. [20]

NABÍDKA VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

MOTOR	ZDVIHOVÝ OBJEM (litry)	VÝKON hp při ot/min	TOČIVÝ MOMENT Nm při ot/min	DODATEČNÁ ÚPRAVA VÝFUKOVÝCH PLYNŮ	EMISNÍ NORMA
CURSOR 9	8,7	330 při 1 655–2 200	1 400 při 1 100–1 655	HI-SCR	Euro VI/d
		360 při 1 530–2 200	1 650 při 1 200–1 530		
		400 při 1 655–2 200	1 700 při 1 200–1 655		
CURSOR 11	11,1	420 při 1 475–1 900	2 000 při 870–1 475	HI-SCR	Euro VI/d
		460 při 1 500–1 900	2 150 při 925–1 500		
		480 při 1 465–1 900	2 300 při 970–1 465		
CURSOR 13	12,9	510 při 1 560–1 900	2 300 při 900–1 560	HI-SCR	Euro VI/d
		570 při 1 605–1 900	2 500 při 1 000–1 605		



Cursor 9



Cursor 11



Cursor 13

NABÍDKA MOTORŮ NA ZEMNÍ PLYN

MOTOR	ZDVIHOVÝ OBJEM (litry)	VÝKON hp při ot/min	TOČIVÝ MOMENT Nm při ot/min	DODATEČNÁ ÚPRAVA VÝFUKOVÝCH PLYNŮ	EMISNÍ NORMA
CURSOR 9 NP	8,7	340/250 při 2 000	1 500 při 1 100–1 600	3cestný katalyzátor	Euro VI/d
		400/294 při 2 000	1 700 při 1 200–1 575		
CURSOR 13 NP	12,9	460/338 při 1 900	2 000 při 1 100–1 600	3cestný katalyzátor	Euro VI/d

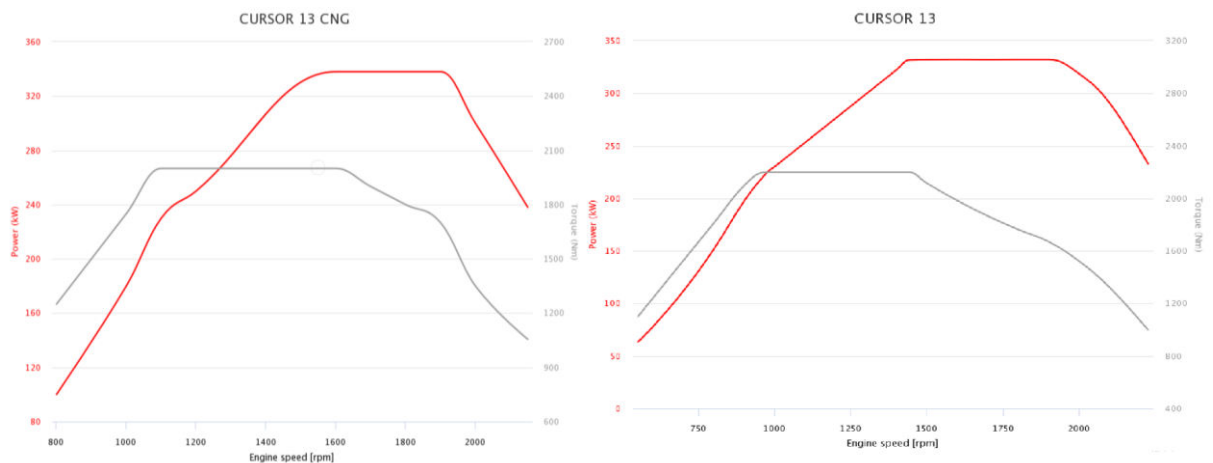


Cursor 9 NP



Cursor 13 NP

Obrázek 5. Nabídka plynových motorů IVECO S-Way. [20]



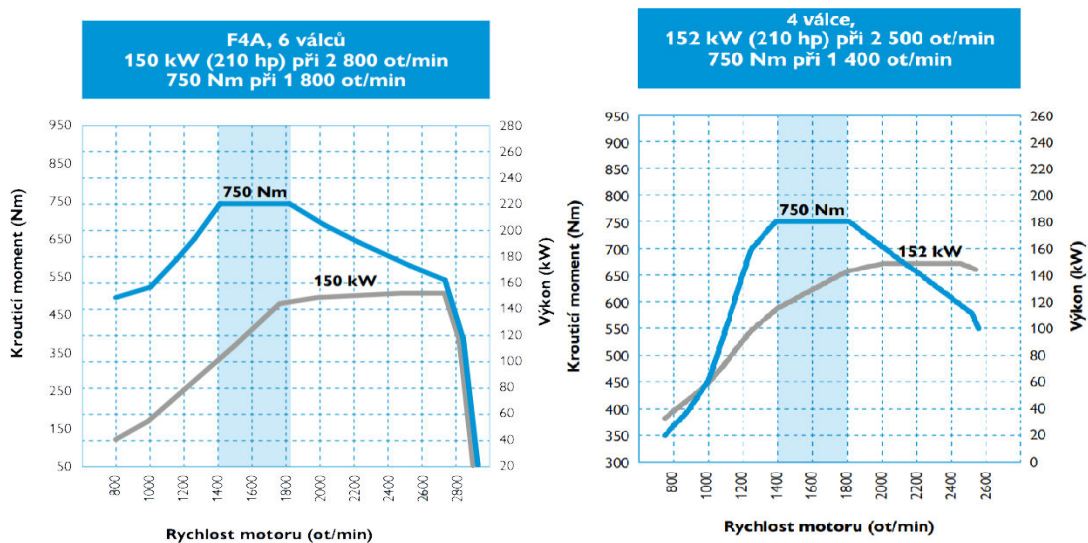
Obrázek 6. Vnější otáčková charakteristika motoru CURSOR 13 NP (zemní plyn) a CURSOR 13 (nafta) [17]

Motory IVECO EUROCARGO

Motory IVECO EUROCARGO jsou naftové čtyřválcové a šestiválcové řadové přeplňované motory Tector ve vznětové i zážehové verzi pro CNG pohon. Lze si zvolit z osmi výkonových variant od 118 kW do 235 kW. Jedna z nabízených variant motorů je s pohonem na CNG s výkonem 150 kW pro 2800 ot/min a maximálním točivým momentem 750 Nm v rozmezí otáček 1400-1800 ot/min.

MOTORY	POČETVÁLCŮ	ZDVIHOVÝ OBJEM VÁLCŮ	VÝKON	MAX. KROUČÍ MOMENT
TECTOR 5	4 V ŘADĚ	4,5 LITRŮ	118 kW (160 hp) při 2 200 ot/min	680 Nm od 1 100 do 1 600 ot/min
			137 kW (190 hp) při 2 200 ot/min	700 Nm od 1 100 do 1 600 ot/min
			152 kW (210 hp) při 2 500 ot/min	750 Nm od 1 400 do 1 800 ot/min
TECTOR 7	6 V ŘADĚ	6,7 LITRŮ	162 kW (220 hp) při 2 500 ot/min	800 Nm od 1 250 do 1 900 ot/min
			185 kW (250 hp) při 2 500 ot/min	850 Nm od 1 250 do 2 050 ot/min
			206 kW (281 hp) při 2 500 ot/min	1 000 Nm od 1 250 do 1 950 ot/min
			235 kW (320 hp) při 2 500 ot/min	1 100 Nm od 1 250 do 1 900 ot/min
TECTOR 6 CNG	6 V ŘADĚ	5,9 LITRŮ	150 kW (210 hp) při 2 800 ot/min	750 Nm od 1 400 do 1 800 ot/min

Obrázek 7. Motory modelové řady Eurocargo. [20]



Obrázek 8. Vnější otáčkové charakteristiky šestiválcového motoru na CNG Tector 6 a čtyřválcového naftového motoru Tector 5. [20]

Motory IVECO BUS

Evadys je modelová řada turistického autobusu, nabízena se vznětovým naftovým motorem Cursor 9 s výkonem 298 kW viz. obrázek č.5.

E-way elektrický autobus vhodný do městského provozu je nabízen ve třech rozměrových variantách. Varianta 9,5 m pouze s bateriovým zdrojem energie, 12 m a 18 m s baterií a možností využití městského pantografu, viz tabulka č. 3. [20]

Délka vozu	E-way			
	9,5m	12m		18m
Motor	synchronní elektrický motor 160 kW (2500 Nm)	synchronní elektrický motor 120/190 kW (1000 Nm / 2100 Nm)		asynchronní elektrický motor 160/200 kW (2100 Nm / 2405 Nm)
Baterie	NMC články	NMC články	LTO články	LTO články
Sériová kapacita	210 kWh	350 kWh		102 kWh
Volitelná kapacita baterie	245 kWh	280, 315, 385 kWh	88 kWh	117, 250 kWh
Nabíjení	Přes noc na depu	Přes noc na depu	Příležitostné rychlonabíjení - externí pantograf	Příležitostné rychlonabíjení - externí pantograf
Nabíjecí systém	CCS Combo2 (max. 100 kW)	CCS Combo2 (max. 100 kW)	CCS Combo2 (max. 100 kW), příležitostně 4 pólový pantograf (až 450 kW)	CCS Combo2 (max. 100 kW), příležitostně 4 pólový pantograf (až 450 kW)

NMC (Níkl Mangan Kobalt Oxid), LTO (Lithium Titanate Oxide)

Tabulka 3. Srovnání motorů Iveco E-way. [20]

Crealis je nízkopodlažní městský autobus nabízený ve dvou rozměrových variantách 12 a 18 m. Nabízí možnost hybridního, naftového a plynového pohonu.

LENGTH	DIESEL				CNG		HYBRID
	TECTOR 7	CURSOR 9			CURSOR 8		TECTOR 7
	286 HP - 210 kW	310 HP - 228 kW	360 HP - 265 kW	400 HP - 294 kW	290 HP - 213 kW	330 HP - 243 kW	SERIAL HYBRID Arrive & Go
12 m	■	■	■		■		■
18 m			■	■		■	■

Tabulka 4. Přehled motorů modelové řady Crealis. [20]

Crossway je univerzální autobus pro městskou verzi CITY nebo meziměstskou verzi LINE pro linkovou přepravu, nabízený v rozměrech od 10,8 m do 14,5 m.

DÉLKA (m)	VERZE	DIESEL / HVO / XTL			NATURAL POWER
		TECTOR 7		CURSOR 9	CURSOR 9 NP
		286 HP – 210 kW	320 HP – 228 kW	360 HP – 265 kW	360 HP – 265 kW
10,8	CITY	■	■	■	
12		■	■	■	■
13		■	■	■	
14,5				■	
10,8	LINE		■	■	
12			■	■	■
13			■	■	
14,5				■	

Tabulka 5. Přehled motorů modelové řady Crossway. [20]

Urbanway je modelová řada speciálně navržená pro hromadnou dopravu tak, aby zapadala do kontextu multimodální mobility. Urbanway je nabízen ve třech rozměrových typech. Krátká (10,5 m), Standartní (12 m) a kloubová (18 m) verze.

DÉLKA (m)	CURSOR 8 CNG		TECTOR 7	CURSOR 9			HYBRIDNÍ	ELECTRIC
	290 hp (213 kW)	330 hp (243 kW)	286 hp (210 kW)	310 hp (228 kW)	360 hp (265 kW)	400 hp (294 kW)	ARRIVE & GO	IN-MOTION-CHARGING
10,5	■	■	■					
12	■	■	■	■	■		■	
18		■			■	■	■	■

Tabulka 6. Přehled motorů modelové řady Urbanway. [20]

Všechny plynové motory Iveco splňují emisní normu EURO VI i bez katalické redukce výfukových plynů, nepotřebují tedy tankovat Adblue pro dosažení této normy. Dále mají oproti naftovému motoru o 95% nižší emise pevných částic, o 90 % méně NO₂ a až o 15 % méně emisí CO₂. V případě použití Biometanu jako paliva klesá CO₂ až o 95 %. Technologie těchto motorů spočívá v zážehovém principu a systému tvorby směsi před sacími ventily.

3.2.2 MAN

MAN je dnes jedním z vedoucích výrobců nákladních vozidel a autobusů v EU. Nabízí čtyři modelové řady. TGX modelová řada pro dálkovou a regionální dopravu, TGS řada pro těžké terénní pracovní a stavební stroje, TGM a TGL jsou menší a lehčí nákladní vozy a řada ETGM je elektrifikovaná verze řady TGM. V roce 2014 představila společnost MAN na výstavě IAA v Mnichově svůj první model nákladního vozidla TGM na zemní plyn do městského provozu. Poháněn byl přeplňovaným šestiválcovým motorem o zdvihovém objemu 6,9l s maximálním výkonem 210 kW a točivým momentem 1150 Nm. Na trhu se do současné doby neobjevil.

Autobusy MAN Lion's city jsou dlouhodobým produktem této společnosti provozované na zemní plyn. Plynový šestiválcový motor E1856 LOH Euro 6 o zdvihovém objemu 9,5l je nabízen ve dvou výkonových variantách 206 kW s točivým momentem 1200 Nm a 235 kW s točivým momentem 1400 Nm. Nabízeny jsou i s možností naftového, hybridního či čistě elektrického pohonu. Další modelové řady autobusů jsou Lion's Coach pro turistickou dopravu pouze s naftovým agregátem a Lion's Intercity pro městskou a meziměstskou dopravu s naftovým nebo od 2. čtvrtletí 2023 s mild-hybridním systémem pohonu. [24]



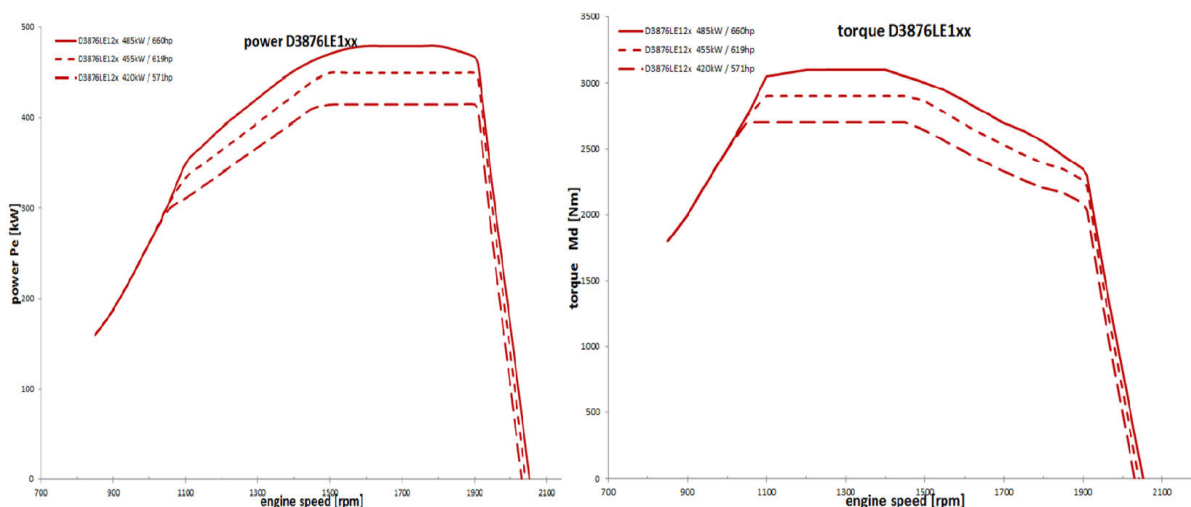
Obrázek 9. MAN TGM CNG, MAN Lion's City G. [24]

Motory MAN pro nákladní vozidla

MAN do svých nákladních vozidel montuje celkem pět vznětových naftových motorů s výkonem od 118 kW do 471 kW s emisní normou EURO 6 díky SCR katalyzátoru a elektropohon do řady ETGM s kapacitou NMC baterie 185 kWh s dojezdem více než 190 km.

EURO 6 Motory nákladních vozidel MAN						
Označení motoru	Palivo	Počet válců, Konstrukce	Zdvihový objem [dm ³]	Kroučící moment [Nm] / otáčky motoru [1/min]	Výkon [kW (Hp)] / otáčky motoru [1/min]	Modelová řada
D0834	Diesel, HVO	4 v řadě	4,6	830 / 1400-1800	118 (160) / 2400	TGL
	Diesel, HVO			830 / 1400-1800	140 (190) / 2400	TGL
	Diesel, HVO			830 / 1400-1800	162 (220) / 2400	TGL
D0836	Diesel, HVO	6 v řadě	6,9	1250 / 1200-1800	184 (250) / 2400	TGM, TGL
	Diesel, HVO			1250 / 1200-1800	213 (290) / 2400	TGM
	Diesel, HVO			1250 / 1200-1800	235 (320) / 2400	TGM
D1556	Diesel, HVO	6 v řadě	9	1650 / 1100-1350	243 (330) / 1400-1800	TGS, TGX
	Diesel, HVO			1750 / 1100-1400	265 (360) / 1450-1850	TGS, TGX
	Diesel, HVO			1850 / 1150-1400	294 (400) / 1500-1900	TGS, TGX
D2676	Diesel, HVO	6 v řadě	12,4	1950 / 1200-1600	316 (430) / 1800	TGS, TGX
	Diesel, HVO			2100 / 1200-1600	346 (470) / 1800	TGS, TGX
	Diesel, HVO			2200 / 1200-1600	375 (510) / 1800	TGS, TGX
D3876	Diesel, HVO	6 v řadě	15,2	2700 / 1100-1500	397 (640) / 1500-1900	TGX
	Diesel, HVO			2900 / 1100-1500	427 (580) / 1500-1900	TGX
	Diesel, HVO			3000 / 1100-1450	471 (640) / 1550-1800	TGX
PSM (permanently synchronous motor)	Elektrina	~	~	3100	264 (360)	ETGM

Tabulka 7. Srovnání motorů MAN pro nákladní vozidla. [24]



Obrázek 10. Vnější otáčkové charakteristiky motoru MAN D3876. [24]

Motory MAN pro autobusy

Výrobce nabízí pro své autobusy celkem čtyři naftové vznětové motory s devíti výkonovými variantami, jeden zážehový plynový motor ve dvou výkonových řadách a dvě výkonové řady elektropohonu pro městské elektrobusesy s kapacitou baterie 480 a 640 kWh a dojezdem 200 km.

EURO 6 Motory autobusů MAN						
Označení motoru	Palivo	Počet válců, Konstrukce	Zdvihový objem [dm ³]	Kroutící moment [Nm] / otáčky motoru [1/min]	Výkon [kW (Hp)] / otáčky motoru [1/min]	Modelová řada
D0836 LOH	Diesel, HVO	6 v řadě	6,9	1150 / 1200-1750	213 (290) / 2200	Intercity, City LE
D1556 LOH	Diesel, HVO	6 v řadě	9	1200 / 1100-1350	206 (275) / 1400-1800	Intercity LE, City
				1650 / 1100-1350	243 (330) / 1400-1800	
				1750 / 1100-1400	265 (360) / 1450-1850	
E1856 LOH	BioCNG, CNG	6 v řadě	9,5	1200 / 900-1500	206 (280) / 2000	City G
				1400 / 900-1500	235 (320) / 2000	
D2066 LUH	Diesel, HVO	6 v řadě	10,5	1600 / 1000-1400	235 (315) / 1900	City C, L, Ů
				1800 / 1000-1400	265 (350) / 1700	
D2676 LOH	Diesel, HVO	6 v řadě	12,4	2100 / 930-1350	309 (420) / 1800	Coach
				2300 / 930-1350	338 (460) / 1800	
				2500 / 930-1350	368 (500) / 1800	
PSM (permanently synchronous motor)	Elektrina	~	~	2100	160 (216) peak 240 (325)	City E
				2100	320 (430) peak 480 (650)	

Tabulka 8. Srovnání motorů MAN pro autobusy. [24]

3.2.3 Mercedes-Benz

Vyhlášený výrobce nejen osobních automobilů, ale i nákladních vozidel a autobusů či speciálních vozidel s velkými zkušenostmi. Hlavními představiteli nákladních vozidel Mercedes-Benz jsou řady Actros a Atego pro dálkovou a distribuční dopravu a Arocs pro stavební řadu. Ze speciálních vozidel se můžeme setkat s řadou Econic v městském prostředí, nebo řadou Unimog a Zetors u speciálních složek nebo v těžkých terénních podmínkách.

Autobusy Mercedes-Benz jsou zastoupeny pro městský provoz řadou Citaro, CapaCity a Conecto, pro linkové spoje je určena řada Citaro Ů a nové Intouro a jedinou řadou pro turistickou dopravu je Turismo.

Plynový pohon najdeme hlavně u městských autobusů Citaro NGT. V roce 2008 představil výrobce model nákladního vozidla Econic NGT do městského provozu a v roce 2018 Actros NGT. Všechny nákladní vozidla a autobusy na zemní plyn od společnosti Mercedes-Benz jsou vybaveny motorem M 936 G, je to druhá generace plynových motorů vycházející ze zmenšení motoru M 447.

Do budoucna není známo, jestli Mercedes ještě někdy představí nákladní vozidlo na zemní plyn, padlo totiž strategické rozhodnutí, že Mercedes-Benz zavrhne zemní plyn, a to v obou formách CNG/LNG a bude se zabývat cestou elektrického pohonu. [24, 25]

Motory Mercedes-Benz pro nákladní vozidla

Nákladní vozidla Mercedes-Benz jsou k dostání s širokým výběrem motorů splňující emisní normu EURO 6 díky technologii SCR. Pro řadu Zetors používá motory s emisní normou EURO 3 a EURO 5. Tato vozidla nejsou určena pro evropský trh, nejsou proto uvedena v tabulce č. 9.

EURO 6 Motory nákladních vozidel Mercedes-Benz						
Označení motoru	Palivo	Počet válců, Konstrukce	Zdvihový objem [dm ³]	Krouticí moment [Nm] / otáčky motoru [1/min]	Výkon [kW (Hp)] / otáčky motoru [1/min]	Modelová řada
OM 934	Diesel, HVO	4 v řadě	5,1	650 / 1200-1600	115 (155) / 1800	Atego
	Diesel, HVO			750 / 1200-1600	130 (175) / 1800	Atego, Unimog U219/535
	Diesel, HVO			850 / 1200-1600	155 (210) / 1800	Atego, Unimog U219/535
	Diesel, HVO			900 / 1200-1600	170 (230) / 1800	Atego, Unimog U4023/5023, Unimog U219/535
OM 936	Diesel, HVO	6 v řadě	7,7	1000 / 1200-1600	175 (235) / 1800	Actros, Arocs, Atego, Unimog U219/535
	Diesel, HVO			1100 / 1200-1600	200 (270) / 1800	Actros, Arocs, Atego, Econic, Unimog U219/535
	Diesel, HVO			1200 / 1200-1600	220 (297) / 1800	Actros, Arocs, Atego, Unimog U219/535
	Diesel, HVO			1300 / 1200-1600	235 (317) / 1800	Actros, Arocs, Unimog U219/535
	Diesel, HVO			1400 / 1200-1600	260 (350) / 1800	Actros, Arocs, Econic, Unimog U219/535
M 936 G	BioCNG, CNG	6 v řadě	7,7	1200 / 1200-1600	222 (300) / 1950	Econic NGT
OM 470 1.generace	Diesel, HVO	6 v řadě	10,7	1700 / 1100	240 (325) / 1600	Arocs
	Diesel, HVO			1800 / 1100	265 (357) / 1600	Arocs
	Diesel, HVO			1900 / 1100	290 (390) / 1600	Arocs
	Diesel, HVO			2100 / 1100	315 (425) / 1600	Arocs
OM 470 2.generace	Diesel, HVO	6 v řadě	10,7	1700 / 1100	240 (325) / 1600	Actros, Actros L, Actros F, Arocs
	Diesel, HVO			1800 / 1100	265 (357) / 1600	Actros, Actros L, Actros F, Arocs
	Diesel, HVO			1900 / 1100	290 (390) / 1600	Actros, Actros L, Actros F, Arocs
	Diesel, HVO			2100 / 1100	315 (425) / 1600	Actros, Actros L, Actros F, Arocs
	Diesel, HVO			2200 / 1100	335 (450) / 1600	Actros, Actros L, Actros F, Arocs
OM 471 1.generace	Diesel, HVO	6 v řadě	12,8	2100 / 1100	310 (418) / 1600	Arocs
	Diesel, HVO			2200 / 1100	330 (445) / 1600	Arocs
	Diesel, HVO			2300 / 1100	350 (472) / 1600	Arocs
	Diesel, HVO			2500 / 1100	375 (506) / 1600	Arocs
OM 471 2.generace	Diesel, HVO	6 v řadě	12,8	2100 / 1100	310 (418) / 1600	Actros, Actros L, Actros F, Arocs
	Diesel, HVO			2200 / 1100	330 (445) / 1600	Actros, Actros L, Actros F, Arocs
	Diesel, HVO			2300 / 1100	350 (472) / 1600	Actros, Actros L, Actros F, Arocs
	Diesel, HVO			2500 / 1100	375 (506) / 1600	Actros, Actros L, Actros F, Arocs
	Diesel, HVO			2600 / 1100	390 (526) / 1600	Actros, Actros L, Actros F, Arocs
OM 473	Diesel, HVO	6 v řadě	15,6	2600 / 1100	380 (513) / 1600	Actros, Actros L, Arocs
	Diesel, HVO			2800 / 1100	425 (573) / 1600	Actros, Actros L, Arocs
	Diesel, HVO			3000 / 1100	460 (620) / 1600	Actros, Actros L, Arocs

Tabulka 9. Srovnání motorů Mercedes-Benz pro nákladní vozidla. [26]

Motory Mercedes-Benz pro autobusy

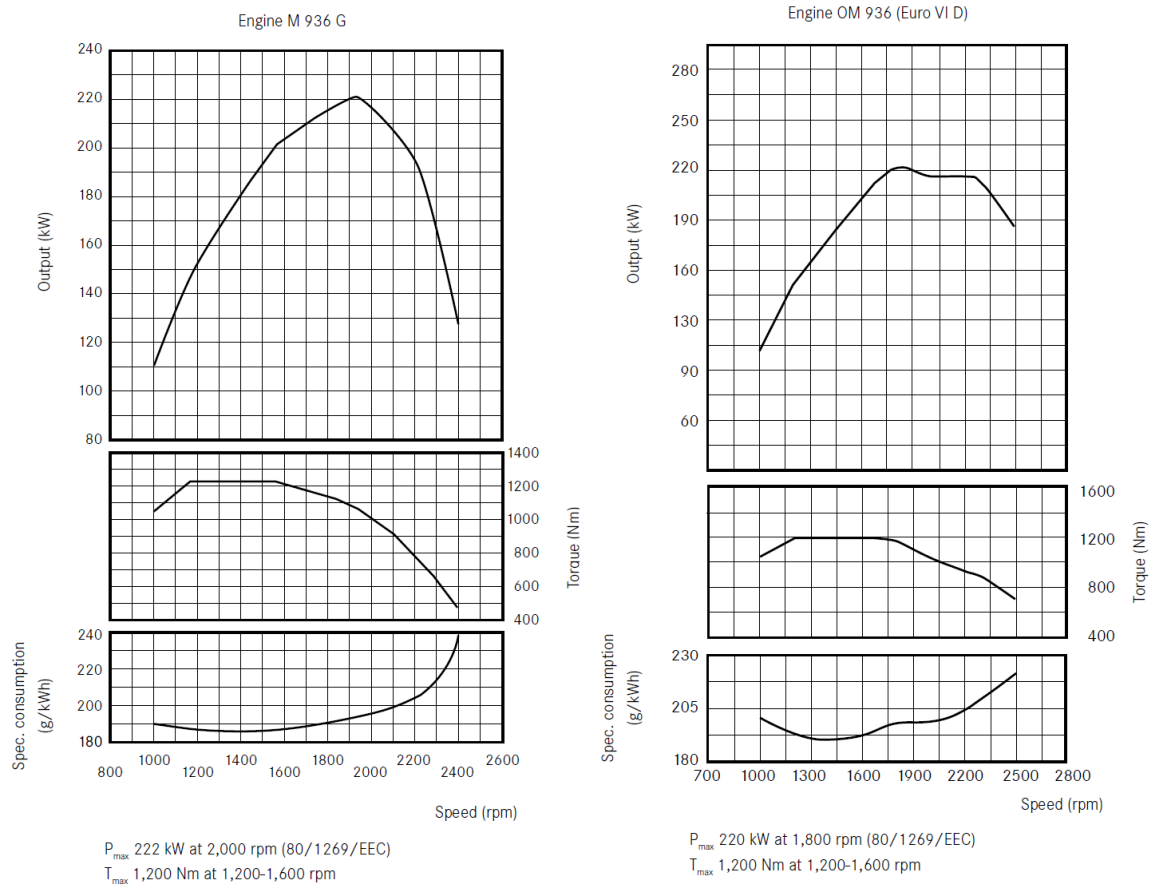
Autobusy Mercedes-Benz používají celkem tři spalovací motory, dva vznětové na naftu a jeden zážehový na zemní plyn. Kromě spalovacích motorů je k dostání i autobus s elektrickým pohonem.

Šestiválcový přeplňovaný plynový motor M 936 G disponuje zdvihovým objemem 7,7l, maximálním výkonem 222kW při 1950 ot/min a maximálním točivým momentem 1200 Nm při 1200-1600 ot/min. Technologie provozu na zemní plyn je obdobná jako u předchozích výrobců nákladních vozidel, tedy zážehovým principem.

Elektrická verze eCitaro má dva nábojové motory pro každé zadní kolo, je možno si vybrat ze dvou typů baterie NMC článků a tzv. solid-state baterií, které mají elektrolyt v pevném skupenství. Kapacitu baterie lze nakombinovat z modulových článků od 200 kWh do 396 kWh s NMC články a kapacitou až 441 kWh v případě použití solid-state baterie. Moduly baterií mohou být umístěny na střeše vozidla, nebo v jeho zadní části. [25]

EURO 6 Motory autobusů Mercedes-Benz						
Označení motoru	Palivo	Počet válců, Konstrukce	Zdvihový objem [dm ³]	Kroutící moment [Nm] / otáčky motoru [1/min]	Výkon [kW (Hp)] / otáčky motoru [1/min]	Modelová řada
OM 936 / OM 936 h	Diesel, HVO	6 v řadě	7,7	1200 / 1200-1600	220 (297) / 1800	Citaro G, Citaro LE Ü, Citaro LE MÜ, Citaro Ü, Conecto, Intoru, Intoru K, Intouro M
	Diesel, HVO			1400 / 1200-1600	260 (350) / 1800	Tourismo, Turismo M/2
M 936 G	BioCNG, CNG	6 v řadě	7,7	1200 / 1200-1600	222 (300) / 2000	Citaro NGT, Citaro G NGT, Conecto NGT, Conecto G NGT
OM 470	Diesel, HVO	6 v řadě	10,7	1700 / 1100	265 (357) / 1600	Citaro G, Citaro GO, CapaCity, CapaCity L, Conecto G, Turismo, Turismo M/2
	Diesel, HVO			1900 / 1100	290 (390) / 1600	CapaCity, CapaCity L, Turismo M/3, Turismo L, Intouro L
Nábojový elektromotor	Elektrina	elektromotory v zadních kolech	~	2 x 485 Nm	125 kW peak 250 kW	eCitaro, eCitaro G

Tabulka 10. Srovnání motorů Mercedes-Benz pro autobusy [25]



Obrázek 11. Otáčkové charakteristiky plynového (M936 G) a naftového (OM 936) motoru. [25]

3.2.4 Renault Trucks

Společnost Renault Trucks nabízí pět modelových řad nákladních vozidel. Řada T a T Hight určená pro dálkovou dopravu, řada K vhodná do těžkých provozních podmínek, řada C pro univerzální použití se širokou možností nástaveb a řada D, D wide pro lokální dopravu.

Autobusy společnosti Renault se v 90. letech minulého století spojily s českou firmou KAROSA, od roku 2003 se stoprocentním vlastníkem stalo IVECO. [20]

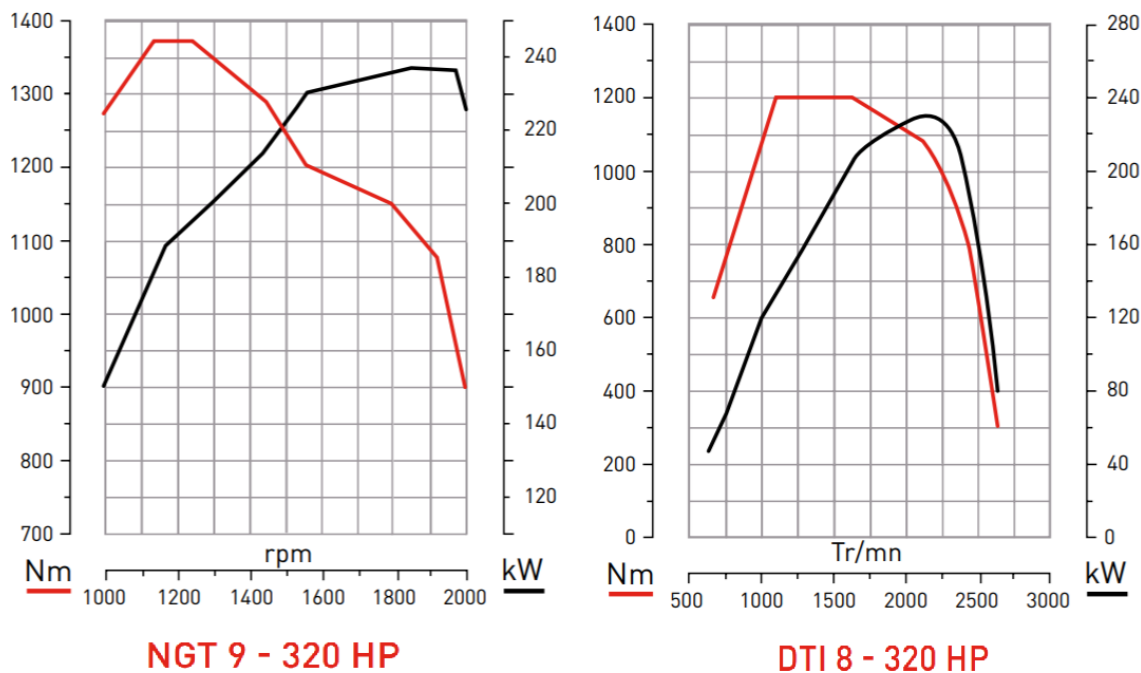
Motory Renault Trucks

Modelová řada D wide nabízí vozidla s možností alternativního pohonu plynovým motorem na stlačený zemní plyn, nebo elektrinou pomocí trakčních baterií. Zážehový plynový řadový šestiválec NGT9 o zdvihovém objemu 8,9l, maximálním výkonu 239kW a maximálním točivém momentu 1356 Nm. Díky schopnosti 100 % provozu si motor vystačí s emisním systémem EGR a třicestným katalyzátorem bez nutnosti systému SCR. Následkem sníženého kompresního poměru má motor oproti vznětovému tichý chod a je tedy vhodný do obydlených oblastí, například jako vozidlo svozu odpadu.

Elektrická verze disponuje trakční baterií s kapacitou 200 a 400 kWh s maximálním dojezdem až 400 km. Nabíjet lze palubní nabíječkou o maximálním výkonu 22 kW AC, nebo rychlonabíječkou o výkonu až 150 DC. [28]

EURO 6 Motory nákladních vozidel Renault						
Označení motoru	Palivo	Počet válců, Konstrukce	Zdvihový objem [dm ³]	Kroutící moment [Nm] / otáčky motoru [1/min]	Výkon [kW (Hp)] / otáčky motoru [1/min]	Modelová řada
DTI 5	Diesel, HVO	4 v řadě	5,1	800 / 1050-1600	154 (210) / 2200	D, D wide
	Diesel, HVO			900 / 1250-1600	176 (240) / 2200	D, D wide
DTI 8	Diesel, HVO	6 v řadě	7,7	950 / 1000-1600	184 (250) / 2200	D, D wide
	Diesel, HVO			1050 / 1000-1500	206 (280) / 2200	D, D wide
	Diesel, HVO			1200 / 1050-1600	235 (320) / 2200	D, D wide
NGT9	BioCNG, CNG	6 v řadě	8,9	1356 / 1050-1250	239 (320) / 1900	D, D wide
DTI 11	Diesel, HVO	6 v řadě	10,8	1800 / 1000-1400	279 (380) / 1800	C, K, T, T High
	Diesel, HVO			2050 / 1000-1400	316 (430) / 1800	C, K, T, T High
	Diesel, HVO			2200 / 1000-1400	290 (390) / 1600	C, K, T, T High
DTI 13	Diesel, HVO	6 v řadě	12,8	2200 / 950-1400	324 (440) / 1450-1900	C, K, T, T High
	Diesel, HVO			2400 / 950-1400	353 (480) / 1450-1900	C, K, T, T High
	Diesel, HVO			2550 / 1000-1450	382 (520) / 1400-1800	C, K, T, T High
Elektrický motor	Elektrina	~	~	425 Nm	130 kW peak 185 kW	D E-tech, D wide E-tech

Tabulka 11. Srovnání motorů Renault Trucks. [28]



Obrázek 12. Otáčková charakteristika motoru NGT9 (CNG) a DTI 8 (nafta). [32]

3.2.5 SCANIA

Nabízí celkem jedenáct modelových řad a díky modulárnímu systému si lze sestavit vozidlo téměř na míru. Kromě naftového pohonu poskytuje alternativní plynový, elektrický a plug-in hybridní řešení pohonu.

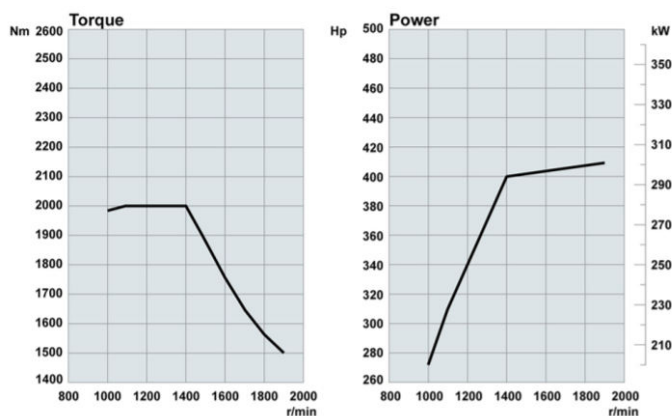
Scania řada L byla vyvíjena pro městské prostředí s nízkým vstupem, kabinou a dalšími prvky, které zvyšují zorné pole řidiče. Řada P je vhodná pro městský a regionální provoz, disponuje nejuniverzálnější kabinou. Byla ověřena ve stavebních a dalších náročných podmínkách. Řada G je o něco větší řada pro dálkovou a regionální či městskou radou nákladního vozidla, nabízí prostornou kabinu a jedinečné užití úložného prostoru. Robustnější a velmi rozšířená řada R je vhodná pro dálkovou přepravu. Řada S je zaměřena především na pohodlí řidiče, nabízí luxusní interiér s rovnou podlahou a velkým prostorem. Řada XT je vyrobena na míru do různých podmínek tak, aby přinesla zákazníkům co nejrychlejší návratnost jejich investic. Řada s posádkovou kabinou ScrewCab až pro osm osob nabízí obrovskou flexibilitu a je vhodná pro vozidla speciálních složek. Scania V8 je nový pohonný řetězec pro těžkou přepravu, s převodovkou Opticruise lze dosáhnout až 6 % úspory paliva.

Scania také nabízí autobusy pro městskou, linkovou i dálkovou přepravu osob. Zástupci městské přepravy osob jsou modelové řady Scania Citywide v normální i ve snížené verzi vyvinuté s maximálním důrazem na spolehlivost, odolnost a energetickou účinnost. Dále všestranná řada Interlink s možností volby přesného počtu sedadel, uspořádání dveří, nosičů atd.. Za zmínku stojí také řada Fencer, která byla navržena a vyrobena ve spolupráci se společností Higer s důrazem na spolehlivost a výkon. Modulární proces výroby usnadňuje servisní úkony a urychluje samotnou výrobu nového vozidla. Dálkové autobusy Scania zastupují řady Touring a Irizar, jsou to vysokopodlažní autobusy dostupné s širokou škálou pohonných řetězců optimalizovanými pro jízdu na delší vzdálenost. Kromě samotných autobusů jsou nabízeny i samotné podvozky jednotlivých řad. [28]

Motory Scania pro nákladní vozidla

Elektrické bateriové nákladní vozidlo Scania ve verzi P a L umožňuje dojezd až 250 km díky 33 kWh trakčním Li-On bateriím, v počtu pěti nebo devíti kusů v závislosti na rozvoru vozidla.

Plynová vozidla Scania disponují dojezdem až 1700 km s LNG nádržemi. Nabízeny jsou pro dálkovou, regionální i městskou přepravu buď s třinácti litrovým plynovým motorem o výkonu 305 kW, nebo devíti litrovým plynovým motorem s výkonem 206 a 250 kW, oba plynové motory splňují emisní normu EURO 6. V případě provozu na Bioplyn lze snížit emise CO₂ až o 90 %. Technologie spočívá v zážehovém principu.



Obrázek 13. Charakteristika plynového 13 l motoru. [29]

EURO 6 Motory nákladních vozidel Scania						
Označení motoru	Palivo	Počet válců, Konstrukce	Zdvihový objem [dm ³]	Krouticí moment [Nm] / otáčky motoru [1/min]	Výkon [kW (Hp)] / otáčky motoru [1/min]	Modelová řada
7-litre	Diesel, HVO	6 v řadě	6,7	1000 / 1050-1500	164 (220) / 1900	L, P, CrewCab, XT
	Diesel, HVO			1100 / 1050-1550	184 (250) / 1900	L, P, CrewCab, XT
	Diesel, HVO			1200 / 1050-1600	206 (280) / 1900	L, P, CrewCab, XT
9-litre	Diesel, HVO	5 v řadě	9	1400 / 1000-1350	206 (280) / 1900	G, L, P, R, CrewCab, XT
	RME, Diesel, HVO			1600 / 1100-1400	235 (320) / 1900	G, L, P, R, CrewCab, XT
	RME, Diesel, HVO			1700 / 1050-1350	265 (360) / 1900	G, L, P, R, CrewCab, XT
9-litre GAS	CNG, BioCNG, LNG, BioLNG	5 v řadě	9	1350 / 1100-1400	206 (280) / 1900	G, L, P, R, CrewCab, XT
				1600 / 1100-1400	250 (340) / 1900	G, L, P, R, CrewCab, XT
Super 13-litre	Diesel, HVO	6 v řadě	13	2300 / 900-1280	320 (420) / 1800	G, L, P, R, CrewCab, XT
	RME, Diesel, HVO			2500 / 900-1290	345 (460) / 1800	G, L, P, R, CrewCab, XT
	RME, Diesel, HVO			2650 / 900-1320	368 (500) / 1800	G, L, P, R, CrewCab, XT
	Diesel, HVO			2800 / 900-1400	412 (560) / 1800	G, R, S, XT
13-litre	Diesel, HVO	6 v řadě	13	1900 / 1000-1300	272 (370) / 1900	G, L, P, R, CrewCab, XT
	RME, Diesel, HVO			2150 / 1000-1300	302 (410) / 1900	G, L, P, R, CrewCab, XT
	RME, Diesel, HVO			2350 / 1000-1300	331 (450) / 1900	G, L, P, R, CrewCab, XT
	RME, Diesel, HVO			2550 / 1000-1300	368 (500) / 1900	G, L, P, R, CrewCab, XT
13-litre GAS	CNG, BioCNG, LNG, BioLNG	6 v řadě	13	2000 / 1100-1400	302 (410) / 1900	G, R
16-litre	Diesel, HVO	V8-90°	16	2700 / 1000-1300	382 (520) / 1900	R, S, V8
	Diesel, HVO			2800 / 1000-1300	392 (530) / 1900	S, V8
	RME, Diesel, HVO			3000 / 950-1350	427 (580) / 1900	R, S, V8
	RME, Diesel, HVO			3050 / 950-1350	440 (590) / 1900	S, V8
	Diesel, HVO			3300 / 950-1350	487 (650) / 1900	R, S, V8
	Diesel, HVO			3300 / 950-1350	492 (660) / 1900	S, V8
	Diesel, HVO			3700 / 1000-1400	574 (770) / 1900	R, S, V8
Elektrický motor	Elektřina	~	~	1300 peak 2200	230 (310) peak 295 (400)	P, L

Tabulka 12. Srovnání motorů nákladních vozidel Scania. [29]

Motory Scania pro autobusy

Autobusy Scania disponují pohonem na naftu v celkem osmi výkonových verzích se 7 litrovým, 9 litrovým a 13 litrovým motorem. Pro snižování emisí je využita technologie SCR a u motoru Super 13-Litre dvojitě SCR.

Plynový zážehový motor je montován pouze v devíti litrové verzi s dvěma výkonovými variantami. Technologie řízení emisí je zde pomocí třicestného katalyzátoru a pomocí recirkulace výfukových plynů (EGR).

Oproti nákladním vozidlům mají hybridní pohon, který zajišťuje kombinace devíti litrového vznětového motoru a permanentního synchronního motoru. Plně elektrický pohon je možný díky 264 kWh nebo 330 kWh baterii složené z osmi nebo desíti bateriových článků o kapacitě 33 kWh. Elektrický autobus lze nabíjet za jízdy stejným proudem o výkonu až 300 kW připojením k městským pantografům, nebo v depu typem CSS 2 o elektrickém výkonu až 150 kW. [29]

EURO 6 Motory autobusů Scania						
Označení motoru	Palivo	Počet válců, Konstrukce	Zdvihový objem [dm ³]	Krouticí moment [Nm] / otáčky motoru [1/min]	Výkon [kW (Hp)] / otáčky motoru [1/min]	Modelová řada
7-litre	Diesel, RME, HVO	6 v řadě	6,7	1200 / 1050-1600	206 (280) / 1900	CityWide LF + LE, Interlink, Fencer
9-litre	Diesel, RME, HVO	5 v řadě	9	1400 / 1000-1350	206 (280) / 1900	CityWide LE, Interlink, Fencer
	Diesel, RME, HVO			1600 / 1100-1400	235 (320) / 1900	CityWide LF + LE, Fencer
	Diesel, RME, HVO			1700 / 1050-1350	265 (360) / 1900	CityWide LE, Interlink, Fencer, Touring, Irizar
9-litre Hybrid	Diesel, RME, HVO	5 v řadě	9	1600 / 1100-1400 + 1030 PSM	235 (320) / 1900 + 130 (97) PSM	CityWide LE, Interlink, Fencer
9-litre GAS	CNG, BioCNG	5 v řadě	9	1350 / 1100-1400	206 (280) / 1900	CityWide LF + LE, Interlink, Fencer
	CNG, BioCNG			1600 / 1100-1400	250 (340) / 1900	CityWide LF + LE, Interlink, Fencer
13-litre	Diesel, HVO	6 v řadě	13	1900 / 1000-1300	272 (370) / 1900	Fencer, Touring, Irizar
	Diesel, RME, HVO			2150 / 1000-1300	302 (410) / 1900	Touring, Irizar
	Diesel, RME, HVO			2350 / 1000-1300	331 (450) / 1900	Touring, Irizar
	Diesel, HVO			2550 / 1000-1300	368 (500) / 1900	Touring, Irizar
Elektrický motor PSM	Elektrina	~	~	2100	250 kW peak 300 kW	CityWide LF, Fencer

Tabulka 13. Srovnání motorů autobusů Scania. [29]

3.2.6 Volvo

Společnost nabízí vše od komunálních služeb až po náročnou regionální a dálkovou přepravu. Zákazník si může vybrat z celkem šesti modelových řad. FH je modelová řada určená převážně pro dálkovou přepravu. Přináší dokonalý zážitek z jízdy a pohodlí i na dlouhých trasách. FH16 je špičková řada přinášející sílu, komfortní řešení a efektivitu. Souprava může v případě nutnosti dosahovat až 325 tun. Řada FM je menší řada nákladního vozidla přizpůsobena pro každý pracovní den, je tedy vhodná pro regionální a dálkovou přepravu. FMX je nejodolnější řada vhodná do terénu i na pevnou komunikaci. Využívá se proto hlavně ve stavebnictví s širokou nastavbovou nabídkou. FE je řada vhodná pro regionální či městský provoz jako vozidlo svozu odpadu, nebo jako vozidlo stavební. Díky lehkému podvozku nabízí vysokou nosnost a všestrannost k práci. Volvo řady FL je mimořádně agilní a spolehlivé malé nákladní vozidlo vhodné především do městského provozu pro středně těžké práce. Je to ideální pomocník s rozvozem zboží s častým zastavováním a rozjížděním vozidla. Lze jej přizpůsobit, aby byl vhodný i do náročnějších podmínek. [34]

Nákladní vozidla Volvo přicházejí i ve verzích, které mohou být poháněny buď CNG, nebo LNG vyráběné ze zemního plynu i bioplynu v závislosti na dostupnosti. Při použití bioplynu a bionafty či syntetické nafty se snižuje CO₂ stopa o 100 % z hlediska tzv. „Tank-To-Wheel“, tedy emise vzniklé pouze provozem, nikoli výrobou a likvidací vozidla. Volvo dále nabízí i možnost koupě vozidel ve verzi s elektrickým pohonem určených především pro krátké trasy mezi sklady, či v městském provozu. [33]

Kromě nákladních vozidel nabízí společnost i autobusy pro městskou linkovou a dálkovou přepravu. Městská řada Volvo 7900 Electric jako plně elektrifikovaná verze autobusu a Volvo 7900 S-Charge s full-hybridním systémem pohonu. Pro linkové autobusy je vhodná řada Volvo 8900 pouze se vznětovým naftovým motorem. Zástupcem dálkové přepravy Volvo je řada Volvo 9700 v jedno nebo dvoupatrové verzi a luxusní řada Volvo 9900, zajišťující komfort a pohodlí cestujícím. [33]

Motory Volvo pro nákladní vozidla

Volvo nabízí do modelové řady FE šestiválcový řadový plynový motor o zdvihovém objemu 8,9 litrů a výkonu 239 kW a maximálním točivém momentu 1356 Nm. Zapálení směsi je realizováno zážehovým principem. Tento motor lze provozovat čistě zemním plynem nebo bioplynem a vystačí si pouze s třísložkovým katalyzátorem.

Do modelové řady FH a FM lze implementovat vznětový plynový dvoupalivový šestiválcový řadový motor nabízený ve dvou výkonových verzích 309 kW s maximálním točivým momentem 2100 Nm a 338 kW s maximálním točivým momentem 2300 Nm. U tohoto motoru jsou obě paliva vstříkována / vefukována přímo do válce v poměru až 95 % plynu a 5 % nafty. Při provozu tohoto motoru na LNG dochází oproti vznětovému k snížení emisí CO₂ o 20 %, pokud je provozován čistě na BioLNG v kombinaci s HVO snižuje emise CO₂ teoreticky o 100 %.

EURO 6 Motory nákladních vozidel Volvo						
Označení motoru	Palivo	Počet válců, Konstrukce	Zdvihový objem [dm ³]	Kroutící moment [Nm] / otáčky motoru [1/min]	Výkon [kW (Hp)] / otáčky motoru [1/min]	Modelová řada
D5K210	Diesel, HVO	4 v řadě	5,1	800 / 1100-1700	154 (210) / 2200	FL
D5K240				900 / 1200-1600	177 (240) / 2200	FL
D8K250	Diesel, HVO	6 v řadě	7,7	950 / 900-1700	184 (250) / 2100	FE, FL
D8K280	Diesel, HVO			1050 / 950-1700	206 (280) / 2100	FE, FL
D8K320	Diesel, RME, HVO			1200 / 1050-1600	235 (320) / 2100	FE, FL
D8K350	Diesel, HVO			1400 / 1200-1600	258 (350) / 2200	FE, FL
G9K320	CNG, BioCNG	6 v řadě	8,9	1356 / 1300-1400	239 (320) / 2000-2100	FE
D11K330	Diesel, HVO	6 v řadě	10,8	1600 / 950-1400	243 (330) / 1600-1900	FM, FMX
D11K380	Diesel, HVO			1800 / 950-1400	280 (380) / 1700-1800	FM, FMX
D11K430	Diesel, HVO			2050 / 1000-1400	316 (430) / 1700-1800	FM, FMX
D11K460	Diesel, HVO			2200 / 1050-1400	338 (460) / 1700-1800	FM, FMX
D13K420	Diesel, HVO	6 v řadě	12,8	2100 / 860-1400	309 (420) / 1400-1800	FH, FM, FMX
D13K460	Diesel, HVO			2300 / 900-1400	338 (460) / 1400-1800	FH, FM, FMX
D13K500	Diesel, HVO			2500 / 980-1270	368 (500) / 1530-1800	FH, FM, FMX
D13K540	Diesel, HVO			2600 / 1000-1450	397 (540) / 1450-1800	FH, FMX
D13K460TC	Diesel, HVO	6 v řadě	12,8	2600 / 900-1300	345 (460) / 1250-1600	FH
D13K500TC	Diesel, HVO			2800 / 900-1300	368 (500) / 1250-1600	FH
G13C420	LNG, BioLNG	6 v řadě	12,8	2100 / 1000-1400	309 (420) / 1400-1800	FH, FM
G13C460	LNG, BioLNG			2300 / 1050-1400	338 (460) / 1700-1800	FH, FM
D16K550	Diesel, HVO	6 v řadě	16,1	2800 / 900-1380	410 (550) / 1380-1700	FH16
D16K650	Diesel, HVO			3150 / 950-1450	480 (650) / 1450-1700	FH16
D16K750	Diesel, HVO			3550 / 950-1400	550 (750) / 1600-1800	FH16
2-3 elektrické motory	Elektřina	~	~	2400	490 (660)	FH, FM, FMX Electric
Elektrický motor	Elektřina	~	~	850	330 (440)	FE Electric
Elektrický motor	Elektřina	~	~	425	165 (220)	FL Electric

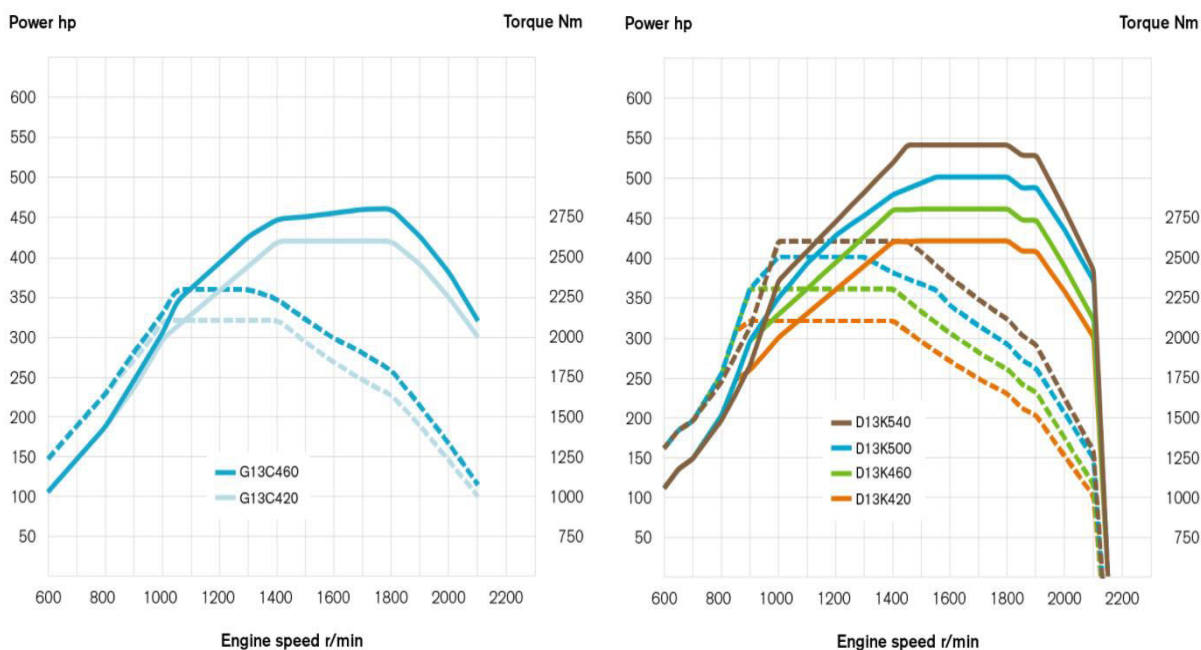
Tabulka 14. Srovnání motorů Volvo pro nákladní vozidla. [34]

Motory Volvo pro autobusy

Společnost Volvo u svých autobusů na evropském trhu upustila od plynových motorů a v současné době nabízí pouze dieselová, hybridní nebo elektrická autobusová vozidla.

EURO 6 Motory autobusů Volvo						
Označení motoru	Palivo	Počet válců, Konstrukce	Zdvihový objem [dm ³]	Kroutící moment [Nm] / otáčky motoru [1/min]	Výkon [kW (Hp)] / otáčky motoru [1/min]	Modelová řada
D5K240 full hybrid	Diesel, HVO	4 v řadě	5,1	900 / 1200-1600 + 800	177 (240) / 2200 + 120 (160)	7900 S Charge
D8K280	Diesel, HVO	6 v řadě	7,7	1050 / 950-1700	206 (280) / 2100	8900
D8K320	Diesel, RME, HVO			1200 / 1050-1600	235 (320) / 2100	8900
D8K350	Diesel, HVO			1400 / 1200-1600	258 (350) / 2200	8900
D11K380	Diesel, HVO	6 v řadě	10,8	1800 / 950-1400	280 (380) / 1700-1800	9700
D11K430				2050 / 1000-1400	316 (430) / 1700-1800	9700, 9900
D11K460				2200 / 1050-1400	338 (460) / 1700-1800	9700, 9700 Double Decker, 9900
Elektrický motor	Elektrina	~	~	19000 na kole	85 peak 200	7900 Electric
2x Elektrický motor	Elektrina	~	~	31000 na kole	2x85 peak 2x200	7900 Electric

Tabulka 15. Srovnání motorů Volvo pro autobusy. [33]

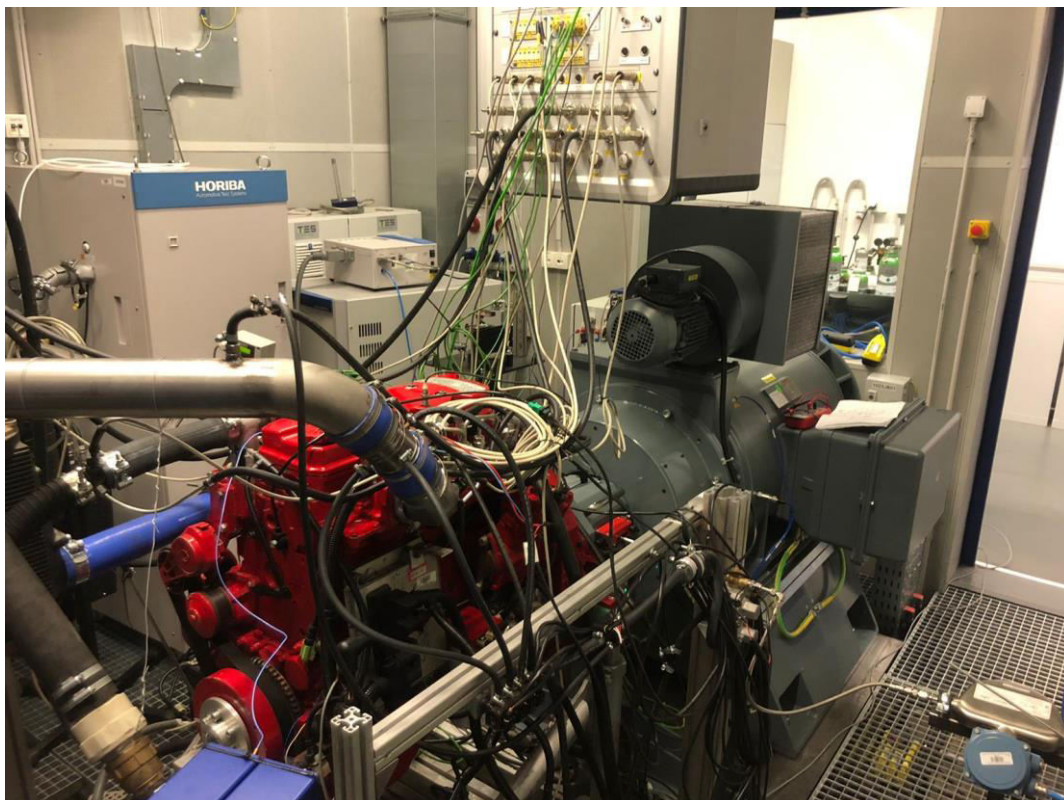


Obrázek 14. Charakteristiky motorů Volvo. [34]

4 Funkční vzorek dvoupalivového motoru CUMMINS ISBe4 na zemní plyn a naftu

V laboratoři katedry vozidel a motorů na Technické univerzitě v Liberci je zhotoven funkční vzorek dvoupalivového plynového vznětového motoru na zemní plyn a naftu. Jedná se o řadový čtyřválcový přeplňovaný vznětový motor CUMMINS ISBe4 o zdvihovém objemu 4,5l s kompresním poměrem 17,3:1. Jmenovitý výkon motoru při provozu na naftu je 152 kW při 2500 otáčkách za minutu, maximální točivý moment je 760 Nm. Původní palivový systém common rail je ovládán řídicí jednotkou ECM 850 schopnou třífázového vstřikování nafty do válce v závislosti na provozním režimu. Předvstřiková malá dávka cca 30° před horní úvratí, hlavní dávka nafty cca 10° před horní úvratí a malá dostřiková dávka je vstřikována cca 30° až 50° za horní úvratí pístu motoru. Motor je uchycen na zkušební stoličce, kde je propojen s aktivní brzdou simulující zatížení motoru.

Původně naftový motor je osazen plynovým systémem STAG Diesel, dodaný společností AUTOGAS – CENTRUM s.r.o. Strakonice, umožňující duální provoz motoru. Systém zahrnuje regulátor tlaku plynu, vefukovací ventily, směšovač vzduchu s plynem, řídicí jednotku a snímače různých provozních parametrů, například senzor klepání, snímač teploty výfukových plynů, snímač teploty a tlaku plynu před vefukovači, lambda sondu pro snímání obsahu kyslíku ve výfukových plynech. Snižování dávky nafty lze provést dvěma způsoby. První je kumulace signálu tlaku nafty v systému common rail. Plynová jednotka uměle zvýší hodnotu tlaku, aby původní řídicí jednotka snížila vstřikovací časy naftových vstřikovačů. Druhá možnost je kumulace signálu plynového pedálu, kde se podobným způsobem obelhává původní jednotka, tedy umělé snížení hodnoty polohy plynového pedálu.



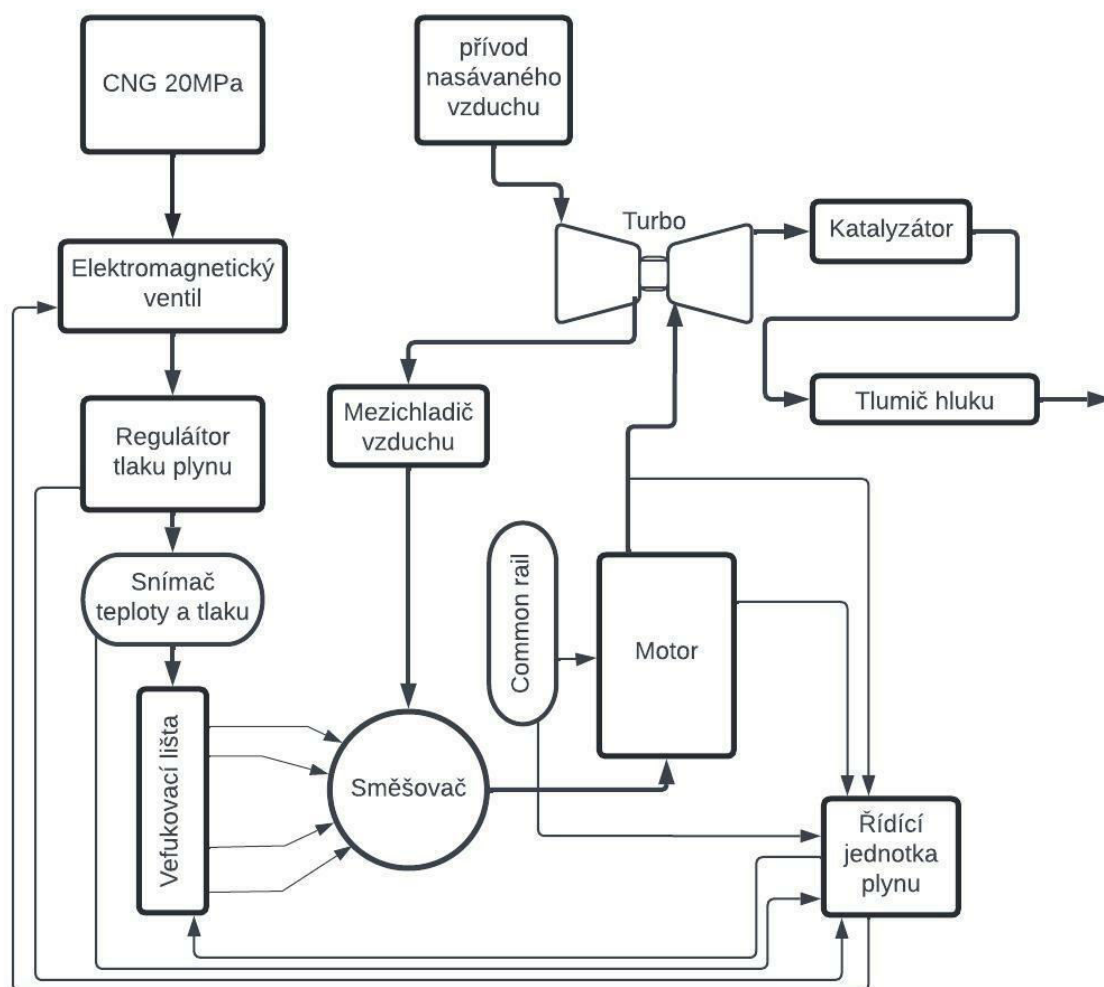
Obrázek 15. Funkční vzorek dvoupalivového motoru v laboratoři TUL 1.



Obrázek 16. Funkční vzorek dvoupalivového motoru v laboratoři TUL 2.

4.1 Uspořádání plynového palivového systému

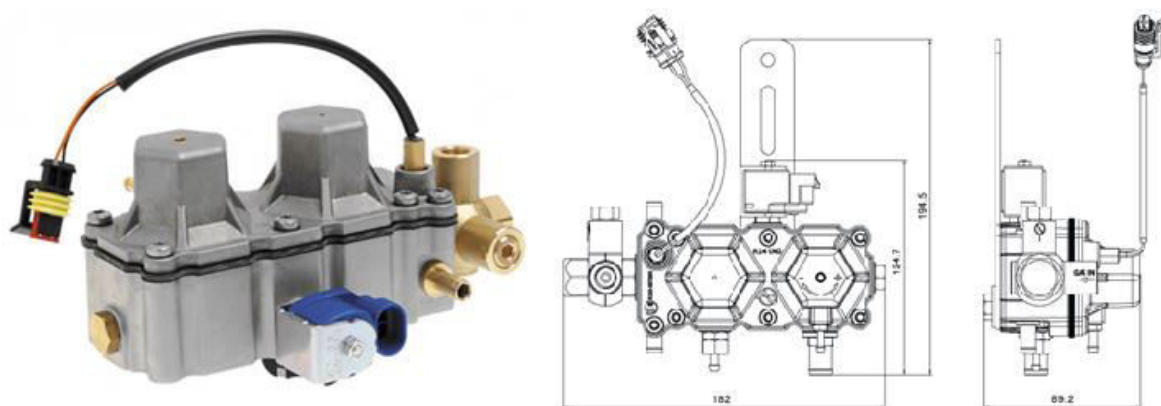
Zemní plyn je veden z tlakového zásobníku do tlakového reduktoru, kde je snížen jeho tlak, dále je veden přes snímač teploty a tlaku do vefukovací lišty se čtyřmi elektromagnetickými ventily, odkud je dávkován do směšovače s vefukovacími tryskami, kde se mísí s nasávaným vzduchem.



Obrázek 17. Blokové schéma plynového palivového příslušenství. [2]

4.1.1 Tlakový regulátor plynu

Tlakový regulátor plynu typ STAG R14 je dvoustupňový, membránový, chladicí kapalinou vyhřívaný reduktor. Je vybaven elektromagnetickým ventilem umožňující rychlé zastavení přívodu plynu do motoru v případě poruchy, nebo vypnutí plynového pohonu uživatelem. Maximální vstupní tlak je 26 MPa a výstupní tlak lze nastavit v rozsahu 160 až 240 kPa.



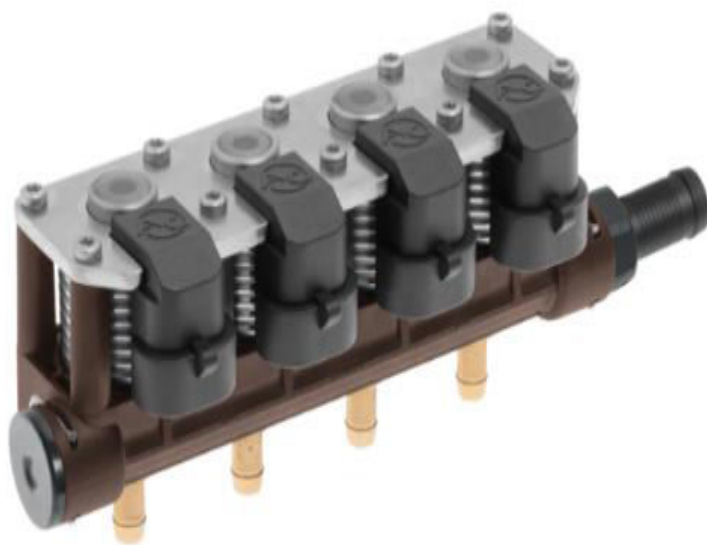
Obrázek 18. Regulátor tlaku plynu. [11]

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

Tabulka 16. Parametry regulátoru tlaku plynu. [11]

4.1.2 Vefukovací lišta plynu

Vefukovací lišta je sestava čtyř elektromagnetických vefukovacích ventilů typ STAG AC W02 a společné lišty, skrz kterou je přiváděn zemní plyn k jednotlivým ventilům, a na níž jsou ventily uchyceny. Elektromagnetické vefukovací ventily jsou ovládány proudem o napětí 12 V. Elektrický odpor cívky je 1,9 Ω . Maximální provozní tlak je 400 kPa a při tlakovém spádu 120 kPa je průtok plynu 125 litrů za hodinu. Otevírací doba ventilu je 2 ms a zavírací 1ms.

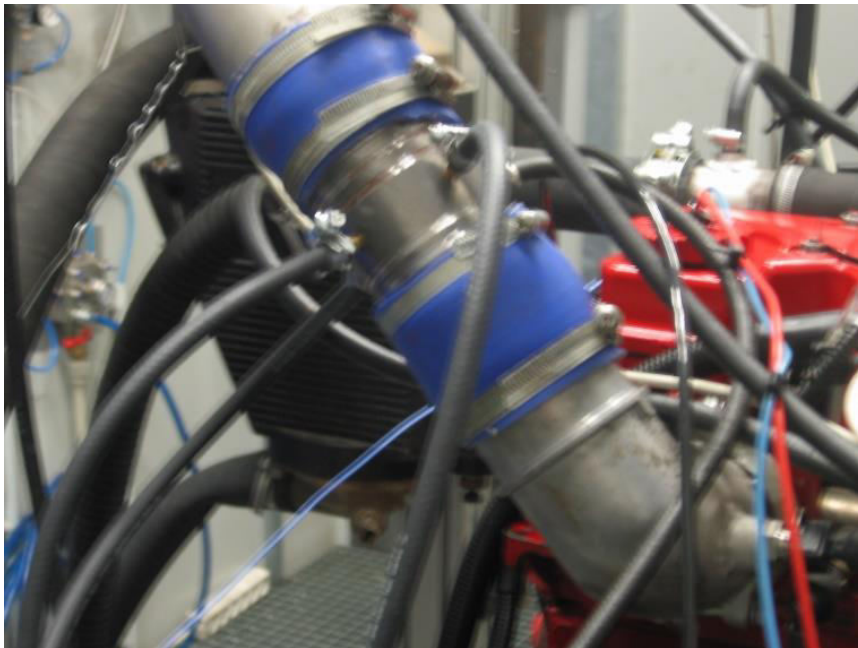


Obrázek 19. Vefukovací lišta typ STAG AC W02. [11]

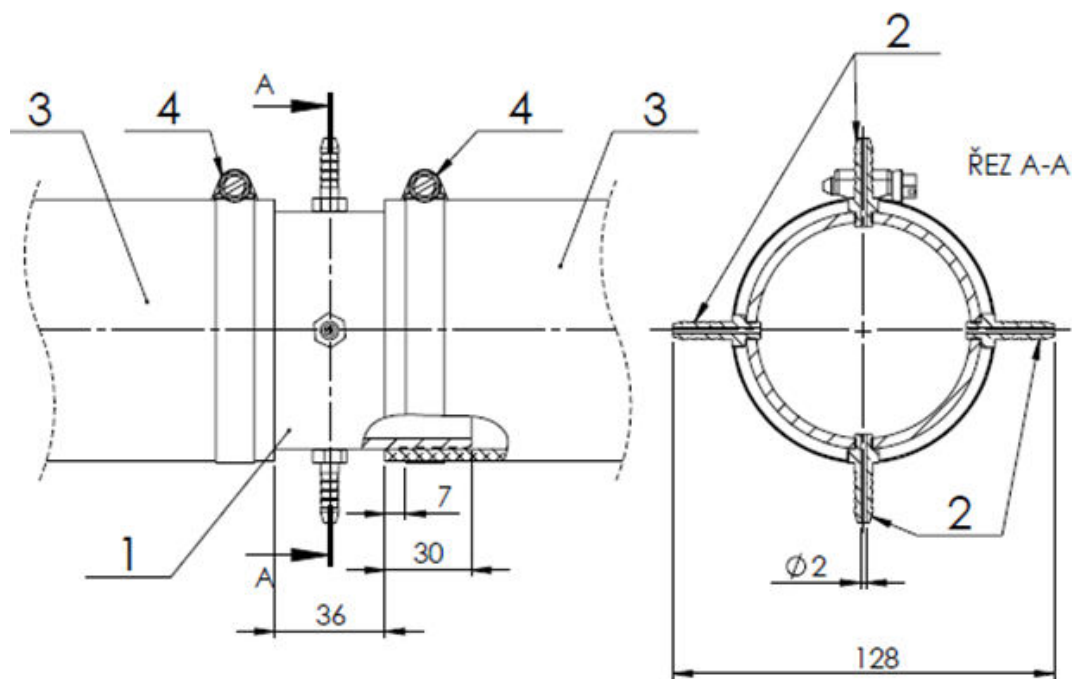
4.1.3 Směšovač

Od vefukovací lišty je hadičkami přiváděn zemní plyn k jednotlivým tryskám vefukujících zemní plyn do sání motoru.

Směšovač je tvořen ocelovou trubkou s vnitřním průměrem 72 mm a je umístěn v sacím potrubí za mezichladičem stlačeného vzduchu, jak je možno vidět na obrázku č.20.



Obrázek 20. Fotografie směšovače funkčního vzorku.



Obrázek 21. Montážní schéma směšovače.[2]

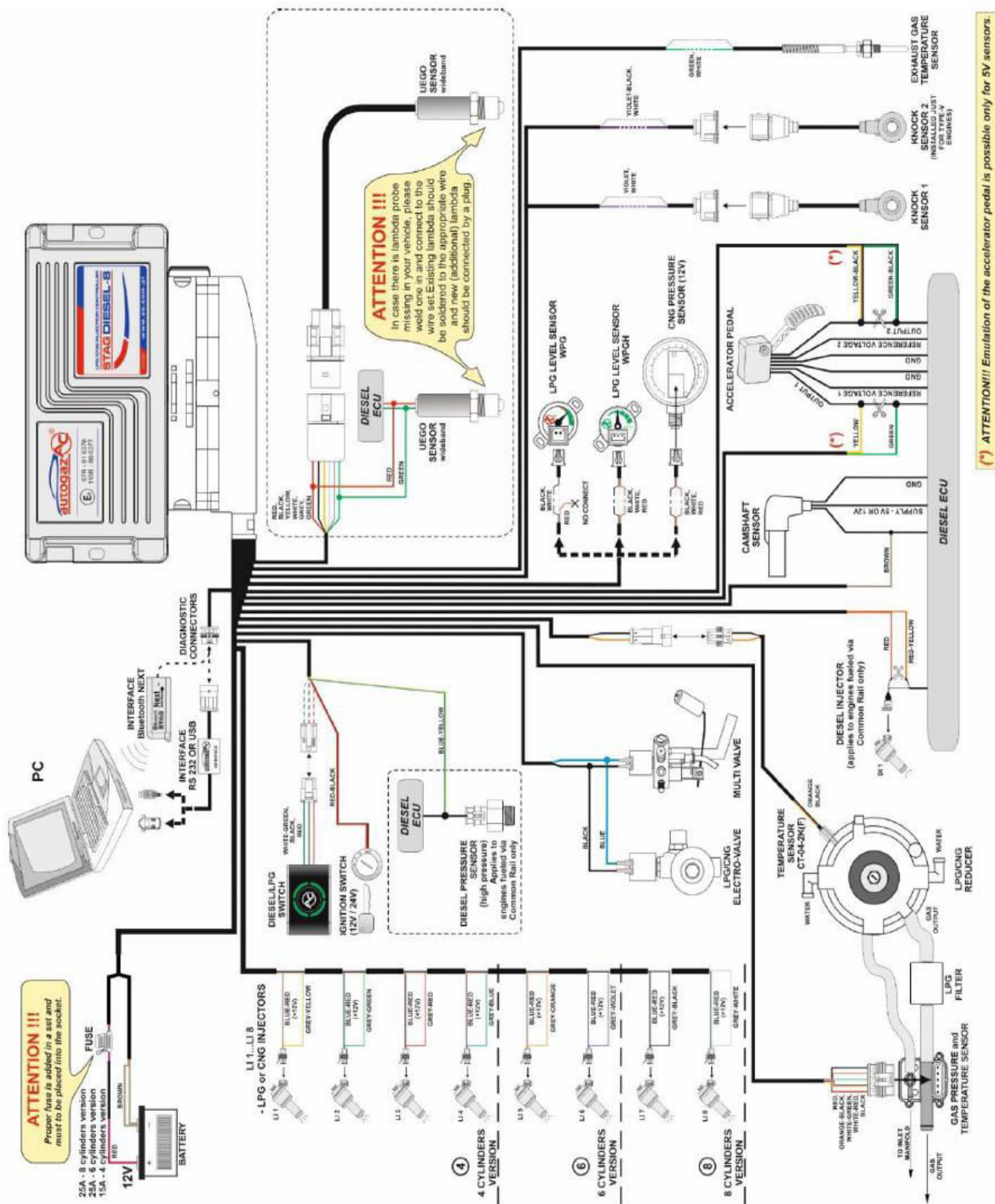
4.1.4 Plynová řídicí jednotka

Vedle originální řídicí jednotky naftového motoru je naistalována ještě řídicí jednotka zemního plynu. Tato jednotka umožňuje ovládání vefukovacích ventilů a zároveň kumuluje signál původní jednotce pro snížení dávky vstřikované nafty.

Do řídicí jednotky jsou přivedeny signály ze snímače teploty a tlaku umístěné před vefukovací lištou zemního plynu, ze snímače klepání upevněného na bloku motoru, ze snímače teploty výfukových plynů umístěného za svody výfukových plynů a z širokopásmové lambda sondy umístěné rovněž mezi svody výfukových plynů a turbodmychadlem. Signál určený ke kumulaci lze přivést z akceleračního pedálu nebo z vysokotlakého snímače tlakového zásobníku nafty před vstřikovači. Na funkčním vzorku je kumulován signál z akceleračního pedálu.



Obrázek 22. Řídicí jednotka plynového systému STAG Diesel. [11]



Obrázek 23. Schéma elektrického zapojení plynového systému. [11]

4.2 Měřicí přístroje a zařízení

Na funkčním vzorku motoru jsou upevněny snímače pro měření parametrů motoru, které velmi podrobně hodnotí chování motoru v provozu na alternativní paliva. Hodnoceny jsou zejména emise výfukových plynů, průběh tlaku ve válci motoru, průtoky paliv, průtoky nasávaného vzduchu, průtok výfukových plynů a hodnoty lambda.

Všechny naměřené hodnoty jsou elektronicky zpracovávány a sledovány z řídicího stanoviště.

4.2.1 Dynamometr D-MPO Z1710665.001

Aktivní brzda neboli asynchronní dynamometr typ D-MPO Z1710665.001 od firmy SCHORRCH GmbH je schopen ubrzdít až 500 kW při 3000 otáčkách za minutu a je schopen dodávat až 475 kW v motorickém chodu pro simulaci jízdy z kopce, kde se částečně brzdí motorem. Řídicí systém dynamometru umožňuje rychlé změny zátěže a lze ho naprogramovat například pro homologační emisní testy NRTC a WHTC. Dynamometr je řízen systémem od firmy TES Vsetín s.r.o. a kromě toho, že simuluje zátěž motoru, snímá také otáčky a točivý moment motoru. [31]

		Motorický chod				Generátorický chod			
Kmitočet	Hz	6,0	66,0	118,0	251,5	6,0	66,0	118,0	248,7
Napětí	V	38	400	400	400	34	400	400	400
Výkon	kW	37	465	465	220	38,5	465	465	220
Toč. mom.	Nm	2270	2270	1270	280	2310	2310	1290	290
Proud	A	880	890	790	375	890	890	760	360
Otáčky	1/min	156	1957	3497	7502	203	2003	2581	7502

Tabulka 17. Parametry dynamometru CHORCH GmbH. [31]

4.2.2 HORIBA MEXA-ONE D1 EGR

HORIBA MEXA-ONE D1 EGR je zařízení pro měření emisních hodnot výfukových plynů. Zařízení obsahuje různé analyzátory pro jednotlivé emisní složky, jako je CO, CO₂, NO_x, THC, CH₄, N₂O a O₂ s měřicí frekvencí 10 Hz. Plyn je před vlastním rozborem vyhříván v jednotce OVN-235H, ze které jsou odebírány vzorky. FIA-02O-ND je vyhříván analyzátor složek THC v rozsahu 0 až 60 000 ppm a CH₄ v rozsahu 0 až 25 000 ppm. CLA-02OV-3 je rovněž vyhříván analyzátor pro měření NO_x a NO₂ složek

s odezvou 1 sec a rozsahem 0 až 10 000 ppm. AIA-11 pro měření složky CO s odezvou 1,3 sekundy a rozsahem 0 až 5 000 ppm. AIA-33 je přepínatelný analyzátor pro měření CO do 12 % nebo CO₂ složek do 25 % s odezvou jedné sekundy. Analyzátor AIA-32 se sekundovou odezvou je určen pro měření složky CO₂ do 20 %. Měření složky O₂ zajišťuje analyzátor MPA-01 s odezvou 1,4 sekundy a v rozsahu 0 až 25 %. Přístroj se kalibruje pomocí plynů jednotlivých složek s předepsanou čistotou. [19]

4.2.3 HORIBA PTFM-1000

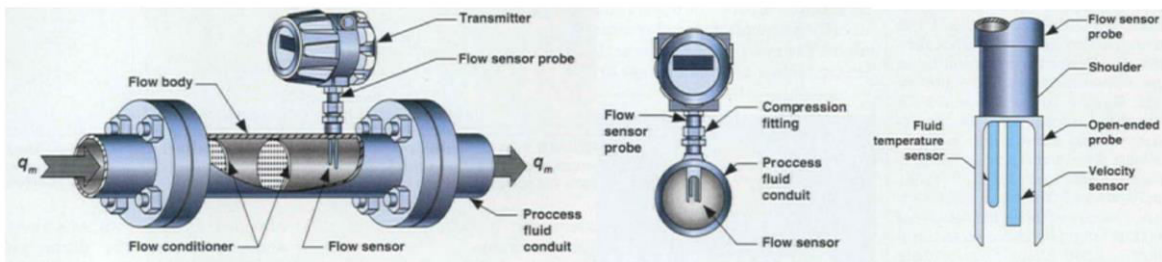
Průtokoměr výfukových plynů HORIBA PTFM-1000 měří rozdíl celkového a statického tlaku, s jehož pomocí vypočítá rychlost proudícího plynu a následně ze známého průřezu objemový průtok. Pro upřesnění výpočtu zahrnuje rovnice i teplotní a tlakovou kompenzaci. Rozsah měření je od 0 do 10 m³/min. [19]



Obrázek 24. Průtokoměr výfukových plynů HORIBA PTFM-1000. [19]

4.2.4 Sierra Instruments Mass Flow Meter/620

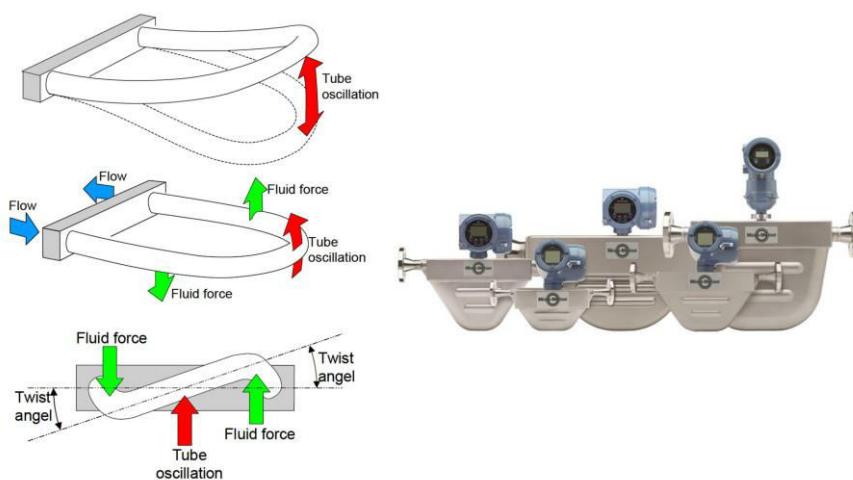
Množství nasávaného vzduchu je měřeno anemometrickým průtokoměrem vzduchu Sierra Instruments Mass Flow Meter/620. Skládá se z teplotního senzoru a elektricky vyhřívaného tělesa umístěných v potrubí. Těleso je vyhříváno na teplotu, která zajišťuje konstantní teplotní spád vůči proudící tekutině. Proudění a teplotní spád zabezpečuje přenos tepelné energie, která je úměrná rychlosti v potrubí. Průtokoměr vyhodnocuje rychlost podle dodávané elektrické energie potřebné pro ohřev tělesa. Rozsah měření je od 0 do 1000 kg/h. [30]



Obrázek 25. Schéma průtokoměru vzduchu Siera Instruments. [8]

4.2.5 Micro Motion Elite CMF 010 a Coriolis Flow Meter/CMF010

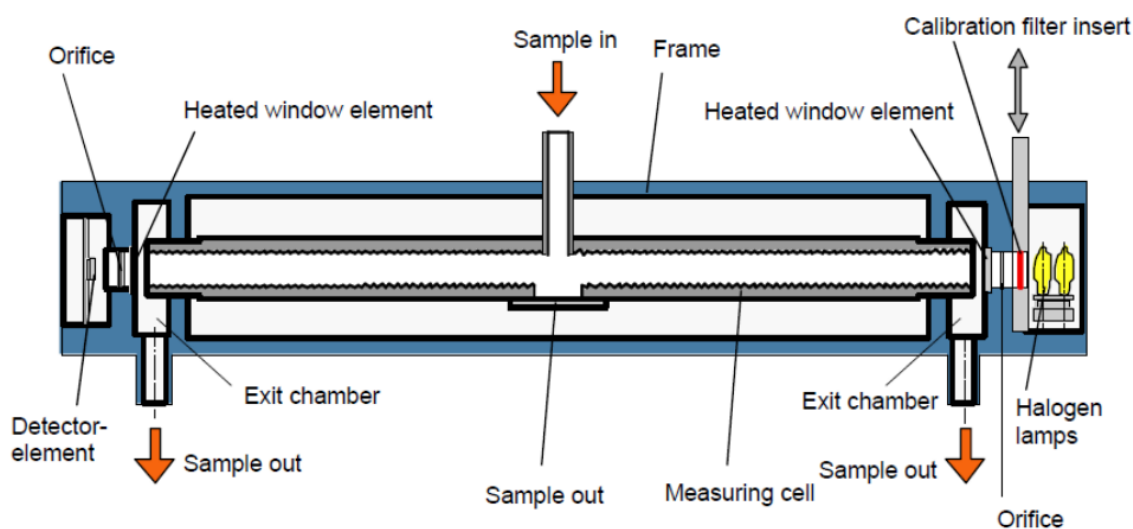
Jsou to průtokoměry paliva založené na Corioliho efektu. Průtokoměr využívá trubici ve tvaru U, ve které proudí měřená tekutina. Trubice je následně rozvibrována na rezonanční frekvenci za pomoci kapacitního, piezoelektrického nebo elektromagnetického pohonu. Proudící kapalina a Coriolisova síla způsobuje vychýlení nebo zkroucení trubice z její geometrické roviny. Tím, jak tekutina putuje trubicí, se její setrvačnost střídavě zesiluje a odolává vibracím, kterým je vystavena a vyvolává zkroucení trubice. Velikost zkroucení je přímo úměrná hmotnostnímu toku. Průtokoměry jsou schopny měřit v rozsahu 0 až 108 kg/h. Průtokoměry slouží pro měření spotřeby zemního plynu a motorové nafty. Při měření průtoku nafty je jeden průtokoměr umístěn na vstupu a druhý měří průtok paliva ve zpětné větvi. Celková spotřeba nafty je rozdíl hodnot mezi prvním a druhým průtokoměrem. [27]



Obrázek 26. Corioliov průtokoměr. [27]

4.2.6 Opacimetr AVL 439

Opacimetr AVL 439 je zařízení pro měření tzv. kouřivosti. Princip spočívá v prosvětlování výfukových plynů. Na opačném konci je světelný sensor, který měří pohlcené světlo plynem. Rozsah opacity je od 0 do 100 % s přesností 0,1 % a časovou odezvou 0,1 sekundy, absorpční koeficient 0-10 m⁻¹. Zařízení splňuje předpisy EHK 24 a je schváleno pro zákonné testy ECE-R 24 – EEC 72/306, HD EURO 3, EURO 4 a EURO 5, ELR test, ISO 8178 a SAE J 1667. [12]



Obrázek 27. Konstrukční schéma opacimetru. [13]

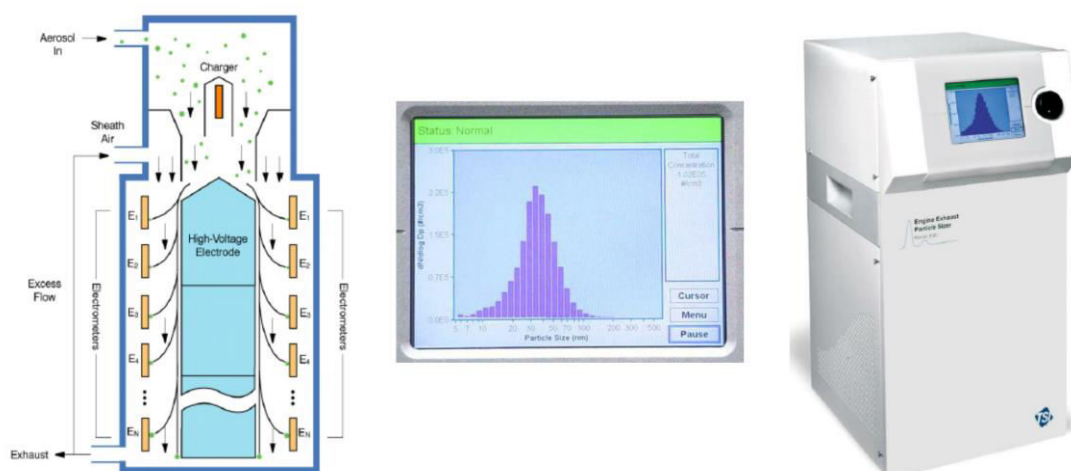
4.2.7 AVL X-ion/AVL Indimeter 619k

Pro monitorování průběhu tlaku ve válci motoru a analýzu spalování je použito zařízení AVL X-ion/AVL Indimeter 619k. Aby bylo měření co nejpodrobnější sbírá toto zařízení data s vysokou frekvencí. Kromě tlaků ve válci je zařízení schopno sbírat data ze sacího, nebo výfukového potrubí a lze ho použít i pro snímání tlaku palivového systému. Aby nasbíraná data mohla být vyhodnocena v závislosti na úhlu pootočení klikové hřídele, je zařízení doplněno inkrementálním snímačem otáček motoru s přesností 1°. [12]

4.2.8 Spectrometer TSI 3090 EEPS

Spectrometer TSI 3090 EEPS je měřicí zařízení pro klasifikaci pevných částic. Měří koncentraci a velikost pevných částic od 5,6 nm do 560 nm na jeden cm³. Částice

obsažené v aerosolu vstupují do přístroje přes filtrační vložku zabráňující vstupu částicím větší než 1 μm , které jsou mimo rozsah měřicího přístroje. Dále částice procházejí elektrickou difúzní nabíječkou, ve které jsou generovány ionty. Ty se mísí s částicemi a předávají jim elektrický náboj, který je závislý na velikosti částice. Poté částice vstupují do prstencovité mezery, kde se smísí s čistým vzduchem. Vnější válec je tvořen sadou navzájem izolovaných kroužků představující elektrody, a je připojen k velmi citlivému zesilovači náboje. Vnitřní válec je připojen ke kladnému vysokonapětovému zdroji a tvoří vysokonapětovou elektrodu. Částice, které dosednou na snímač elektrody, předají svůj náboj a generují proud, který je zesílen a měřen. Výstupem je graf znázorňující počet částic jednotlivých velikostí v 1 cm^3 výfukových plynů. [14]



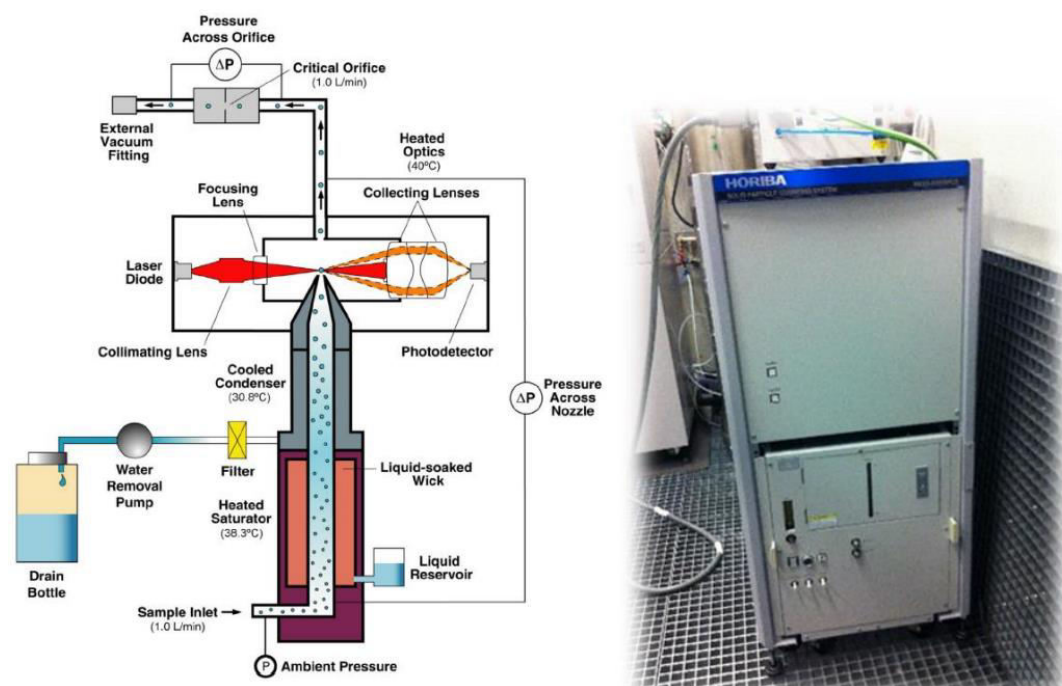
Obrázek 28. Schema spectrometru TSI 3090 EEPS. [14]

4.2.9 HORIBA MDLT-ONE

Pevné částice podléhají i gravimetrickému měření v zařízení HORIBA MDLT-ONE. Malá část výfukových plynů je smíchána s přefiltrovaným vzduchem, aby byl zajištěn konstantní průtok přes filtry pevných částic a Ventouriho trubice. Pro dosažení maximální přesnosti se zařízení před použitím kalibruje proudícím vzduchem přes dva sériově zapojené Ventouriho průtokoměry a softwarově nastaví korekci. Toto zařízení umožňuje měřit částice větší než 47 nm. [19]

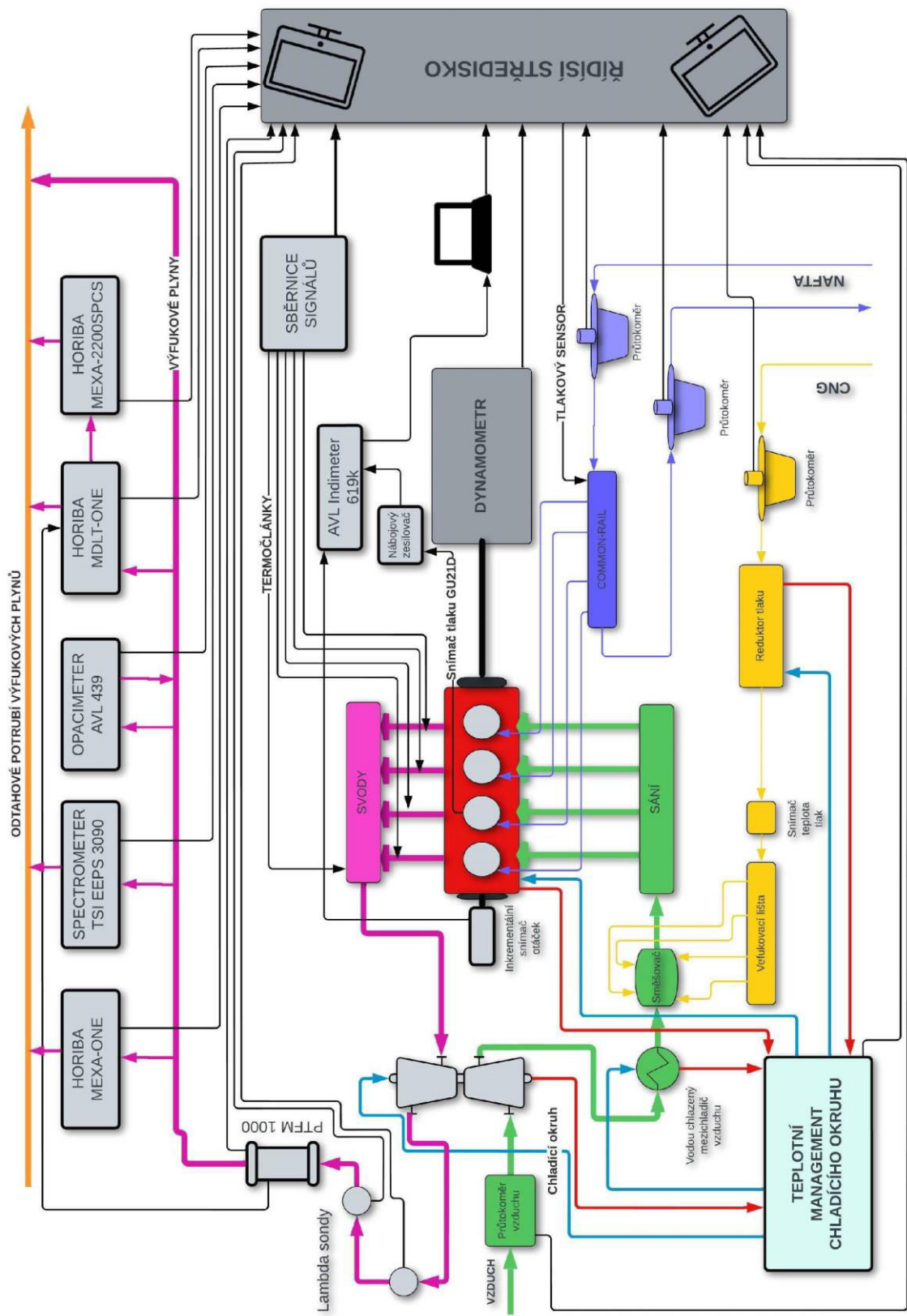
4.2.10 HORIBA MEXA 2200SPCS

Zředěné výfukové plyny putují z HORIBA MDLT-ONE do zařízení HORIBA MEXA 2200SPCS kde se měří jejich koncentrace v rámci specifikovaného rozsahu velikosti částic, tj. nad 23 nm. Tento systém odpovídá standardu měření koncentrace částic podle předpisu EHK OSN č.83, rev. 3, pozměňovací návrh 2. Zařízení se skládá z detektoru neboli počítačla kondenzačních částic a jednotky pro odstraňování těkavých částic složené z primárního řediče, sekundárního řediče a odpařovací trubice. Měření částic probíhá v reálném čase pomocí laserového rozptylu počítání kondenzačních částic. Rozsah měření pevných částic je od 0 do 10 000 částic na jeden cm^3 a od 0 do 50 000 částic na cm^3 při vnitřním ředění výfukových plynů. [19]



Obrázek 29. Princip měření pevných částic laserovým rozptylem.

[13]



Obrázek 30. Schéma zapojení měřicích přístrojů a zařízení.

4.3 Postup měření

Měření bylo provedeno ve třech režimech při 1500, 1900 a 2300 otáček za minutu s postupně zvyšujícím se zatěžujícím točivým momentem motoru v provozu na naftu a v dvoupalivovém provozu na zemní plyn společně s naftou. Řídící systém motoru reguloval polohu akceleračního pedálu pro udržení nastaveného točivého momentu.

Před začátkem měření byla provedena kalibrace měřících přístrojů a motor byl ohřát na provozní teplotu při otáčkách motoru 1000 1/min a mírném zatížení.

Počáteční zatěžující moment byl zvolen 150 Nm se zvyšujícím se skokem 50 Nm až do maximální hodnoty v daném režimu. Vrchní hranice zatěžujícího momentu byla nastavena na 800 Nm. Sběrná frekvence dat z měřících přístrojů a zařízení laboratoře byla zvolena 10 Hz, výstupní formát souboru .TDMS.

4.4 Výsledky měření a porovnání s dřívějším provozem motoru na LPG a naftu

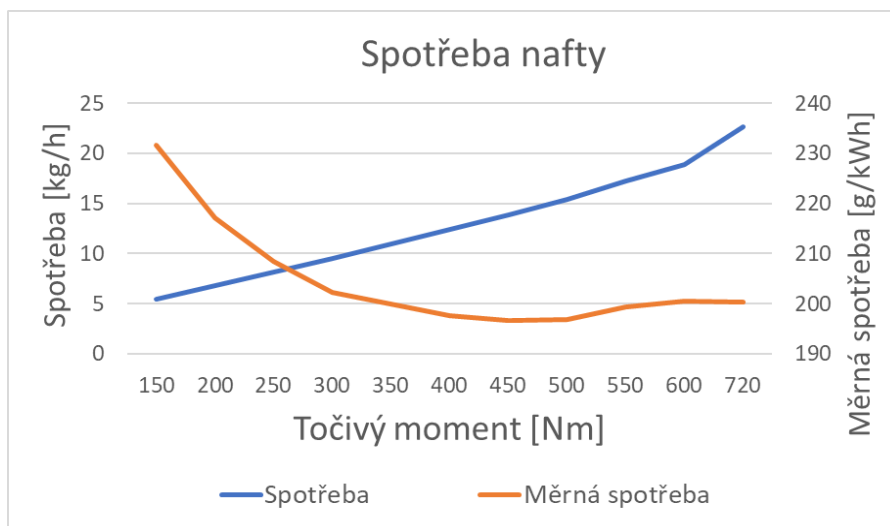
Naměřená data byla zpracována pomocí softwaru NI DIAdem a MS Excel a byly z nich vytvořeny grafy porovnávající zkoumané parametry v naftovém, dvoupalivovém provozu zemní plyn / nafta a dvoupalivovém provozu LPG / nafta z dřívějšího experimentu Technické univerzity v Liberci funkčního vzorku téhož motoru se vstřikováním kapalného LPG do sání.

Zkoumané parametry jsou otáčky a točivý moment motoru, teploty výfukových plynů, spotřeba paliva v provozu na naftu, tepelný příkon a podíl plynného paliva ve dvoupalivovém provozu. Další parametry, jako jsou výfukové emise a průběh tlaků ve válci, nebylo možné naměřit z důvodu závady v systému měření emisí a poškozeného vysokotlakého snímače. Tyto závady byly odstraněny. Během ohřevu motoru před dalším měřením došlo k havarii spojky (motor-dynamometr) dodané společností TES, s.r.o. a k poškození snímače otáček snímače otáček uloženého ve spojnici

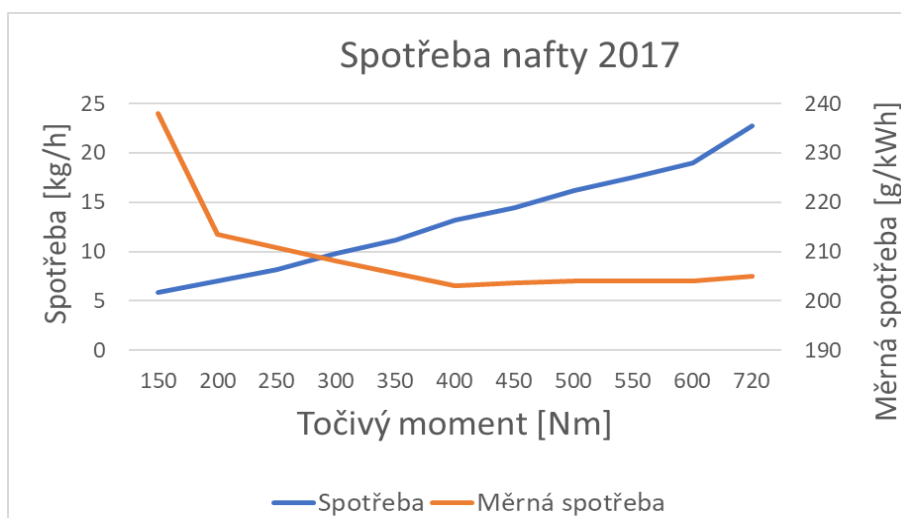
4.4.1 Režim 1500 1/min

Spotřeba nafty v zatěžovací charakteristice motoru v provozu na naftu ukazuje na velmi kvalitní parametry naftového motoru. Od středního do plného zatížení má motor velmi nízkou měrnou spotřebu paliva, což značí vysokou účinnost dosahující přibližně 40-42 %.

V porovnání s dřívějšími experimenty nafta/LPG jsou hodnoty spotřeby nafty téměř identické. Mírné odchylky mohou být způsobeny odchylkou měření.

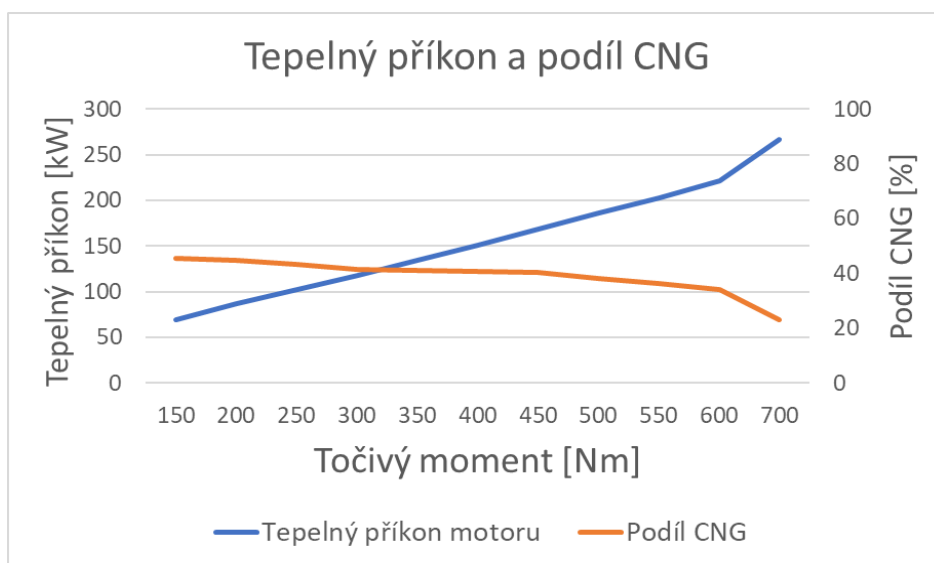


Obrázek 31. Graf spotřeby nafty v režimu 1500 1/min.

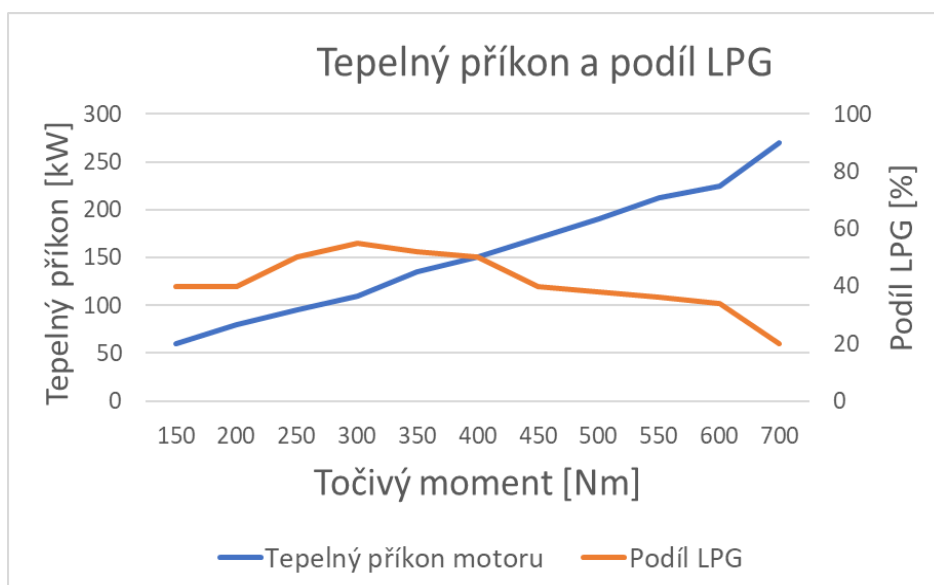


Obrázek 32. Graf spotřeby nafty v režimu 1500 1/min při dřívějším experimentu. [3]

Tepelný příkon a podíl plynného paliva ukazují na téměř konstantní nahrazení nafty zemním plynem v hodnotách mezi 40 až 50 % od nízkého zatížení až po téměř maximální zatížení motoru. V porovnání s dřívějšími experimenty při provozu motoru na LPG/nafta je nahrazený podíl z hlediska množství energie přivedené plynným palivem téměř identický, až na oblast středního zatížení.

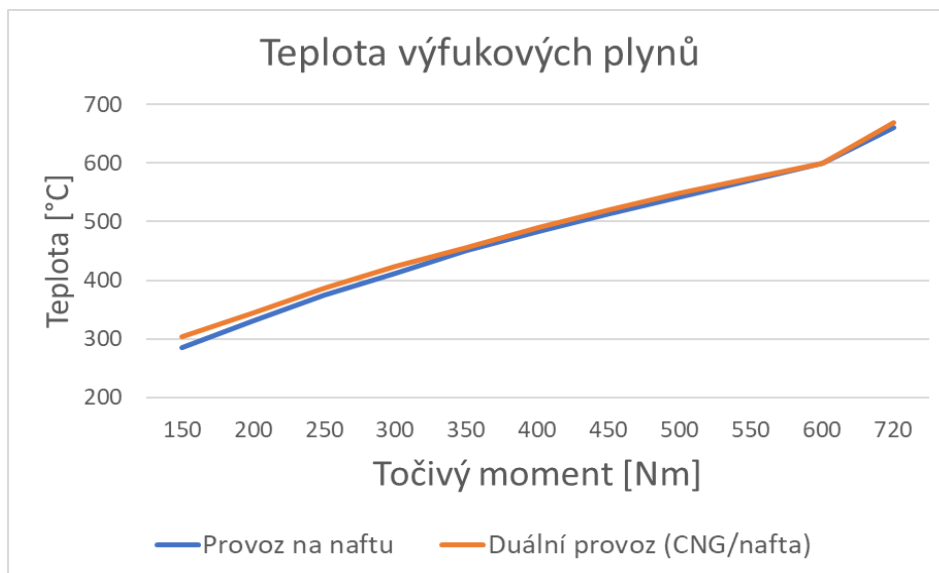


Obrázek 33. Graf tepelného příkonu a podílu CNG v režimu 1500 1/min.

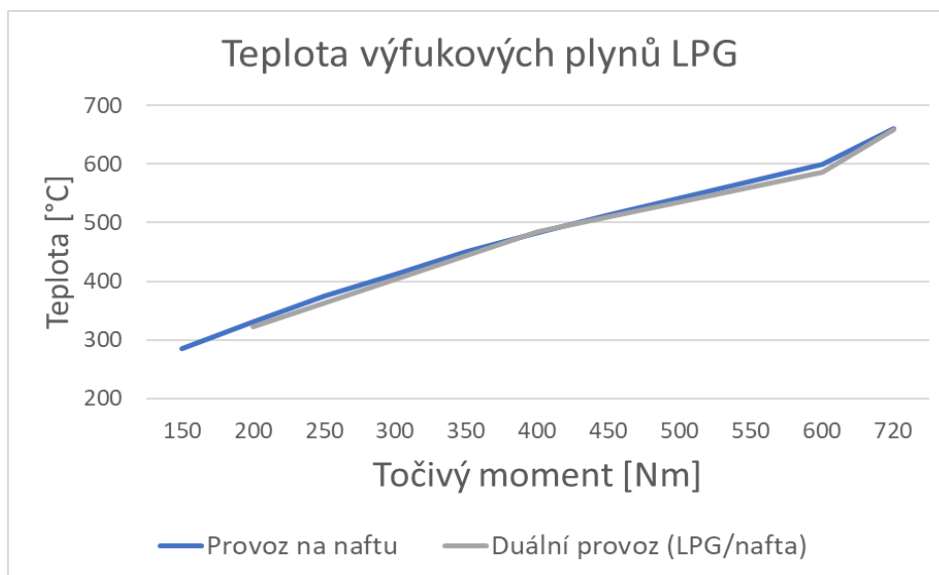


Obrázek 34. Graf tepelného příkonu a podílu LPG v režimu 1500 1/min dřívějšího experimentu. [3]

Teploty výfukových plynů jsou v zátěžovém režimu 1500 1/min dvoupalivového pohonu na CNG/nafta a LPG/nafta jsou téměř identické s teplotami výfukových plynů při provozu na naftu.



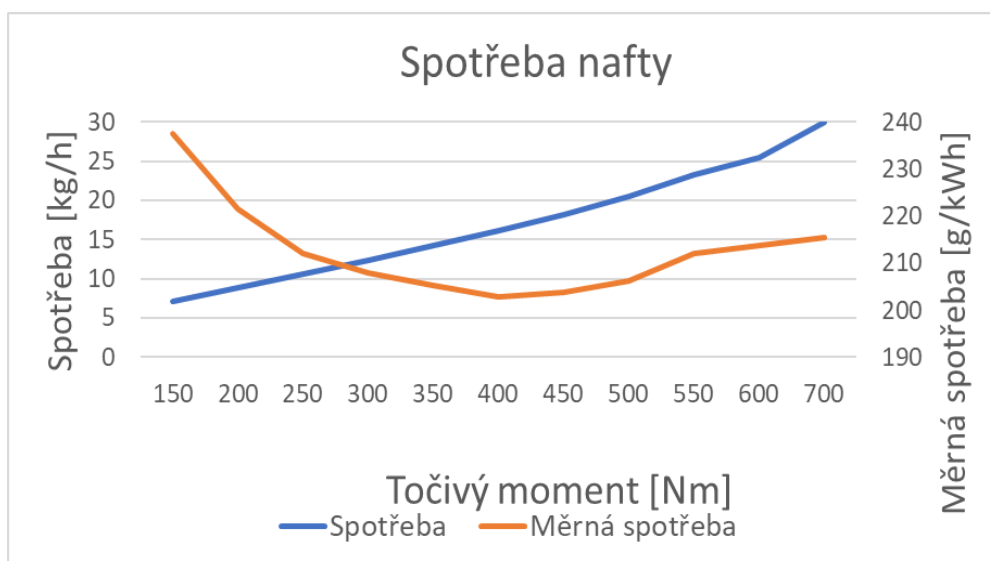
Obrázek 35. Graf teplot výfukových plynů v režimu 1500 1/min.



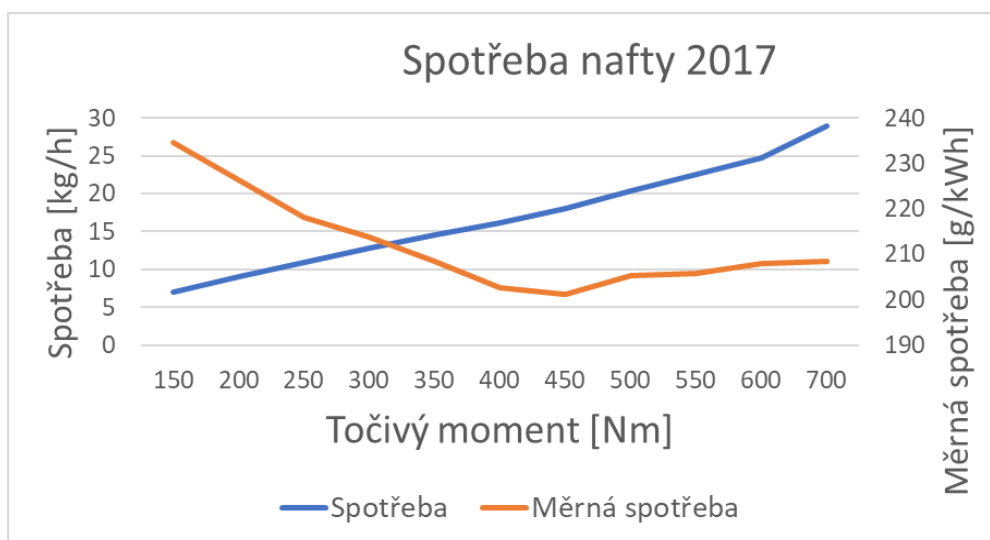
Obrázek 36. Graf teplot výfukových plynů v režimu 1500 1/min dřívějšího experimentu [3]

4.4.2 Režim 1900 1/min

V otáčkovém režimu 1900 1/min je měrná **spotřeba nafty** vyšší ve vysokém zatížení motoru oproti režimu 1500 1/min, to značí mírně sníženou účinnost motoru v tomto rozsahu. Motor ale i tak dosahuje účinnosti okolo 40 % ve středně vysokém a vysokém zatížení.

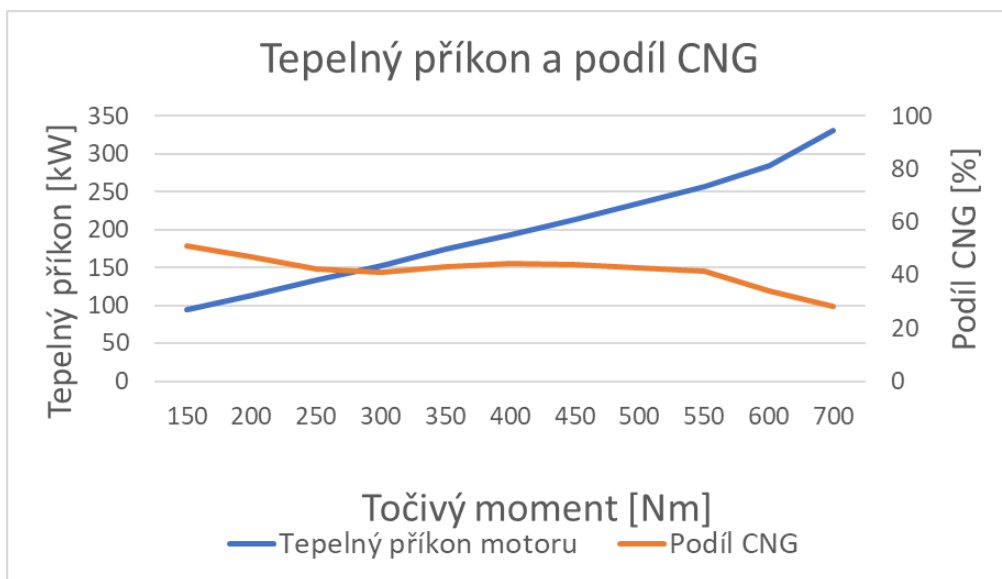


Obrázek 37. Graf spotřeby nafty v režimu 1900 1/min.

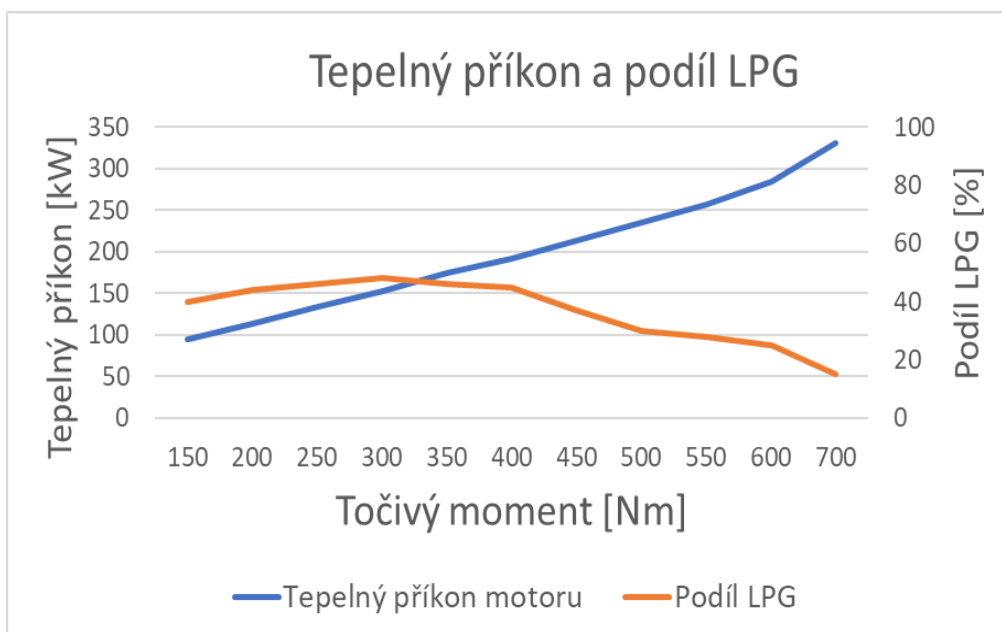


Obrázek 38. Graf spotřeby nafty v režimu 1900 1/min při dřívějším experimentu. [3]

Tepelný příkon motoru v režimu 1900 1/min je v obou typech pohonu CNG / nafta a LPG / nafta identický. Tento fakt poukazuje na stejnou účinnost motoru pro oba režimy. **Podíl plynného paliva** je u pohonu CNG / nafta v nízkém zatížení poměrně vysoký, ve středním pásmu konstantní a při vysokém zatížení má klesající tendenci.

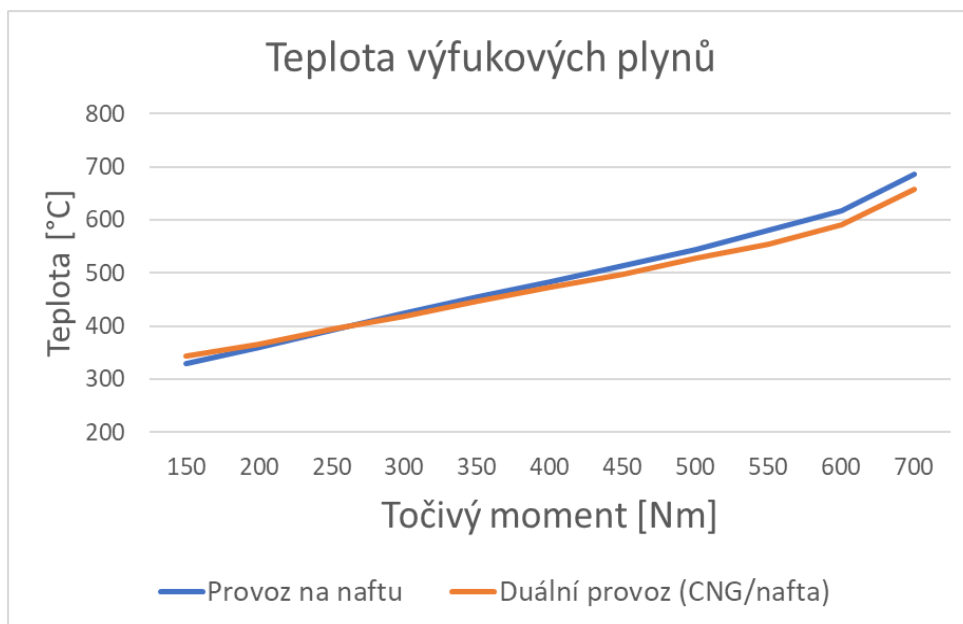


Obrázek 39. Graf tepelného příkonu a podílu LPG v režimu 1900 1/min.

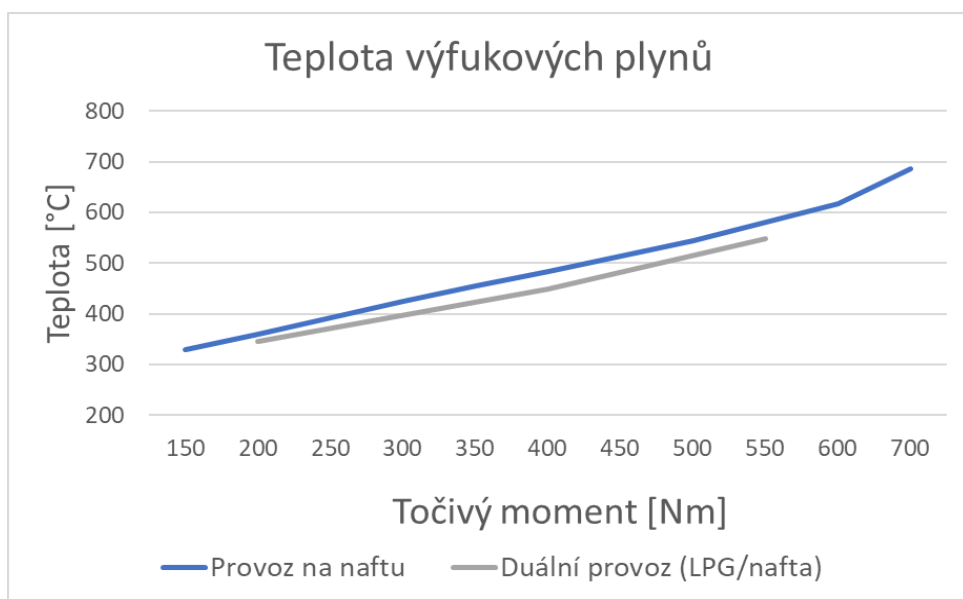


Obrázek 40. Graf tepelného příkonu a podílu LPG v režimu 1900 1/min dřívějšího experimentu. [3]

Při vyšším zatížení je **teplota výfukových plynů** v režimu 1900 1/min o trochu nižší, než při provozu pouze na naftu, čemuž nasvědčuje vyšší účinnost. Při nízkém zatížení je to u dvoupalivového pohonu na CNG / nafta obráceně a u dvoupalivového pohonu LPG / nafta jsou teploty téměř shodné.



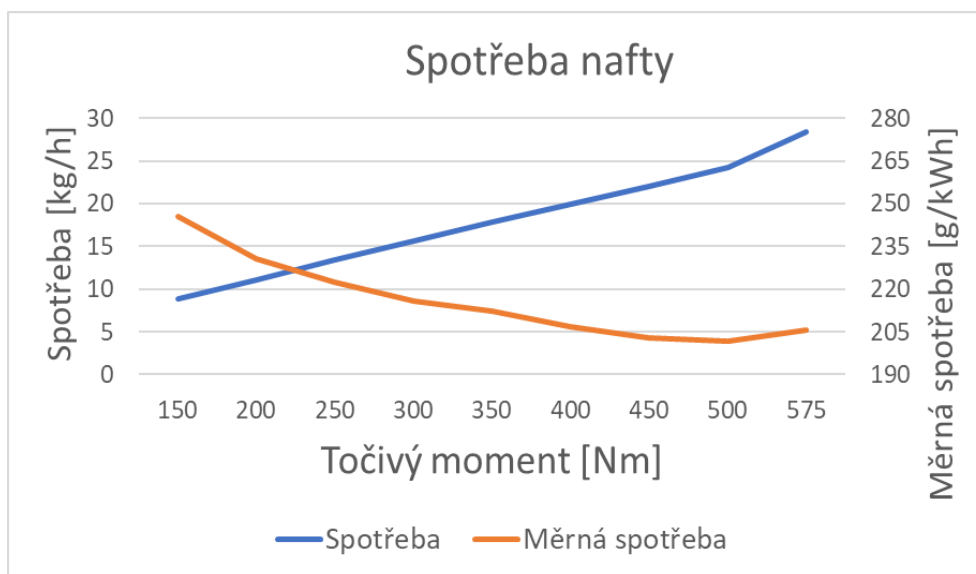
Obrázek 41. Graf teplot výfukových plynů v režimu 1900 1/min



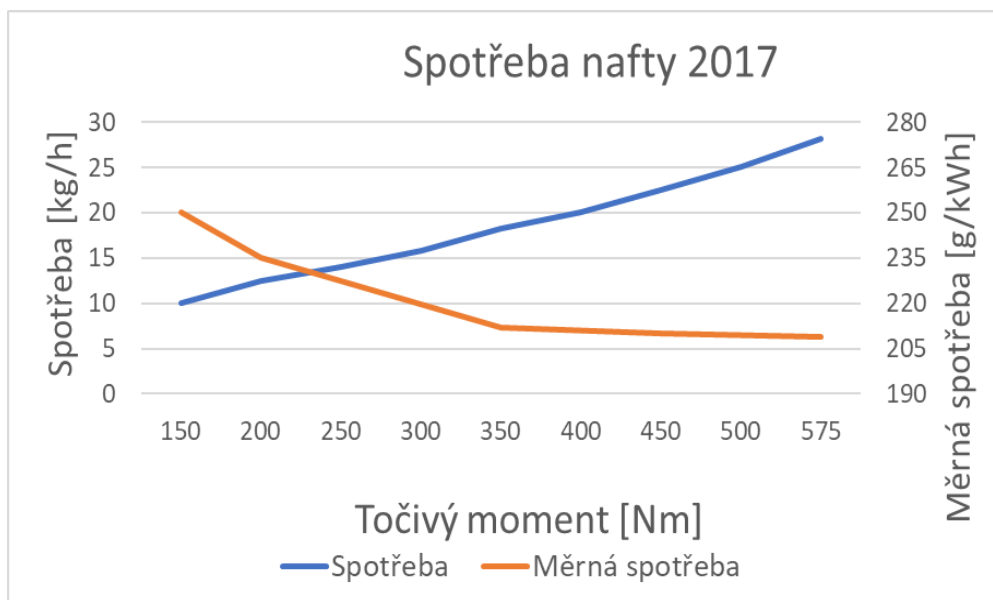
Obrázek 42. Graf teplot výfukových plynů v režimu 1900 1/min dřívějšího experimentu [3]

4.4.3 Režim 2300 1/min

V tomto režimu je patrná pozvolně klesající měrná **spotřeba nafty**, nejlepší účinnost je při vysokém zatížení motoru.

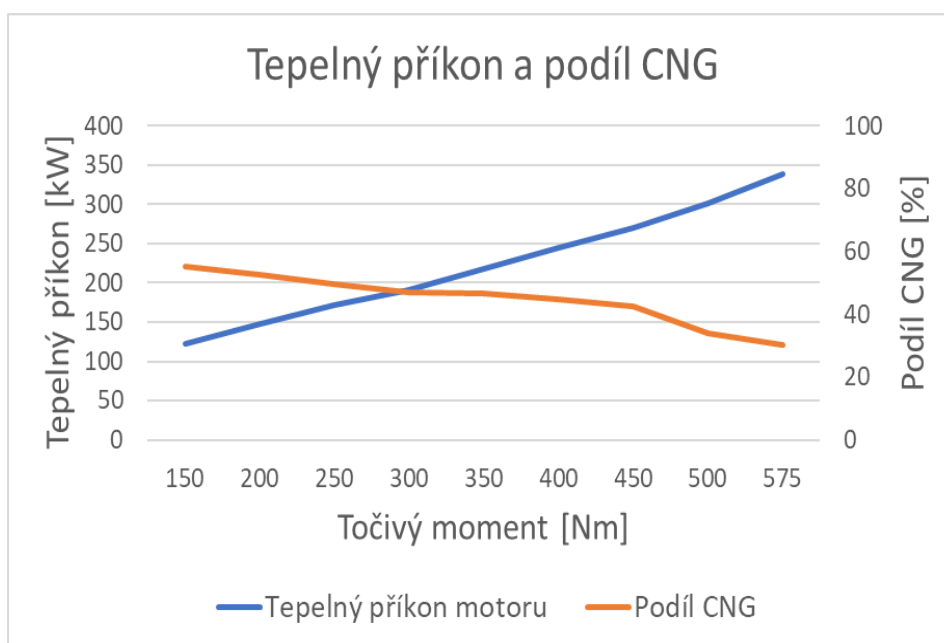


Obrázek 43. Graf spotřeby nafty v režimu 2300 1/min.

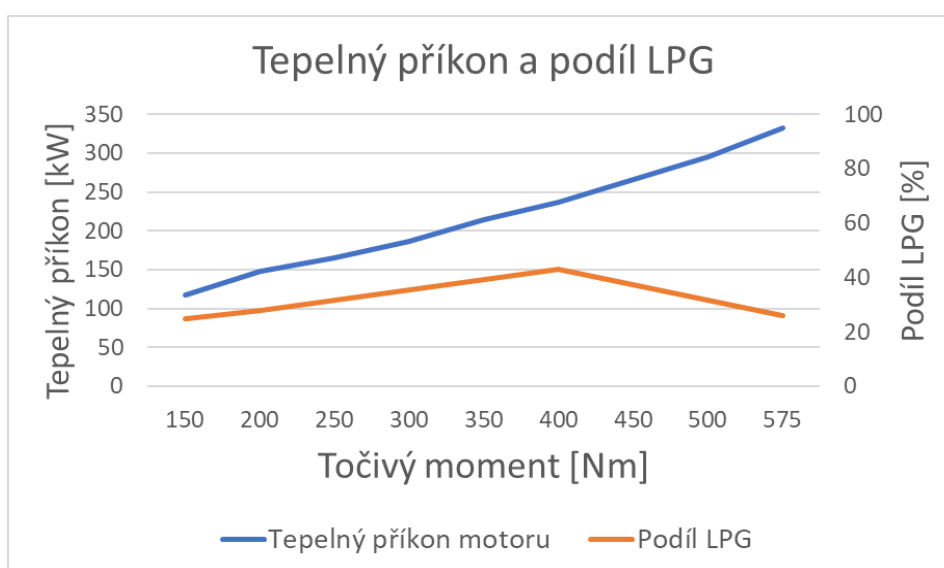


Obrázek 44. Graf spotřeby nafty v režimu 2300 1/min při dřívějším experimentu. [3]

Podíl plynného paliva má podobný charakter jako u předchozích režimů. Při vysokém zatížení je u všech režimů patrný prudší spád podílu zemního plynu, pravděpodobně zapříčiněného malým průměrem vyfukovacích trysek, které nebyly schopny dodávat větší množství zemního plynu. V porovnání s provozem na LPG / nafta byla dávka nafty nahrazena větší mírou od nízkého do středně vysokého zatížení.

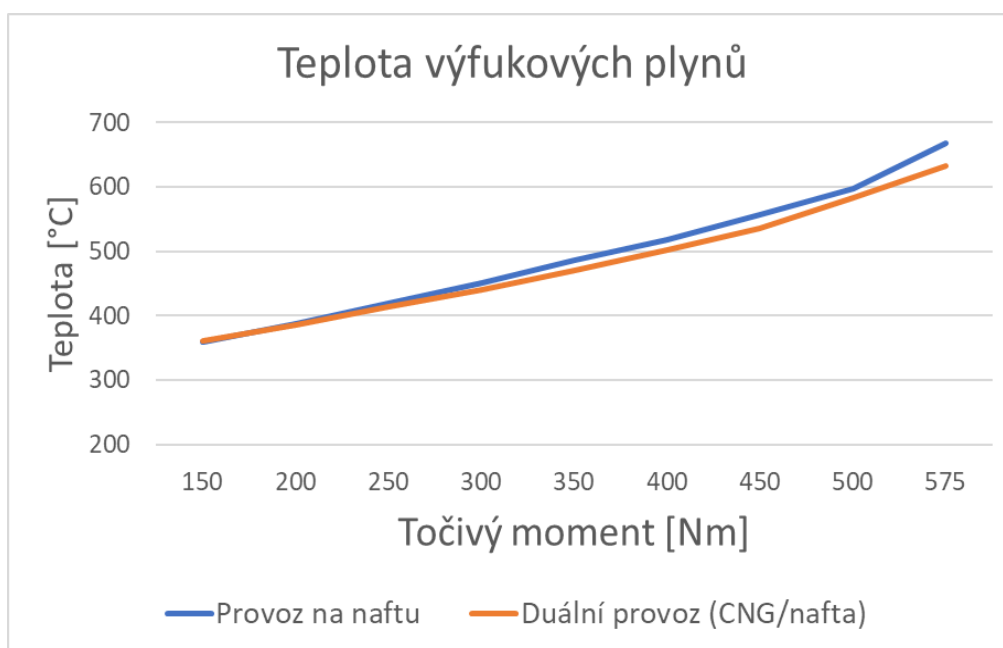


Obrázek 45. Graf tepelného příkonu a podílu LPG v režimu 2300 1/min.

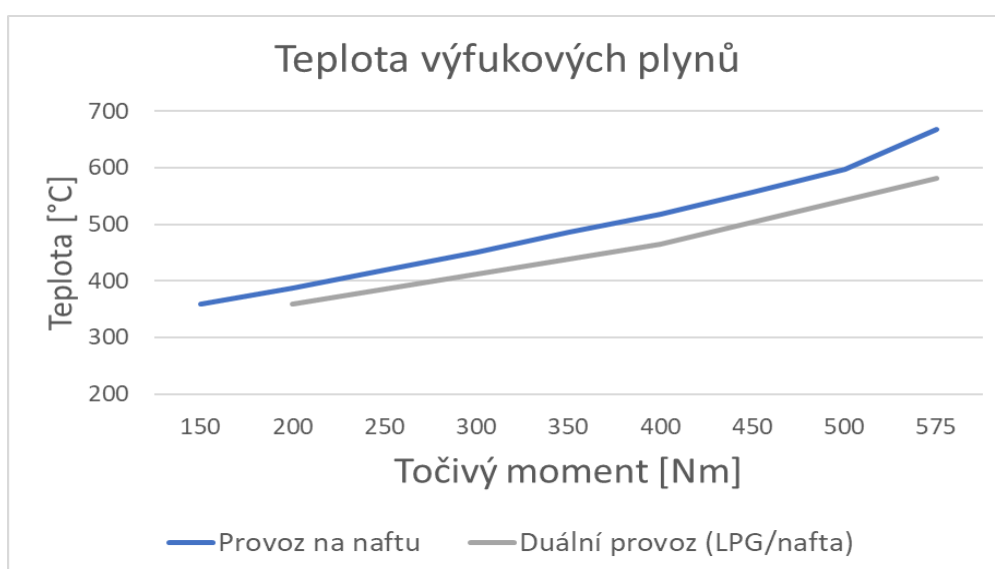


Obrázek 46. Graf tepelného příkonu a podílu LPG v režimu 2300 1/min dřívějšího experimentu. [3]

Z hlediska **teplot výfukových plynů** jsou naměřené hodnoty téměř shodné, u provozu na zemní plyn jsou nepatrně nižší s rostoucím zatížením. U dřívějšího experimentu na LPG / naftu jsou teploty nižší u dvoupalivového provozu v porovnání s naftovým provozem. Vstřikování kapalné fáze LPG ochlazuje nasávanou směs a tím pádem jsou nižší i teploty výfukových plynů.



Obrázek 47. Graf teplot výfukových plynů v režimu 2300 1/min.



Obrázek 48. Graf teplot výfukových plynů v režimu 2300 1/min dřívějšího experimentu [3]

5 Možnosti budoucího uplatnění vznětových plynových motorů

S přihlédnutím k požadavku Evropské unie pro snižování emisí oxidu uhličitého s cílem do roku 2050 dosáhnout uhlíkové neutrality a průběžným cílem dosáhnout snížení skleníkových plynů o 55 % do roku 2030, je uplatnění plynových vznětových motorů v nákladní a autobusové dopravě vhodný způsob pro přiblížení k těmto cílům. [23]

Nákladní přeprava je největším znečišťovatelem ovzduší v silničním provozu. Zejména v dálkové nákladní přepravě není v současné době jiný efektivní způsob, jak snížit množství produkovaných skleníkových plynů, než využití plynových motorů. Plynové vznětové motory mají vyšší účinnost než zážehové plynové motory a jsou tedy výhodnější. Autobusová přeprava má také velký podíl na produkci skleníkových plynů v silniční dopravě, avšak díky předurčeným okružovým trasám městských a meziměstských autobusů lze kromě plynového pohonu využít i elektrický pohon z baterií, nebo pantografu.

Jedna z možností vývoje uplatnění plynových motorů v nákladní a autobusové dopravě je, že bude růst jejich počet zejména v silniční nákladní přepravě. U autobusů bude mírně růst jejich počet zejména v meziměstské a linkové přepravě, u městských autobusů bude růst jejich počet minimálně.

Nespornou výhodou plynových vznětových motorů je možnost využití biometanu jako paliva, které je považováno za CO₂ neutrální palivo. V případě vznětového motoru se zapalovacím vstřikem nafty lze teoreticky snížit emise oxidu uhličitého až o 95 %. Jejich rozvoj ale může ukončit využití palivových článků, které mají díky své vysoké účinnosti velký potenciál jako pohon budoucnosti.

6 Závěr

V úvodní části se tato diplomová práce zabývá základním chováním průběhu spalování ve dvoupalivových motorech na zemní plyn a naftu, následně se věnuje analýze alternativních plynných paliv a současné situace uplatnění plynových dvoupalivových motorů pro nákladní vozidla a autobusy na evropském trhu. Syntézou těchto kapitol lze konstatovat, že zemní plyn je vhodný jako alternativní palivo především díky svým antidetonačním vlastnostem. Může být použit v motorech s vyšším kompresním poměrem a ve světě ho jsou dostatečné zásoby. Při spalování zemního plynu vzniká méně oxidu uhličitého, méně pevných částic a oxidu dusíku, ale více oxidu uhelnatého a vyšších uhlovodíků. Zemní plyn bude do budoucna stále více nahrazován biometanem, který má téměř shodné složení, je tvořen z obnovitelných zdrojů a nevztahují se na něj limity EU o skleníkových plynech. Na současném trhu nalezneme dvoupalivové plynové vznětové motory pouze u výrobce Volvo v nákladních vozidlech určených pro dálkovou a těžkou přepravu s LNG zásobníky, ostatní výrobci nákladních vozidel a autobusů využívají pro alternativní možnost pohonu zemním plynem motory zážehové s možností stlačeného nebo zkapalněného zemního plynu jako paliva.

V laboratoři katedry vozidel Technické univerzity v Liberci bylo s pomocí pracovníků ústavu vozidel zprovozněno zkušební stanoviště s funkčním vzorkem dvoupalivového plynového vznětového motoru CUMMINS ISBe4 na zemní plyn a naftu. Zkušební stanoviště bylo vybaveno speciální měřicí technikou a elektronickým systémem pro sběr dat o podílu a množství jednotlivých složek výfukových plynů, spotřebě paliv a o standardních veličinách motoru. Následně bylo provedeno měření v provozu motoru na naftu a v dvoupalivovém provozu na zemní plyn a naftu ve třech otáčkových zátěžových režimech 1500 1/min, 1900 1/min a 2300 1/min. Výsledky měření byly zpracovány do grafů porovnávající jednotlivé palivové režimy a výsledky dřívějšího experimentu funkčního vzorku dvoupalivového motoru CUMMINS ISBe4 na LPG a naftu z hlediska spotřeby nafty, podílu zemního plynu na celkovém tepelném příkonu motoru a teplot výfukových plynů. Z naměřených výsledků lze konstatovat, že jde o kvalitní naftový motor s vysokou účinností. Ve dvoupalivovém provozu motor vykazuje o trochu nižší účinnost při nízkém zatížení a lehce vyšší účinnost při vysokém zatížení ve srovnání s naftovým

provozem. Podíl zemního plynu se všech režimech držel mezi 40 % a 55 %, ve vysokých zatíženích motoru byla pozorována prudší klesající tendence podílu zemního plynu až na 30 %, což mohlo být způsobeno volbou malého průměru, nebo počtu vefukovacích trysek ve směšovači umístěného v sání, a tím nedostatečného dávkování zemního plynu. V porovnání s předchozím experimentem na LPG a naftu, kde byl poměrně proměnný podíl LPG v průběhu zatížení, se dvoupalivový motor na zemní plyn a naftu choval stabilně. Teploty výfukových plynů jsou nižší zejména při vyšších zatíženích u dvoupalivového provozu, to značí vyšší tepelnou účinnost při provozu na zemní plyn. Teploty výfukových plynů jsou u předchozího experimentu s LPG ještě nižší, než při provozu na zemní plyn. Pravděpodobně díky tomu, že u dřívějšího experimentu bylo využito kapalného vstřikování LPG do sání, odpařený plyn v sání snížil teplotu nasávaných plynů a tím i teplotu výfukových plynů a zvýšil účinnost motoru.

Vzhledem k častým poruchám během zprovoznování zkušebního stanoviště bylo provedeno pouze jedno měření, u kterého byly zjištěny závady analyzátorů výfukových plynů a vysokotlaké indikace pro měření průběhu tlaků ve válci motoru. Po odstranění těchto závad došlo k havárii spojky na zkušebním stanovišti a nebylo možné dále pokračovat v měření.

V poslední části práce byla uvedena vlastní představa o budoucím uplatnění dvoupalivových plynových motorů v nákladní přepravě nad 3,5 t a autobusů. Plynové vznětové motory budou dle mého názoru více využívány v nákladní přepravě na zemní plyn, motory na LPG budou spíše ustupovat. V autobusové dopravě najdou využití zejména u linkových autobusů, městské autobusy budou častěji využívat elektřinu, nebo stále se vyvíjející palivové vodíkové články. Plynové motory je vhodné použít jako přechodné mezi spalovacími motory a vodíkovými motory nebo palivovými články, které neprodukují škodlivé emise.

Seznam použitých zdrojů

6.1 Seznam literárních zdrojů

- [1] BARTONÍČEK L., LAURIN J.: Nízkoemisní autobusové motory na zemní plyn Sborník 5. mezinárodní konference ekologické městské dopravy, s.100, Karlovy Vary, září 2002.
- [2] BECHYNĚ, David. Dvoupalivové vznětové motory na zemní plyn a naftu. Liberec, 2020. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Doc. Ing. Josef Laurin, Csc.
- [3] BEROUN, Stanislav. *Konverze vozidlového vznětového motoru na vozidlový plynový dualní motor nafta + LPG*. Liberec, 2018. Technická univerzita v Liberci.
- [4] DASHADIMA. Vektor Elektrisches Auto Parts Symbole; Ektor-Elektrisches-Auto-Parts-Symbole-gm530411287-54508076; Istock: Calgary, AB, Canada, 2015.
- [5] Evropská komise. *Sdělení komise evropskému parlamentu, radě, evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů: Zvýšení cílů Evropy v oblasti klimatu do roku 2030* Brusel 17.9.2020 COM (2020) 562 final.
- [6] K. CHEENKACHORN, C. POOMPIPATPONG, C.G. HO, Performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fuelled with diesel and LNG (liquid natural gas), *Energy* 53 (2013) 52e57.
- [7] M. MIKULSKI, S. WIERZBICKI, M. SMIEJA, Effect of CNG in a fuel dose on the combustion process of a compression-ignition engine, *Transport* 30 (2) (2015) 162e171.
- [8] OLIN, John G. "Advanced thermal dispersion mass flowmeters: a look at the principles of operation, installation and calibration." *Chemical Engineering*, vol. 121, no. 2, Feb. 2014, pp. 44+. Gale Academic OneFile, link.gale.com/apps/doc/A358923659/AONE?u=anon~c4f9b66a&sid=googleScholar&xid=83c50371. Accessed 2 May 2022.
- [9] R.G. PAPAGIANNKIS, P.N. KOTSIPOULOS, T.C. ZANNIS, Theoretical study of the effects of engine parameters on performance and emissions of a pilot ignited natural gas diesel engine, *Energy* 35 (2) (2017) 1129e1138.
- [10] ŠEBOR, G., POSPÍŠIL, M., ŽÁKOVEC, J.: *Technicko - ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě*. Studie. Ústav technologie ropy. Vysoká škola chemicko - technologická. Praha 2006.

6.2 Seznam internetových zdrojů

- [11] *AC S.A.* [online]. Białystok, ul. 42 Pułku piechoty 50: AC S.A., 2021 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.ac.com.pl/en>
- [12] *AVL Emission Testing Handbook*. In: *AVL* [online]. Graz: AVL List, 2022 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.avl.com/emission-testing-handbook>
- [13] BRABEC, Pavel. *Department of Vehicle and Engines*. Czech republic, 2020. Dostupné také z: http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:2984/Laboratore_KVM.pdf
- [14] *Engine exhaust particle sizer spectrometer model 3090/3090AK: Operation and service manual*. USA, 2015. Dostupné také z: <https://tsi.com/home/>
- [15] *Fdrive* [online]. Česká republika: 24net, 2022 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://fdrive.cz>
- [16] *FEDOR Auto* [online]. Prostějov: CMS Emedium Production [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.fedorauto.cz/dieselgas-lpg-cng.html>
- [17] *FPT Industrial* [online]. Turin - Italy: FPT S.P.A. [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.fptindustrial.com/global/en/engines/on-road/trucks/cursor13>
- [18] HAO, Chen, He JINGJING a Zhong XIANGLIN. Engine combustion and emission fuelled with natural gas: *A review* [online]. Journal of the Energy Institute, Volume 92, Issue 4, August 2019, Pages 1123-1136. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.06.005>
- [19] *HORIBA* [online]. Kyoto 601-8510 Japan: HORIBA, 2022 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.horiba.com/fra/>
- [20] *IVECO* [online]. Vysoké Mýto: IVECO Czech Republic, 2020 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.iveco.com/czech/Pages/HomePage.aspx>
- [21] KARCZEWSKI, Mirosław a Marcin WIECZOREK. Assessment of the Impact of Applying a Non-Factory Dual-Fuel (Diesel/Natural Gas) Installation on the Traction Properties and Emissions of Selected Exhaust Components of a Road Semi-Trailer Truck Unit. *Energies* [online]. 2021, 14(23) [cit. 2022-05-25]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: [doi:10.3390/en14238001](https://doi.org/10.3390/en14238001)
- [22] LAURIN, J.: *Plynná motorová paliva pro silniční vozidla v ČR*. Paliva. Praha: Fakulta technologie ochrany prostředí Vysoké školy chemicko-technologické v Praze. 2014, roč. 6, č. 3, str. 73-77, ISSN 1804-2058. Dostupné z: http://paliva.vscht.cz/cz/archiv-clanku/detail/24_RECENZ

- [23] Legislativní usnesení Evropského parlamentu ze dne 15. dubna 2014 o návrhu směrnice Evropského parlamentu a Rady o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. Dostupné na: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P7-TA-2014-0352+0+DOC+XML+V0//CS#top>, staženo 22.5.2014
- [24] *MAN* [online]. Ostfildern: Deutsche Automobil Treuhand, 2022 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.man.eu/de/de/homepage.html>
- [25] *Mercedes-Benz bus* [online]. Germany: EvoBus, 2022 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: https://www.mercedes-benz-bus.com/en_DE/home.html
- [26] *Mercedes-Benz trucks* [online]. Germany: Daimler Truck, 2022 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: https://www.mercedes-benz-trucks.com/cs_CZ/home.html
- [27] Micro Motion ELITE Coriolis flow and density meters. In: *EMERSON* [online]. Canada: Emerson Electric Co., 2022, August 2021 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet-micro-motion-elite-coriolis-flow-density-meters-en-66748.pdf>
- [28] *Renault Trucks* [online]. Česká republika: Renault Trucks, 2021 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.renault-trucks.cz>
- [29] *SCANIA* [online]. Södertälje, Sweden: Scania, 2019 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.scania.com>
- [30] *SIERRA* [online]. Brno, Czech republic: Sierra Instruments, 2012 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <http://www.sierrainstruments.cz>
- [31] *SCHORCH* [online]. Germany: ATB Schorch, 2020 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.schorch.de/html/d,90,000.htm>
- [32] *Sparks* [online]. Southampton: Sparks, 2021 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://sparkscs.co.uk>
- [33] *Volvo Buses* [online]. Gothenburg, Sweden: AB Volvo, 2022 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.volvobuses.com/en/>
- [34] *Volvo Trucks* [online]. SE-405 08 Gothenburg, Sweden: Volvo, 2022 [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://www.volvotrucks.com/en-en/>