

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2016

Bc. LUKÁŠ PUCHNAR

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



**Agronomická
fakulta**

**Mendelova
univerzita
v Brně**



**Analýza změn parametrů zážehového motoru
při změně oktanového čísla paliva**

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Ing. Adam Polcar, Ph.D.

Vypracoval:

Bc. Lukáš Puchnar

Brno 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Analýza změn parametrů zážehového motoru při změně oktanového čísla paliva vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

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

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

V Brně dne:.....

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Adamu Polcarovi, Ph.D. za ochotu, odborné vedení a cenné rady při psaní této práce. Dále děkuji společnosti Albenor s.r.o. za zapůjčení vozidla pro praktické měření a také bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu během studia.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Lukáš Puchnar**
Studijní program: Zemědělská specializace
Obor: Automobilová doprava
Konzultant: Ing. Michal Jukl
Název tématu: **Analýza změn parametrů zážehového motoru při změně oktanového čísla paliva**
Rozsah práce: 50-60

Zásady pro vypracování:

1. V úvodní části popište vlastnosti paliv pro zážehové motory.
2. Zaměřte se na oktanové číslo paliva – na možnosti jeho zvýšení, na zjišťování hodnoty oktanového čísla paliva, na paliva s vyšším oktanovým číslem.
3. Na Vámi zvoleném vozidle proveďte měření výstupních parametrů při jeho provozu na paliva s různými oktanovými čísly.
4. Naměřená data analyzujte. Výsledky zpracujte do tabulek a grafů.
5. Proveďte statistické vyhodnocení naměřených dat.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na paliva pro zážehové spalovací motory a jejich provozní vlastnosti. První kapitoly popisují požadavky na tyto paliva a způsoby jejich výroby. Další část se věnuje rozboru oktanového čísla, způsobům jeho měření a nárokům na oktanový požadavek spalovacích motorů. Dále jsou popsána jednotlivá paliva využívaná k provozu zážehových motorů, jejich výhody a nevýhody. V následující části jsou porovnány rozdíly v konstrukčních složeních palivových soustav pro jednotlivá užívaná paliva. Dále je rozbor sledovaných emisních částic ve výfukových plynech, vznikajících při spalování, a legislativních požadavků na jejich produkované množství. Závěrečná část se zaměřuje na porovnání vlivu oktanového čísla paliva na provozní vlastnosti automobilu. Data k porovnání byla získána měřením vozidla na válcové zkušebně. Naměřené hodnoty byly zpracovány do tabulek a graficky znázorněny.

Klíčová slova: oktanové číslo, spalování, emise, výkon, točivý moment, hodnota lambda

ABSTRACT

Diploma thesis focuses on fuel for spark-ignition engines and their operational characteristics. First chapters of the thesis focus on requirements of these fuels and their production, followed by details analysis of the octane number, ways of measuring it and demands towards the octane number for usage in modern petrol engines. Next part describes individual fuel types used to run spark-ignition engines and their pros and cons. Analysis of exhaust emission particles produced during fuel combustion and its regulation is covered in the next part. Final chapter provides a comparison of the influence, octane number of the fuel has on the vehicle performance, based on data measured in certified rollway test room. The results of the measurement were used to produce tables and charts to visually display them.

Keywords: octane number, combustion, emissions, horsepower, torque, lambda

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	CÍL PRÁCE	10
3	PALIVA PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY	11
3.1	Požadavky kladené na paliva	12
3.2	Základní vlastnosti paliv	14
3.2.1	Výhřevnost.....	16
3.2.2	Spalné teplo.....	16
3.2.3	Oktanové číslo	16
3.3	Dělení paliv pro zážehové motory	18
3.3.1	Plynná paliva.....	18
3.3.2	Kapalná paliva	19
3.3.2.1	Bioetanol.....	20
3.3.2.2	Benzín.....	20
3.3.3	Speciální vysokooktanová paliva.....	22
3.4	Palivové soustavy	23
4	EMISE	27
4.1	Složení emisí	27
4.2	Emisní předpisy.....	29
4.3	Prostředky ke snižování emisí.....	30
4.3.1	Katalyzátory	30
4.3.2	Lambda regulace.....	32
4.3.2.1	Dvoustavová regulace	33
4.3.2.2	Spojité regulace	34
5	MATERIÁL A METODIKA.....	35
5.1	Použitá měřicí zařízení.....	35
5.2	Měřené vozidlo.....	38
5.2.1	Technické parametry vozidla.....	38
5.3	Popis měření.....	39
6	VÝSLEDKY	41
6.1.1	Dynamická zkouška.....	41
6.1.2	Statická zkouška	42
7	DISKUZE	49

8	ZÁVĚR	50
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
10	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	53
11	SEZNAM TABULEK	54
12	SEZNAM PŘÍLOH.....	55

1 ÚVOD

Zážehové spalovací motory slouží k přeměně energie obsažené v palivu na energii pohybovou, k této přeměně dochází při spalování paliva ve válcích motoru. Energie uvolněná hořením paliva vytváří tlak na pohyblivý píst válce, který se následně posouvá. Spojením klikové hřídele s jednotlivými válci se přeměňuje přímočarý pohyb vratný na pohyb otáčivý. Průběh přeměny energie ve spalovacím motoru můžeme sledovat, měřit a následně upravovat tak, aby byla co nejefektivnější.

První spalovací motor byl vynalezen kolem roku 1870 a byl schopen spalovat jak kapalná, tak i plynná paliva. Ke konci 19. století už vznikaly první automobily se spalovacími motory. Po celou dobu vývoje spalovacích motorů byli jejich konstruktéři omezo- váni hlavně vlastnostmi paliv. Dnes jsou konstruktéři motorů nejvíce omezováni le- gislativně, v rámci maximálního množství produkovaných emisních látek, vznikajících při spalování paliva.

Palivem zážehových spalovacích motorů bývá nejčastěji automobilový benzin, jed- ná se o sloučeninu uhlovodíků - směs chemických sloučenin uhlíků a vodíků. Při spalo- vání se tyto uhlovodíky slučují se vzdušným kyslíkem, dochází k uvolňování tepelné energie a vzniku jiných chemických sloučenin. Při dokonalém spalování by se jednalo pouze o oxid uhličitý a vodu v plynném stavu. K dokonalému spalování však nedochází a tak vznikají i další sloučeniny, které jsou považovány za zdraví škodlivé. Tyto látky označujeme jako emisní a snažíme se, aby jejich produkce při spalování byla co nej- menší. Toho lze dosáhnout ovlivňováním procesu spalování, nebo následnými chemic- kými reakcemi s dalšími chemickými látkami a sloučeninami. (Ferenc B., 2004; Hro- mádko J., 2012; Matějovský V., 2004)

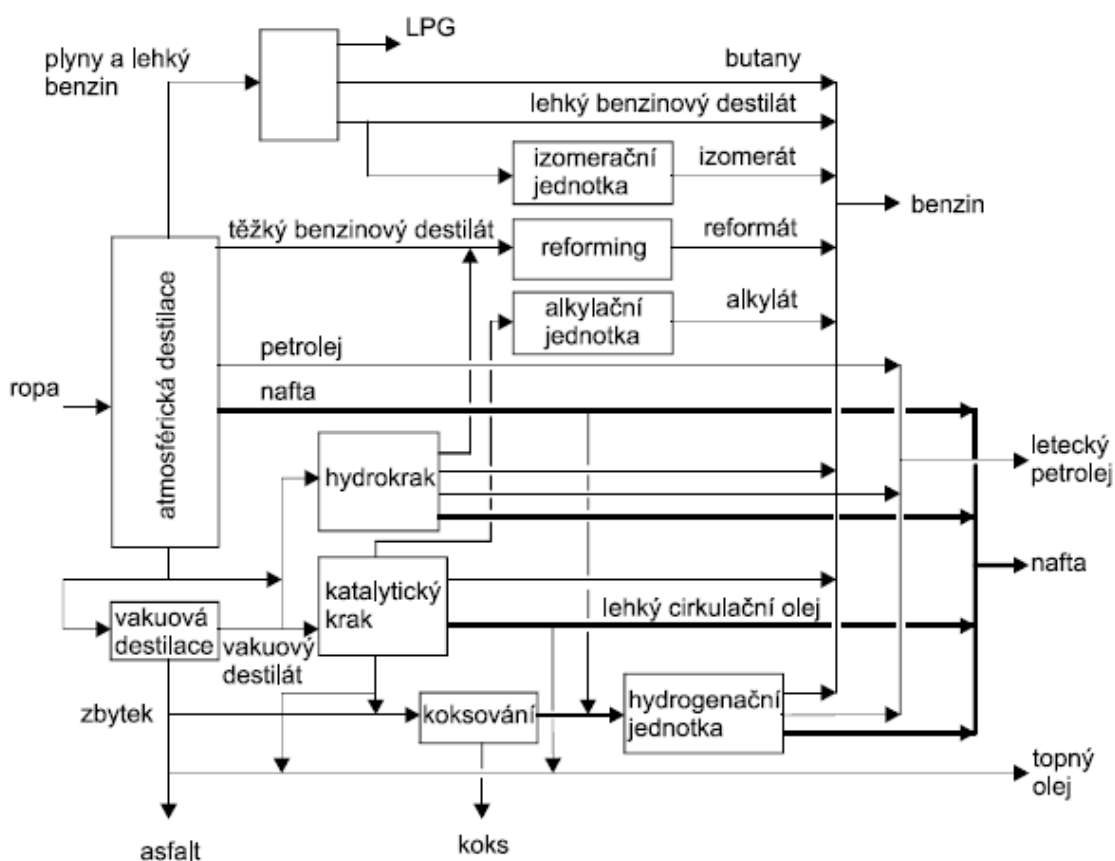
2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je analýza změn parametrů zážehových motorů při použití paliv s různými oktanovými čísly. Vytvořit přehled paliv používaných v zážehových spalovacích motorech, popsat jejich chemické, provozní vlastnosti, produkci škodlivých emisních látek a zabývat se jejich možnostmi snižování. Měřením zjistit vlivy velikosti oktanového čísla paliva na provozní parametry spalovacího motoru. Sledovanými parametry jsou výkon motoru, točivý moment a produkce emisních látek. K porovnání poslouží dva vzorky benzinového paliva s označením Natural, první s oktanovým číslem 95 a druhý s oktanovým číslem 100. Data získaná měřením vyhodnotit a zpracovat do grafů.

3 PALIVA PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY

Nejčastějšími motorovými palivy jsou látky získávané z ropy, označujeme je jako uhlovodíková paliva. Jsou to sloučeniny uhlíku (C) s vodíkem (H) - uhlík je čtyřmocný prvek, na který se váže vodík, nebo další uhlík. Postup výroby jednotlivých ropných produktů je schematicky znázorněn na obr. 1. Pro paliva využívaná v zážehových motorech jsou důležité tyto požadavky:

- dobrá odpařitelnou a mísitelnost se vzduchem i za nízkých teplot,
- nízký obsah síry, která má za následek zvýšení produkce škodlivin při spalování,
- dlouhodobá stabilita při skladování,
- oktanové číslo – dnes minimálně 95 (v USA 87).



Obr. 1 – Ropné produkty a výroba (Zdroj: Matějovský V., 2004)

3.1 Požadavky kladené na paliva

Všechna paliva přípustná k provozu na pozemních komunikacích jsou definována normou. Ta udává nároky na kvalitu paliv a je vydávána na úrovni ČSN EN. Jedná se o převzatou normu Evropské unie doplněnou o dodatek v podobě Národní přílohy obsahující bližší specifika požadavků na sezónní vlastnosti paliv. Jednotlivé požadavky norm platících pro paliva jsou zobrazeny v tab. 1 a můžeme je rozdělit na skupiny:

- požadavky obecné bezpečnosti,
- požadavky zajišťující funkční vlastnosti (spolehlivost a bezpečnost provozu),
- požadavky na ochranu životního prostředí,
- požadavky na zdanění paliva.

Tab. 1 – Požadavky na paliva pro zážehové motory (Zdroj: Matějovský V.,2004)

druh nebo třída	ukazatel jakosti	jednotka	zkušební metoda	požadavek ČSN EN 228		mezí hodnota při zahrnutí nejistoty měření dle ČSN ISO 4259		
				min.	max.	min.	max.	
BA 91/95/98	oktanové číslo výzkumná metoda	–	EN 25 164	91/95/98	–	90,6/94,6/97,6	–	
BA 91/95/98	oktanové číslo motorová metoda	–	EN 25 163	82/85/88	–	81,5/84,5/87,5	–	
všechny druhy	obsah olova	mg Pb/dm ³	EN 238	–	5	–	6	
všechny druhy	obsah benzenu	% v/v	EN 237	–	1	–	1,1	
všechny druhy	oxidační stabilita	min	EN ISO 7536	360	–	339	–	
všechny druhy	hustota 15 °C	kg/m ³	EN ISO 3675	720	775	719	776	
všechny druhy	obsah síry*	mg/kg	EN ISO 8754	–	150/50/10	–	168/54/12	
všechny druhy	obsah promytých pryskyřic	mg/100 ml	EN ISO 6246	–	5	–	7	
všechny druhy	korozivní působení na mě.		EN ISO 2160	třída 1		třída 1		
všechny druhy	obsah kyslíku	% m/m	EN 13132	–	2,7	–	2,9	
všechny druhy	metanol			–	3	–	3,2	
všechny druhy	etanol			–	5	–	5,2	
všechny druhy	izo-propylalkohol			–	10	–	10,5	
všechny druhy	izo-butylalkohol			–	10	–	10,5	
všechny druhy	terc-butylalkohol			–	7	–	7,3	
všechny druhy	étery (5 nebo více C atomů)			–	15	–	15,6	
všechny druhy	jiné kyslíkaté látky			–	10	–	10,5	
všechny druhy	vzhled		vizuálně	bez vody a nečistot		bez vody a nečistot		
všechny druhy	aromáty			–	35,0	–	37,0	
všechny druhy třídy A	destilační zkouška předestilovaný objem při: 70 °C	% v/v	ČSN ISO 3405	22,0	48,0	19,0	50,0	
	100 °C	% v/v		46,0	71,0	45,0	73,0	
	150 °C	% v/v		75,0	–	74,0	–	
	konec destilace	°C		–	210	–	214	
všechny druhy třídy C1 a D	destilační zkouška předestilovaný objem při: 70 °C	% v/v	ČSN ISO 3405	20,0	50,0	21,0	52,0	
	100 °C	% v/v		46,0	71,0	45,0	73,0	
	150 °C	% v/v		75,0	–	74,0	–	
	konec destilace	°C		–	210	–	214	
všechny druhy třídy A	destilační zbytek	% v/v	ČSN ISO 3405	–	2	–	2	
	tlak par – DVPE	kPa		pr EN 13016-1 DVPE	45	60	43	61,7
	tlak par – DVPE	kPa			50	80	48	81,7
	tlak par – DVPE	kPa			60	90	58	92
všechny druhy třídy C1	VLI			–	1050	–	1082	

Z důvodu dodržení požadovaných vlastností paliva, je jejich kvalita testována následujícími zkouškami:

- destilační zkouška – stanovuje teplotní rozmezí destilace benzínu podle přítomných uhlovodíků a dalších látek v palivu,
- zkouška tlaku par – zjištění obsahu nejtěkavějších látek v palivu,
- měření obsahu benzenu – benzen má negativní vliv na spalování a následnou produkci emisních látek,
- měření obsahu olefinů – nestabilní složka benzínu, která se podílí na tvorbě pryskyřic,
- zkouška koroze na mědi – kontrola obsahu sirných sloučenin způsobujících korozi mědi a jejích sloučenin,
- měření obsahu síry – obsah síry je omezován z důvodu tvorby oxidu siřičitého při spalování,
- měření množství pryskyřice – zkouška vyjadřuje sklon benzínu k tvorbě nechtěných pryskyřičných usazenin, zanášejících palivový systém,
- zkouška oxidační stability – sledována je rychlost reakcí paliva s kyslíkem,
- měření obsahu olova – je omezován z důvodu škodlivosti na životní prostředí a možnosti poškození katalyzátoru vozidla,
- měření hustoty paliva – základní charakteristikou ukazující na frakční a chemické složení paliva, požadavek je $720 - 775 \text{ kg.m}^{-3}$ při $15 \text{ }^\circ\text{C}$,
- měření obsahu kyslíkatých látek – zlepšují proces spalování, vodnaté látky zvyšují pravděpodobnost výskytu koroze, nevodnaté látky působí proti vzniku vodní fáze v palivu,
- měření množství kyslíku – celkový obsah kyslíku v palivu, zlepšuje proces spalování, ale snižuje výhřevnost,
- měření oktanového čísla – vyjadřuje odolnost paliva proti samovznícení, zkouška se provádí výzkumnou, nebo motorovou metodou,
- měření obsahu aromatických uhlovodíků – mají negativní vliv na životní prostředí.

Pro správný chod spalovacího motoru je nutné, aby byla těkavost benzínu přizpůsobena podmínkám, ve kterých bude používán – ročnímu období a teplotám (viz tab. 2).

Tento požadavek se řeší dodáváním paliv pro letní, zimní, nebo přechodová období. Malá, respektive velká těkavost paliva může způsobovat provozní problémy. (Matějovský V., 2004; Vlk F., 2006)

Tab. 2 – Palivové třídy pro jednotlivá roční období (Zdroj: Vlk F., 2006)

Vlastnost	Jednotka	Třída					
		Třída A		Třída C1		Třída D	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
Tlak par (VP)	kPa	45	60	50	80	60	90
Roční období		1. 5. – 30. 9.		1. 4. – 30. 4. 1. 10. – 31. 10.		1. 11. – 31. 3	

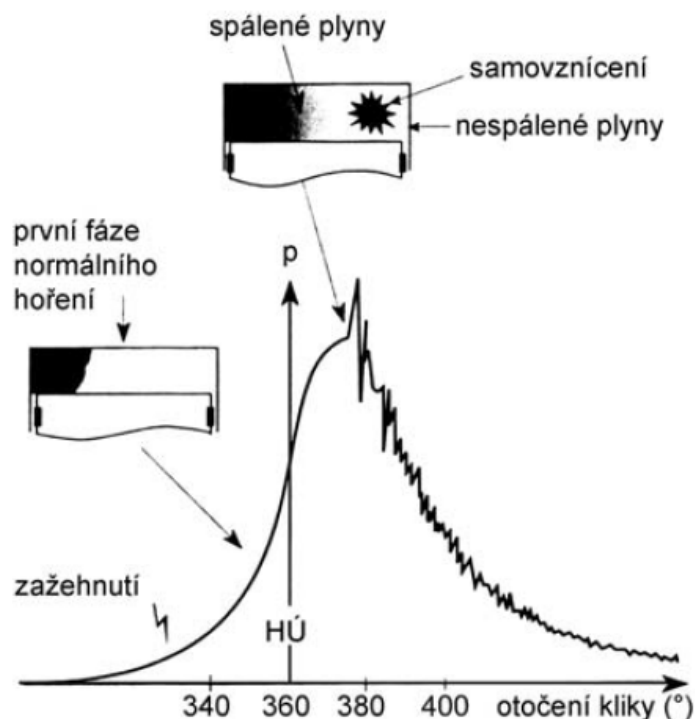
3.2 Základní vlastnosti paliv

Efektivita využití energie v palivu závisí na průběhu jeho spalování. Hoření může být definováno jako složitá interakce chemických a fyzikálních procesů s přestupem tepla a hmoty. Ve spalovacím motoru dochází k jevu nazývanému rychlé hoření. V počátku probíhá ve válci pomalá oxidace, příčinou nárůstu teploty dojde k velkému zrychlení procesu hoření – samovznícení směsi paliva se vzduchem. Tento druh hoření může proběhnout v celém objemu směsi, nebo pouze lokálně, podle příznivosti tepelných a koncentračních podmínek ve směsi. U zážehových motorů se těchto tepelných podmínek dosahuje přivedením energie z cizího zdroje – elektrickou jiskrou na zapalovací svíče. Zažehnutí může být vyvoláno ve více místech současně, nebo postupně. Směs kapalného paliva se vzduchem je možné velmi snadno zažehnout i za nízkých teplot, teplota paliva musí být taková, aby se odpařením kapalného paliva lokálně dosáhlo potřebného složení směsi se vzduchem. Složení palivové směsi potřebné k zažehnutí nám udávají dolní a horní meze hořlavosti. Rychlost hoření směsi par benzínu se vzduchem ve stechiometrickém poměru hoří při normálních podmínkách rychlostí $45 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ a nezávisí na oktanovém čísle a uhlovodíkovém složení. Spalovací proces ve válci probíhá velmi složitě a za velmi rozdílných podmínek, které se mohou kontinuálně měnit:

- homogenita směsi – koncentrace zúčastněných složek,
- složení paliva,

- velikost tlaku,
- nestejnorodost teplotního pole,
- přítomnost kapalné fáze paliva,
- turbulence – víření směsi paliva v prostoru válce.

Žádoucím pro spalovací proces je, aby po zážehu probíhal postupným a relativně pomalým odhoříváním zažehnuté směsi. Průběh vznícení je nežádoucí, protože dochází k okamžitému shoření celého objemu směsi a uvolnění množství energie, která způsobí tlakový ráz. Důsledkem je přetížení klikového hřídele a slyšitelné klepání. Průběh klepání je zobrazen na obr. 2. Nevýhodou spalování připravené směsi v zážehovém pístovém motoru je nemožnost zasahovat do průběhu hoření potom co je směs paliva zažehnuta. Proto jsou dnes často využívány motory se systémem přímého vstřikování paliva do válce, u kterých lze průběh hoření ovlivňovat vrstvením dávky paliva. (Matějovský V., 2004; Vlček F., 2006)



Obr. 2 – Tlakový diagram znázorňující klepání motoru (Zdroj: Matějovský V., 2004)

3.2.1 Výhřevnost

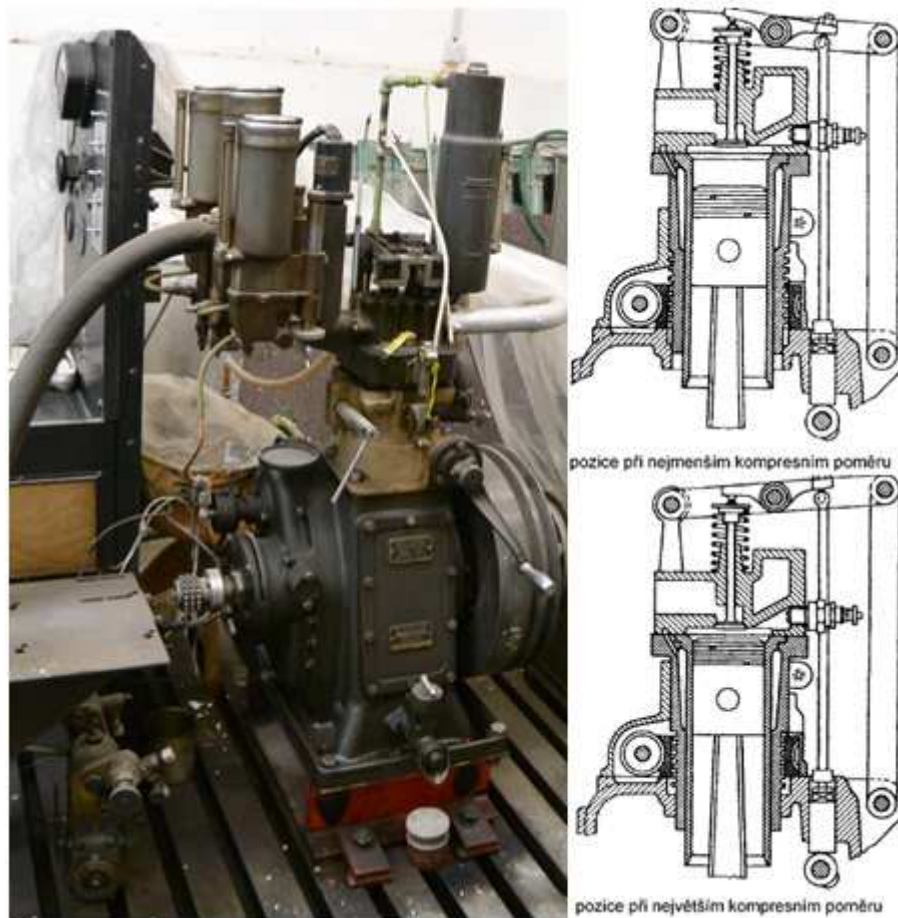
Výhřevnost paliva vyjadřuje energii obsaženou v palivu, která se vztahuje k jednomu kilogramu, nebo jednomu litru paliva. Podle toho ji rozdělujeme na výhřevnost hmotnostní a objemovou. Pro benzín je hmotnostní výhřevnost $42 - 43,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Podle výhřevnosti spalovaného paliva můžeme následně hodnotit celkovou tepelnou účinnost motoru, ta nám vyjadřuje efektivitu přeměny energie z paliva na mechanickou práci. Tepelná účinnost nejvíce závisí na konstrukci motoru, dále pak na kompresním poměru, tření a dalších ztrátách. Benzínové motory mohou pracovat s celkovou účinností až 36 %.

3.2.2 Spalné teplo

Spalným teplem vyjadřujeme celkovou energii paliva, jedná se o veškerou energii získanou dokonalým spálením jednotkového množství paliva. Hodnota spalného tepla je vždy vyšší než hodnota výhřevnosti. V hodnotě spalného tepla je započtena i hodnota výparného tepla vody, vzniklé hořením paliva. Výparným teplem označujeme množství energie spotřebované na vytvoření par H_2O při spalování a jejich zkapalnění. Pro benzín je to 290 kJ.kg^{-1} .

3.2.3 Oktanové číslo

Nejdůležitějším parametrem a ukazatelem kvality paliv pro zážehové motory je oktanové číslo. Je jím vyjadřována odolnost paliva proti detonačnímu hoření při kompresi, které způsobuje klepání spalovacího motoru. Číslo dává procentuální podíl izooktanu a n-heptanu ve směsi se stejnou detonační odolností při spalování jako zkoušené palivo. Jedná se o dva čisté uhlovodíky - Izooktan má oktanové číslo 100 a n-heptan, který má oktanové číslo 0. Hodnotu oktanového čísla paliva lze zjistit měřením na jednoválcovém zkušebním motoru (viz obr. 3) s proměnlivým kompresním poměrem (CFR).



Obr. 3 – Jednoválcový motor s proměnným kompresním poměrem (Zdroj: Matějovský V.,2004)

Měření probíhá při spalování testovaného paliva, postupně je zvyšován kompresní poměr válce motoru, dokud nezačne docházet ke klepání. Poté je kompresní poměr motoru ponechán a zkoumané palivo nahrazeno směsí izooktanu a n-heptanu. Změnou poměru těchto látek vytvoříme takovou směs, která bude mít z hlediska klepání stejné vlastnosti jako testované palivo. Podle režimu práce zkušebního motoru dělíme metodu měření na výzkumnou – OČVM (ČSN EN 25 164) a motorovou – OČMM (ČSN EN 25 163), viz tab. 3. U paliv je nejčastěji uváděno oktanové číslo zjištěné výzkumnou metodou.

Tab. 3 – Měření oktanového čísla paliva (Zdroj: Matějovský V.,2004)

podmínky zkoušek oktanových čísel	OČVM	OČMM
otáčky (min ⁻¹)	600	900
teplota chladicí vody (°C)	100	100 (vodní odpařovací chlazení)
předehřátí nasávaného vzduchu (°C)	52	24-52
předehřátí směsi (°C)	nestanoveno	149
teplota oleje (°C)	55	55
předstih zážehu (stupně před HÚ)	13	19-26 (automaticky proměnný)

Motorové měření oktanového čísla je provozně a finančně náročné, levněji vychází stanovení oktanového čísla za pomoci laboratorní techniky – základem je stanovení IČ-spektra benzínu. Rozhodující však zůstávají výsledky zkoušek provedených na motoru. Laboratorní analýzy se využívá při řízení výroby paliv a jejich rutinní kontrole.

Pro správný chod spalovacího motoru je nutné, aby bylo využito paliva s hodnotou oktanového čísla, které motor vyžaduje. Nejmenší nutnou hodnotu oktanů paliva, se kterou je daný motor schopen bezproblémového chodu i za nejnepříznivějších provozních podmínek, označujeme oktanovým požadavkem. Moderní zážehové spalovací motory jsou vybavené elektronickou regulací oktanového požadavku a je u nich základní palivo pouze doporučováno. Oktanový požadavek je přizpůsobován právě používanému palivu tak, že je průběžně regulován předstih zážehu a je udržován těsně před hranicí klepání motoru. Motory jsou schopné pracovat i s palivy které mají oktanové číslo o jednu třídu menší (91), nebo vyšší (98) od doporučeného paliva. Při použití paliva s menším oktanovým číslem od doporučeného musíme počítat s menším výkonem motoru a nepatrně vyšší spotřebou. Použitím paliva s vyšším oktanovým číslem může dojít k nepatrnému navýšení výkonu a snížení spotřeby. Se zhoršujícím se mechanickým stavem motoru dochází k nárůstu oktanového požadavku. Oktanový požadavek motoru ovlivňují také vnější vlivy např. teplota a vlhkost nasávaného vzduchu, nadmořská výška, popřípadě teplota motoru a chladící kapaliny. (Ferenc B., 2004; Matějovský V., 2004; Vlk F., 2006)

3.3 Dělení paliv pro zážehové motory

Paliva používaná ve spalovacích motorech můžeme rozdělovat podle několika hledisek. Nejčastěji je rozdělujeme podle jejich skupenství na kapalná a plynná.

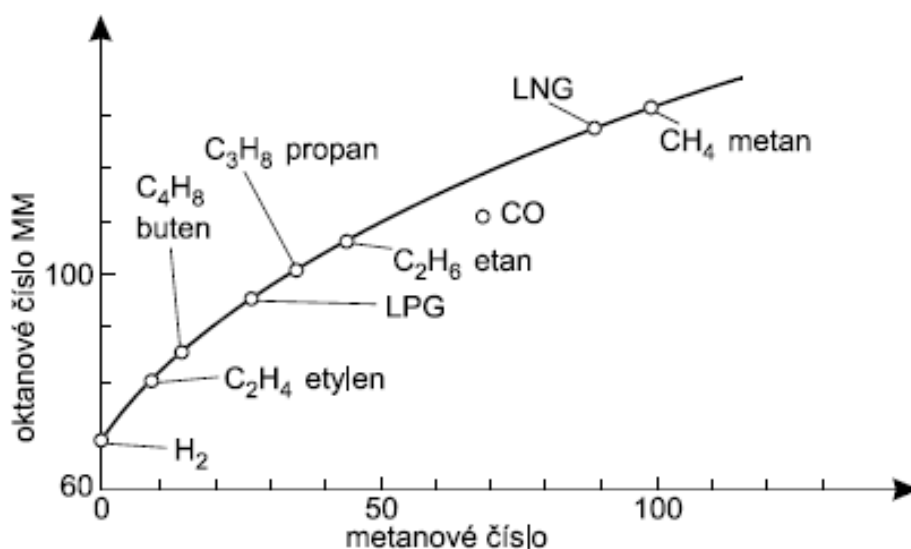
3.3.1 Plynná paliva

Tato uhlovodíková paliva jsou využívána převážně v plynné podobě, skladují se často v kapalném stavu ve speciálních tlakových nádržích. Od kapalných paliv se odlišují hlavně chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Jejich výhodou je jednoduchá chemická struktura uhlovodíků, zajišťující dobrou mísitelnost se vzduchem na vytvoření kvalitní směsi k hoření. K využití plyných paliv v běžných spalovacích motorech je

nutná úprava palivového systému. Mezi plynná paliva používaná v zážehových spalovacích motorech patří:

- směs uhlovodíků propanu a butanu (LPG),
- zemní plyn (CNG) – směs metanu (min. 90%) a etanu (max. 6 %), bioplyn,
- vodík – jedná se o molekuly čistého vodíku (H_2).

U plynných paliv se můžeme setkat s metanovým číslem (viz obr. 4), jedná se o ekvivalent oktanového čísla. Měření metanového čísla je u plynných paliv jednodušší, než měření čísla oktanového. Referenčními palivy jsou vodík a metan (vodík má nejnižší odolnost proti klepání a metan nejvyšší). (Hofmann K., 2005; Hromádko J., 2012; Kameš J., 2004)



Obr. 4 – Graf závislosti oktanového a metanového čísla (Zdroj: Matějovský V., 2004)

3.3.2 Kapalná paliva

Nejčastěji využívanými pohonnými látkami jsou paliva kapalná. Jsou to paliva získávaná převážně fermentací ropy (benzíny), popřípadě výrobou z uhlí, nebo zemního plynu. Paliva rostlinného původu jsou vyráběna z biomasy (alkoholy), tyto paliva jsou výrobně nákladnější, proto bývá jejich výroba dotována jednotlivými státy. Velkou výhodou kapalných paliv je jejich jednoduchá manipulace a možnosti skladování.

3.3.2.1 Bioetanol

Toto bio-palivo je na bázi alkoholu vyrobené pomocí fermentace z biomasy, jedná se tedy o obnovitelný zdroj energie. Finálním procesem výroby je odvodnění a čistý bioetanol je následně složen z 99,9 % etanolu. Ve spalovacích motorech se takto téměř nepoužívá, ale setkáváme se s palivem označovaným E85, které je složeno ze 70 – 85 % z etanolu a zbytek tvoří Natural 95. Běžné zážehové motory mají se spalováním tohoto paliva problém, proto je nutná úprava řídicí jednotky, popřípadě celého motoru. Dnes je často bioetanol přidáván v malém množství do běžného benzínu – Naturalu 95, popřípadě se využívá jako aditivum. Hlavními nevýhodami tohoto paliva je náročná (drahá) výroba a přibližně o třetinu menší výhřevnost ($26,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$) než u benzínu z ropy, s tím souvisí i vyšší spotřeba paliva při provozu. (Hofmann K., 2005; Hromádka J., 2012; Kameš J., 2004)

3.3.2.2 Benzín

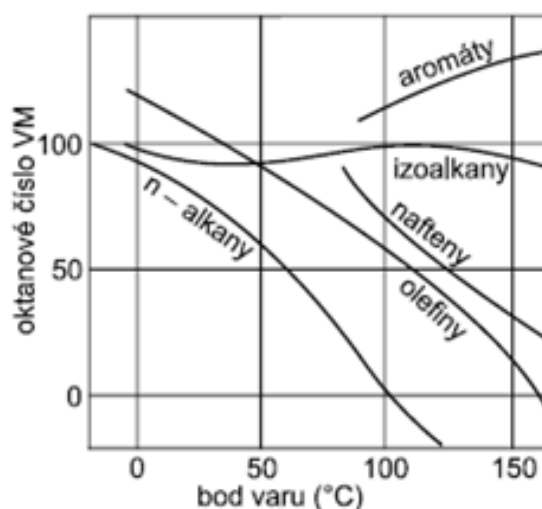
Jedná se o nejpoužívanější palivo pro zážehové spalovací motory a jeho parametry jsou definovány normou ČSN EN 228. Získává se nejčastěji destilací z benzínové frakce ropy a dalšími technologickými úpravami. Obvykle je složen z 200 druhů kapalných uhlovodíků, koncentrace složek se může velice lišit podle zdroje ropy a postupu zpracování. Jednotlivé typy uhlovodíků jsou zobrazeny v tab. 4. Aby bylo palivo kvalitní, musí při jeho výrobě dojít k odsíření a výrazné změně uhlovodíkového složení. Současné vysokooktanové benzíny jsou tedy převážně syntetickými ropnými produkty. Nejvíce zastoupenými uhlovodíky jsou iso-alkany (25 – 40 %), aromatické sloučeniny (20 – 50 %), alkany (4 – 8 %), cykloalkany (3 – 7 %), alkeny (2 – 5 %) a cykloalkeny (1 – 4 %). Chemické složení paliva ovlivňuje i rychlost jeho biologického rozkladu – benzíny jsou proti biokontaminaci odolné, protože dochází k rychlému odpařování.

Tab. 4 – Typy uhlovodíků (Zdroj: Matějovský V., 2004)

typ uhlovodíků	alternativní název typu	homologická řada
alkanické (parafinické) uhlovodíky	parafíny	alkany
izoalkanické (izoparafinické) uhlovodíky	izoparafíny	izoalkany
nenasycené uhlovodíky	olefiny	alkeny
cyklanické uhlovodíky	cykloparafíny	cyklany
aromatické uhlovodíky	aromáty	aromáty
polyaromatické uhlovodíky (PAU)	polyaromáty	polyaromáty

Oktanové číslo benzínu získaného frakční destilací se pohybuje okolo hodnoty 87, proto následují další technologické úpravy – reformování, katalytické krakování, izomerace, alkylace a další minimálně používané procesy. Oktanová čísla uhlovodíků v závislosti na bodu varu jsou zobrazena v grafu (obr. 5). Toto číslo je možné zvýšit i přidáním přísad nazývaných aditiva. Jejich přidáním do paliva lze dosáhnout celkově lepších vlastností, v některých případech i levněji než technologickými úpravami. Těchto aditiv rozeznáváme několik druhů:

- přísady zvyšující oktanové číslo,
- antioxidanty – snižují náchylnost k oxidaci paliva,
- antikoroziční přísady – zamezují vzniku koroze v palivovém systému,
- deaktivátory kovů,
- přísady proti zamrznání vody,
- mazivostní přísady.



Obr. 5 – Oktanová čísla uhlovodíků v závislosti na bodu varu (Zdroj: Matějovský V.,2004)

Automobilový benzín může obsahovat také kyslíkaté látky, které jsou míseny před finalizací produktu. Maximální množství kyslíku v benzínu je omezeno normami. Normou je také omezeno i množství kovových látek v benzínu – většina států kovové příměsi v palivu nedovoluje. Do benzínu tedy nelze přidávat jakékoli látky, všechny přípustné neuhlovodíkové složky jsou vyjmenovány v normě ČSN EN 228. Složení benzínu je regulováno i z hlediska agresivity na použité materiály v palivové soustavě. Zavedením povinného přimíchávání biosložek do motorových paliv se projevilo ve změně

některých jejich vlastností. Za určitých podmínek mohou biosložky ovlivnit stálost paliv a projevit se na omezené době jejich použitelnosti. Problematika skladování motorových paliv a doporučená doba jejich použitelnosti je stanovena normou, pro automobilový benzín se uvádí doporučená doba použitelnosti 3 měsíce.

V České republice je možné na čerpacích stanicích pořídit převážně běžné palivo typu Natural 95, dále pak prémiová paliva typu Natural 98 a Natural 100, který je dovážen ze zahraničí. Výjimečně je možné se setkat na čerpací stanici s palivem Special 91. Dále je možné pořídit stejná paliva doplněná o aditivační přísady, tyto paliva nabízejí především velké firmy za účelem nabídky paliv nadstandardní kvality. Vyšší kvality není dosaženo zvláštními výrobními postupy, ale pouze zvláštní aditivací paliv, které svými vlastnostmi převyšují požadavky normy. Takto upravená paliva nejsou v rozporu s příslušnými normami, ale ani pro ně nejsou žádné speciální normy vydávány. Pro uživatele je výhodou možnost vyššího výkonu motoru, dosažení menší spotřeby paliva, nižších emisí, ale hlavně udržování čistoty palivového systému. Nevýhodou těchto paliv je jejich vyšší cena. (Matějovský V., 2004; Vlk F., 2006)

3.3.3 Speciální vysokooktanová paliva

Tato paliva jsou využívána v automobilových sportech, kde je největší důraz kladen na dosažený výkon a není brán žádný ohled na ekonomiku provozu. Dříve se nehledělo ani na množství a složení vyprodukovaných emisních látek. Motory sportovních vozů jsou laděny na poskytování maximálního možného výkonu a tomu odpovídají i nároky na používaná paliva. Tyto paliva se vyznačují především vysokým oktanovým číslem a velkou specifickou energií. V současné době je možnost výběru paliva omezována, aby měli sportovní jezdci mezi sebou přibližně stejné podmínky. Používat olovnatá paliva je zakázáno, jako přípustné palivo je označeno pouze to, které je pořízeno od veřejné čerpací stanice. Přesné požadavky na kvalitu paliva se liší podle typu soutěže a jednotlivých závodů. Jediným společným omezením je velikost oktanového čísla (95-102 oktanů VM, 85-90 oktanů MM), ostatní vlastnosti paliva musí odpovídat normě ČSN EN 228. Dalším požadavkem je, aby jediným okysličovadlem paliva byl pouze vzduch.

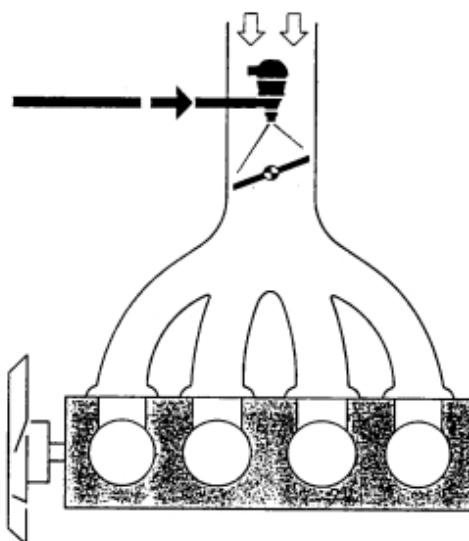
V minulosti bylo možné používat u sportovních vozidel speciální paliva a přísady ovlivňující jejich vlastnosti – metanol, etanol, benzol, aceton, lehký benzín, letecký benzín, nitráty uhlovodíků, peroxid vodíku, nebo ropný olej. (Matějovský V., 2004)

3.4 Palivové soustavy

Schopnost využití energie obsažené v palivu je ovlivněna způsobem směšování paliva se vzduchem. Od toho se odvíjí i výkonnostní parametry motoru, množství a složení emisí vznikajících spalováním paliva. Tyto směšovače se neustále vyvíjejí nejen kvůli požadavkům na vyšší výkony, ale hlavně z důvodu zpřísňujících se emisních limitů. Podle druhu směšovače se odlišují i další součásti palivového systému. Dalšími hlavními částmi palivového systému vozidla jsou nádrž s palivovým čerpadlem a odvětráváním, palivové potrubí a palivový filtr.

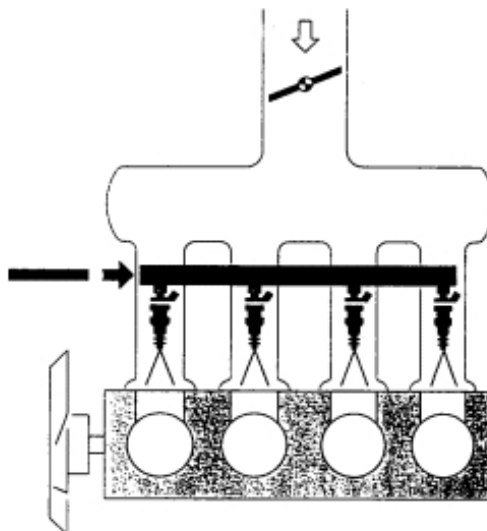
Nejstarším druhem směšovače je karburátor, ten využívá proud nasávaného vzduchu do válce, vzduch sebou unáší kapky paliva a dochází k mísení směsi. Množství nasátého paliva nelze přesně regulovat. Z důvodu vysokých emisí se karburátory u automobilových vozidel již nepoužívají. S karburátory je možné se setkat u malé motorové techniky bez elektronického řízení motoru.

Dalším vývojovým stupněm směšování paliva se vzduchem je za pomoci vstřikování paliva do nasávaného vzduchu. Pomocí elektronicky řízeného vstřikování lze přesně určovat dávku paliva přivedeného do válců. Prvním používaným systémem bylo nepřímé jednobodové vstřikování. Vstřikovač paliva byl podobně jako karburátor součástí sacího potrubí a dodával palivo do všech válců najednou. Nepřímé jednobodové vstřikování je zobrazeno na obr. 6.



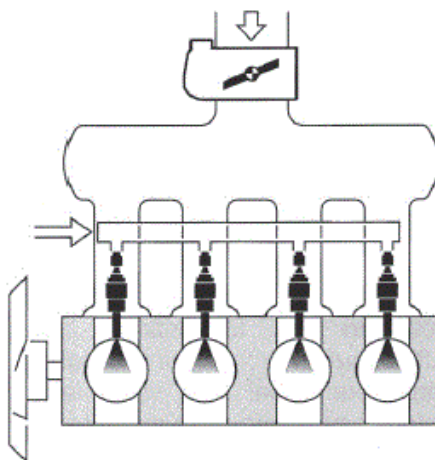
Obr. 6 – Jednobodové vstřikování paliva (nepřímé) (Zdroj: Vlk F., Rauscher J., 2004)

Následovalo použití vlastního vstřikovače pro jednotlivé válce motoru – tzv. nepřímého vícebodového vstřikování. Vstřikovače jsou vybaveny společným zásobníkem paliva a jsou umístěny v sacím potrubí až za škrtkící klapkou viz obr. 7.



Obr. 7 – Vícebodové vstřikování paliva (nepřímé) (Zdroj: Vlk F., Rauscher J., 2004)

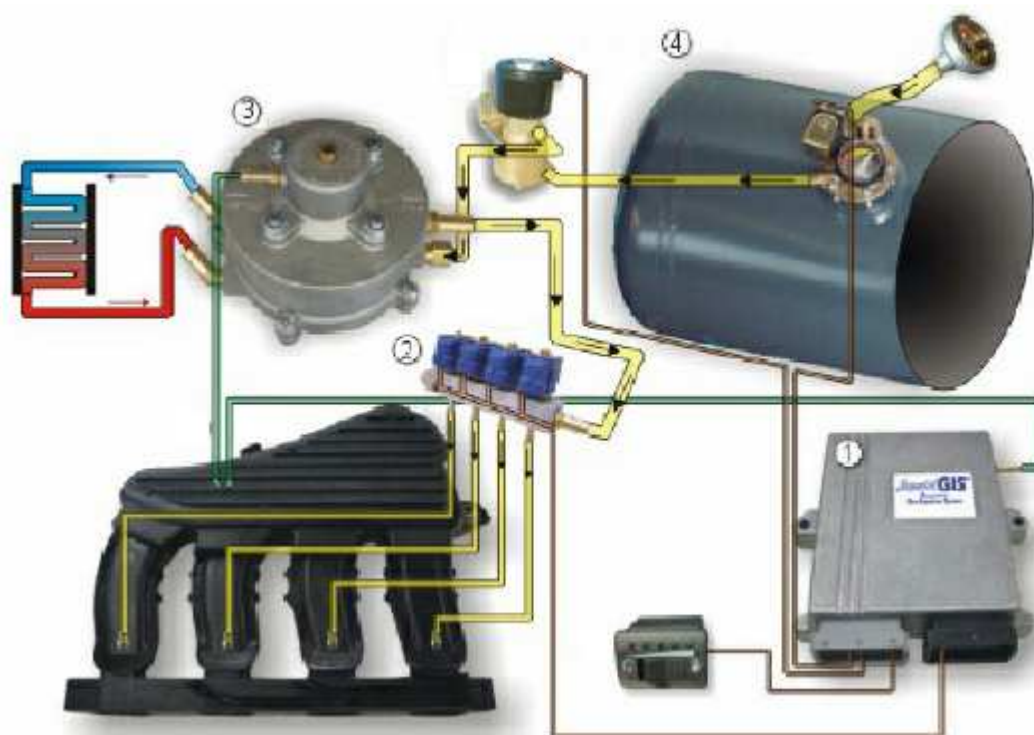
Nejmodernějším směšovací systémem je přímý vstřik paliva do jednotlivých válců motoru. Pro tento způsob vstřikování je nutné použít speciálně tvarovaných pístů podporujících víření vzduchu uvnitř válce a zlepšujících mísení kapek paliva se vzduchem. Schéma přímého vstřikování paliva je na obr. 8. Podle druhu použitých vstřikovačů je možné na jeden cyklus motoru provádět kontinuální vstřikování paliva, nebo vstřikování přerušované. (Ferenc B., 2004; Vlk F., Rauscher J., 2004)



Obr. 8 – Přímé vstřikování paliva (Zdroj: Vlk F., Rauscher J., 2004)

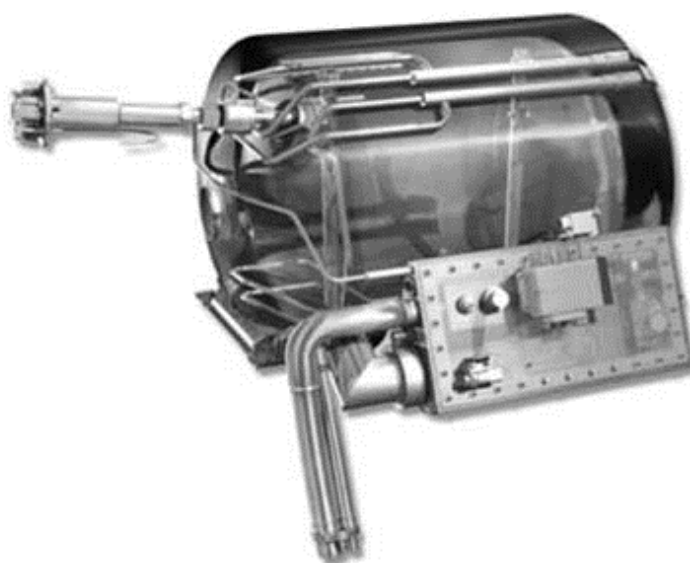
Používání etanolu jako paliva vyžaduje zásah do palivové soustavy určené na benzín. Minimem je nutnost instalace vlastní řídicí jednotky, která bude upravovat velikost dávky paliva do jednotlivých válců. Protože etanol má menší výhřevnost, než benzín, musí být množství vstřikovaného paliva větší a vzroste tedy i jeho celková spotřeba. Dále se doporučuje výměna gumových těsnění v palivové soustavě, protože etanol reaguje s pryží a může tak dojít k zanesení a poškození některé z částí palivového systému. Díky vyššímu oktanovému číslu etanolu je možný i určitý nárůst výkonu motoru, záleží to ale na jeho konstrukci.

U více-palivových systémů, které umožňují kromě benzínu používat i plynná paliva (LPG, CNG) se nejčastěji využívá systémů nepřímého vstřikování. Pro plynná paliva je používán samostatný palivový systém včetně vstřikovačů. Dalšími prvky palivového systému pro plynná paliva je tlaková palivová nádrž s víceúčelovým ventilem, vysokotlaké palivové potrubí, palivový filtr, elektromagnetický uzavírací ventil, reduktor tlaku (odpařovač), nízkotlaké potrubí a vlastní řídicí jednotka. Jednotlivé součásti palivového systému pro plynná paliva jsou na obr. 9.



Obr. 9 – Palivová soustava pro plynná paliva – 1) řídicí jednotka, 2) vstřikovací ventily, 3) odpařovač, 4) tlaková nádrž (Zdroj: Vlk F., Rauscher J.,2004)

Spalovací motory využívající jako paliva vodík jsou stále ve stádiu vývoje a testování. Palivový systém pro vodík se od ostatních plynových palivových systémů příliš neodlišuje. Největšími rozdíly je použití chladicí tlakové nádrže (viz obr, 10), kde je vodík udržován při teplotě -253°C , a vysoké nároky na těsnost a pevnost celé palivové soustavy. Nespornou výhodou spalování vodíku je, že vznikají pouze emise oxidů dusíku, navíc se jejich množství dá ovlivňovat recirkulací spalin. Přesto se ukazuje výhodnější do budoucna využívat vodík pouze v palivových článcích k výrobě elektrické energie. (Hofmann K., 2005; Hromádko J., 2012; Kameš J., 2004)

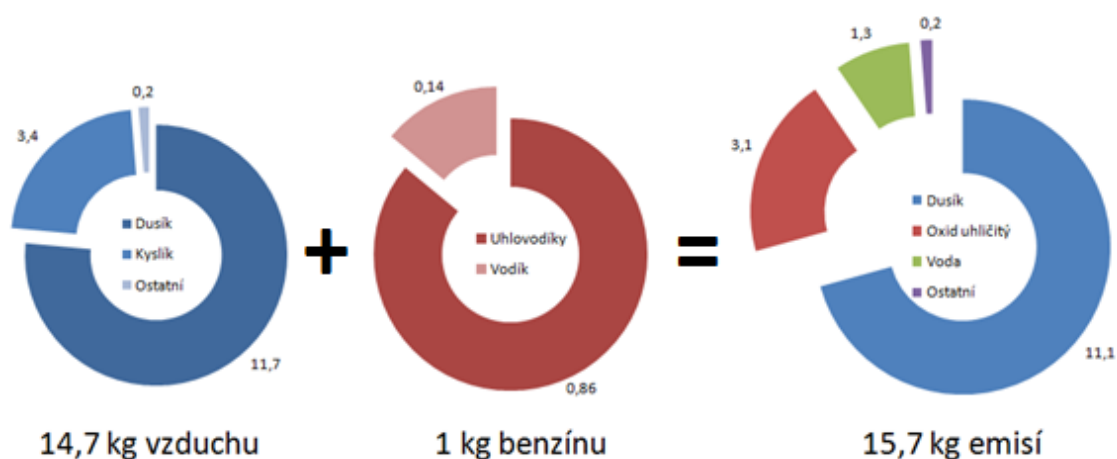


Obr. 10 – Palivová nádrž na vodík

(Zdroj: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2012/10/Hydrogen_car_fuel_tank)

4 EMISE

Podle druhu použitého paliva se mění množství a složení vyprodukovaných emisních látek. Ve spalovacím motoru dochází k přeměně chemicky vázané energie paliva, nedílnou součástí získávání energie tímto způsobem je i produkce dalších chemických látek vznikajících spalováním. K úplnému spálení jednoho kilogramu paliva (benzínu) v zážehovém motoru je zapotřebí 14,7 kg vzduchu. Poměr takto vzniklé směsi paliva se vzduchem je označována jako stechiometrický (viz obr. 11). Při dokonalém spalování této směsi paliva by vzniklé chemické látky byly zastoupeny pouze oxidem uhličitým a vodou v plynném stavu. K dokonalému spalování v motorech ale nedochází a vznikají další chemické látky, které označujeme emisemi.



Obr. 11 – Složení směsi při stechiometrickém poměru a vzniklé emise

Výhodou z hlediska produkce emisních látek je použití plynného paliva. Napomáhá tomu absence kapalné fáze, dochází tak k dokonalému promísení směsi paliva a lepšímu hoření. Další výhodou je možnost spalování chudé směsi a také to, že některá plynná paliva mají vyšší oktanové číslo, než benzín. (Ferenc B., 2004; Matějovský V., 2004; Hromádka J., 2012)

4.1 Složení emisí

Mezi produkované emisní látky řadíme nejen vzniklé spaliny, ale i uhlovodíky, které se odpařují do okolí.

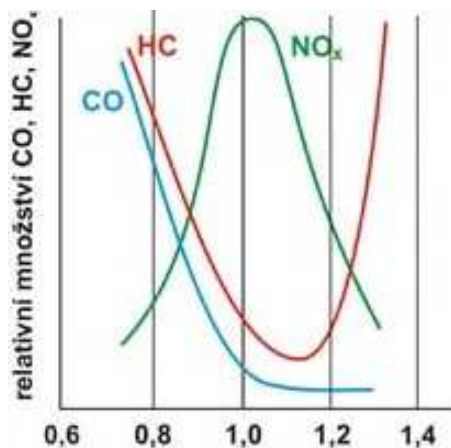
Škodlivé emise můžeme rozdělit na tyto složky:

- přímo limitované – oxid uhelnatý, oxidy dusíku, nespálené uhlovodíky a saze,
- nepřímo limitované – jsou ovlivněné složením paliva a jeho spotřebou (oxid uhličitý a oxidy síry),
- organické těkavé,
- organické netěkavé.

Množství a složení vyprodukovaných škodlivých látek nejvíce ovlivňuje:

- složení směsi paliva – chemické složení paliva, respektive směsi do jisté míry kopíruje složení výsledných spalin – lze očekávat, že látka vyskytující se ve výrazné převaze v palivu se bude stejnou mírou podílet na složení spalin,
- konstrukce motoru – nejvíce ovlivňující je způsob přípravy spalované směsi (např. nepřímé a přímé vstřikování paliva),
- okamžité provozní podmínky – kolísání produkce emisí lze pozorovat při studeném startu motoru, prudké akceleraci, řazení a brzdění.

K dosažení nejlepších možností spalování je důležité optimální promíchání směsi paliva se vzduchem a dodržování stanoveného součinitele přebytku vzduchu λ (λ). Závislost produkovaných emisí na hodnotě λ je zobrazena v grafu (obr. 12). Stechiometrická směs se označuje $\lambda=1$, nižší hodnoty λ označujeme jako směsi bohaté, vyšší hodnoty jako směsi chudé. V současné době legislativním požadavkům na produkci emisí nedostačují ani obzvláště dobře seřízené motory, proto musí být součástí výfukového potrubí zařízení na dodatečnou úpravu spalin – katalytický konvertor (katalyzátor). (Ferenc B., 2004; Matějovský V., 2004; Hromádko J., 2012)



Obr. 12 – Graf závislosti produkce emisí na hodnotě lambda

(Zdroj: <http://www.gsxr.wz.cz/technika/lambda2.jpg>)

4.2 Emisní předpisy

Mnohé z chemických látek vznikajících při spalování jsou považovány za zdraví škodlivé, proto jsou zákonem stanovené normy pro produkci jednotlivých látek. Jedná se o:

- CO – oxid uhelnatý je bezbarvý plyn, bez zápachu a toxický. Vytváří se především při nedokonalém spalování. V atmosféře není pro člověka nebezpečný, protože rychle reaguje s kyslíkem a vzniká CO₂. V uzavřených prostorech se jedná o velmi nebezpečný plyn – při vdechování koncentrace 700 ppm dojde po krátké době k zadušení. Limitní hodnota v pracovních prostorách je 50 ppm,
- NO_x – oxidy dusíku vznikají při vysokých teplotách a tlacích během procesu spalování. Největší množství oxidů dusíku se vytváří při spalování směsi se stechiometrickým poměrem ($\lambda=1$),
- C_xH_y – mezi uhlovodíky patří statisíce sloučenin, které se skládají z uhlíku a vodíku a jsou nejdůležitějšími sloučeninami v organické chemii. V přírodních palivech se vyskytují v ropě, uhlí a zemním plynu. Emise C_xH_y mohou vznikat už při jejich zpracování (např. v rafinériích), použití i likvidaci. Zdrojem uhlovodíků jsou také nedokonalé spalovací procesy. Uhlovodíky přispívají k posílení skleníkového efektu. Koncentrace všech uhlovodíků ve spalínách se většinou vyjadřuje a měří jako „celkový organický uhlík“.

První právní předpisy omezující produkci emisních látek spalovacích motorů vznikaly už v 70. letech minulého století. V současné době je ve všech evropských zemích v platnosti norma EURO VI, jejím cílem je vyrovnat produkce emisí zážehových a vznětových motorů. Každý nově vyrobený a použitý motor v automobilu musí plnit příslušnou normu a navíc se výrobce motoru zavazuje k tomu, že ji bude vůz splňovat i po dobu své životnosti. Požadavky emisních norem jsou zobrazeny v tab. 5. (Ferenc B., 2004; Matějovský V., 2004; Hromádko J., 2012)

Tab. 5 – Emisní limity (Zdroj: <http://www.lokalizacevozidel.estranky.cz/clanky/smernice-ehs-es-.html>)

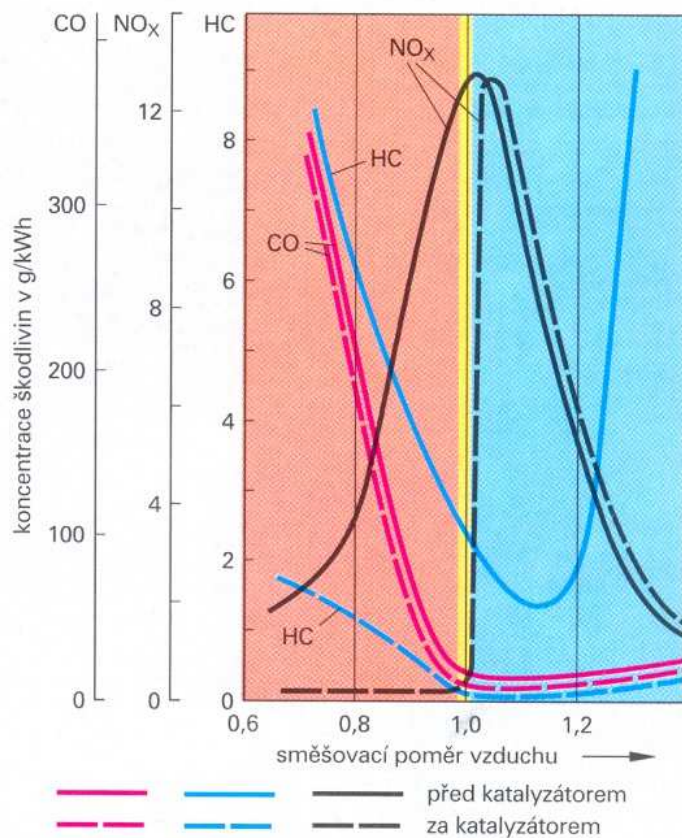
Rok/norma		CO (g/km)	NO _x (g/km)	HC + NO _x (g/km)	HC (g/km)
1992	I	3,16	-	1,13	-
1996	II	2,2	-	0,5	-
2000	III	2,3	0,15	-	0,2
2005	IV	1	0,08	-	0,1
2009	V	1	0,06	-	0,1

4.3 Prostředky ke snižování emisí

V současné době je vyžadováno, aby byla produkce emisních látek motorů minimální. Proto je regulováno množství emisí vznikajících při spalování. Emise obsažené ve výfukových plynech lze ještě snižovat za pomoci speciálních zařízení umístěných ve výfukovém potrubí.

4.3.1 Katalyzátory

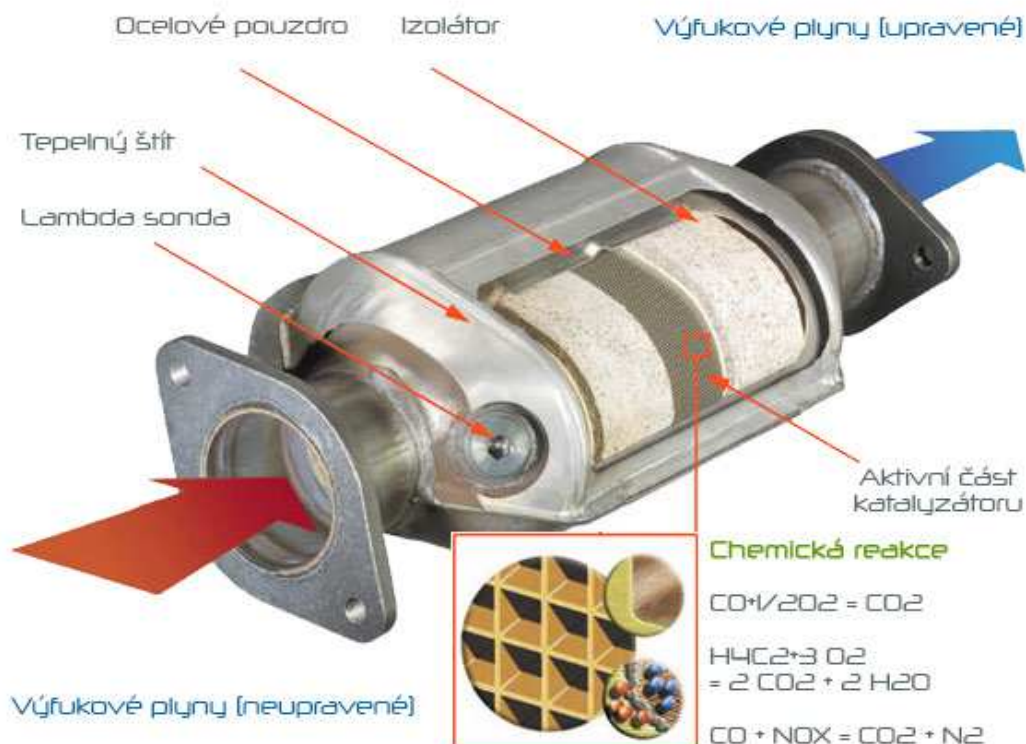
Jsou to součásti výfukové soustavy, které slouží k dodatečné úpravě výfukových plynů a celkovému snížení úrovně emisí vozidla. Funkcí katalyzátoru je přeměna škodlivých složek výfukových plynů, které jím procházejí, na méně škodlivé látky. Množství emisí oxidu uhličitého nelze katalyzátorem snížit. Emise, které lze katalyzátorem snižovat jsou oxidy dusíku, oxid uhelnatý a nespálené uhlovodíky. Účinnost katalyzátoru se mění s velikostí jeho teploty a podle složení směsi paliva (viz obr. 13).



Obr. 13 – Graf složení emisí před katalyzátorem a za ním (Zdroj: <https://publi.cz/books/160/Cover.html>)

Druhy katalyzátorů:

- oxidační – jedná se o první používaný druh katalyzátoru, oxid uhelnatý a nespálené uhlovodíky jsou v katalyzátoru dodatečně spalovány, vznikají emise oxidu uhličitého a vodní páry. Spalovací motor neustále pracuje s chudou směsí paliva,
- dvoulůžkový – vznikl spojením redukčního a oxidačního katalyzátoru. K redukci oxidů dusíku dochází pouze, když spalovací motor pracuje s bohatou směsí paliva. Aby zároveň docházelo k oxidačnímu hoření v katalyzátoru, je nutné před oxidační část přivádět dodatečně vzduch,
- tříložkový (třícestný) katalyzátor (viz obr. 14) – u tohoto katalyzátoru je využíváno přesného řízení směsi paliva se vzduchem. Konstrukčně vychází z katalyzátoru dvoulůžkového, před katalyzátorem je umístěn snímač zbytkového obsahu kyslíku ve spalinách. Jeho funkčním požadavkem je, aby se směs paliva co nejvíce přibližovala hodnotě stechiometrického poměru,



Obr. 14 – Třícestný katalyzátor (Zdroj: <http://www.dpf-ftg.cz/funkce-katalyzatoru/>)

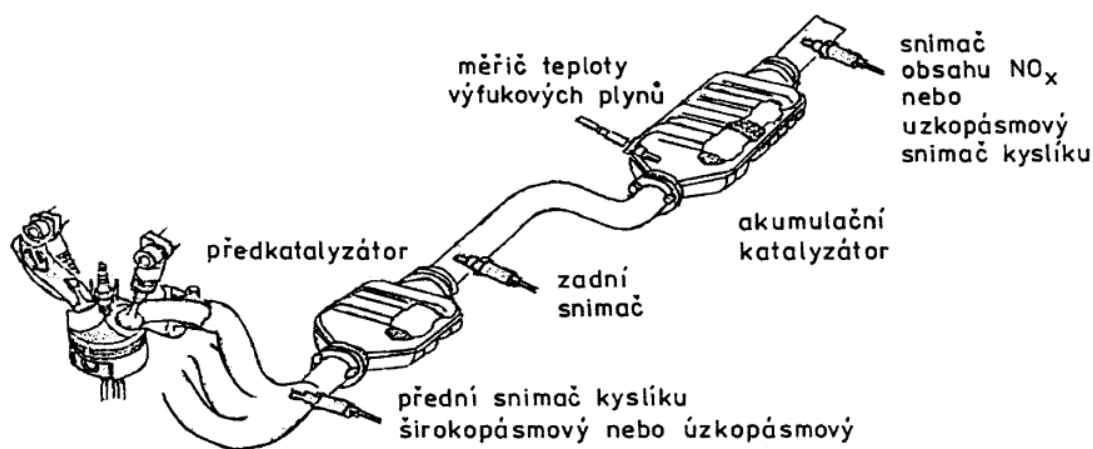
- zásobníkový (akumulační) katalyzátor – je nejrozšířenějším druhem katalyzátoru. Pracuje obdobně jako třícestný katalyzátor, ale při provozu s chudou směsí paliva je schopen hromadit oxidy dusíku. Schopnost jejich hromadění je závislá na provozní teplotě katalyzátoru (300 – 400 °C). Po naplnění kapacity oxidů dusíku je nutná regenerace katalyzátoru, ta se provádí krátkodobým obohacením směsi na hodnotu $\lambda < 0,8$. Zásobníkový katalyzátor bývá často odděleně využíván s katalyzátorem tříložkovým.

4.3.2 Lambda regulace

Pro správnou funkci katalyzátoru je nutné, aby byl spalovací motor řízen za pomoci lambda regulace. Tento způsob řízení motoru pracuje na principu snímání obsahu zbytkového kyslíku ve výfukových spalinách. Signálu ze snímačů obsahu kyslíku (lambda sond) se využívá k regulaci množství dávkovaného paliva. Způsob regulace se odlišuje podle druhu motoru a způsobu tvorby směsi paliva se vzduchem. U nepřímého vstřikování paliva se složení směsi udržuje kolem spodní hranice stechiometrického poměru ($\lambda=1$). Tato směs je lehce zažehnutelná a dokonale spalitelná, navíc je tento poměr nej-

více vhodný pro správnou činnost třícestného katalyzátoru. U přímého vstřikování paliva do válce dochází k rozdílnému složení spalované směsi. Podle konstrukce motoru a jeho provozních podmínek může být směs paliva chudá, stechiometrická, nebo krátkodobě obohacená. K tomu dochází z důvodu řízení výkonu motoru pomocí rozdílné vstřikované dávky paliva do stále stejného množství nasátého vzduchu ve válci. Některé takto řízené motory mají navíc možnost řízené recirkulace výfukových plynů zpět do sání.

Pro lepší sledování a úpravu vlastností spalin ve výfukovém potrubí se používá více lambda sond umístěných mezi jednotlivé katalyzátory. Řízení dávky paliva je regulováno výhradně podle první lambda sondy, ostatní slouží pouze ke korekci jejího signálu z důvodu jejího většího namáhání (vlivem agresivního prostředí) a rychlejšímu stárnutí. Použití více sond (viz obr. 15) umožňuje zvýšit přesnost lambda regulace a vyznačuje se lepší dlouhodobou stabilitou produkovaných emisí. Z porovnání signálů jednotlivých lambda sond lze také kontrolovat účinnosti katalyzátorů.



Obr. 15 – Schéma soustavy výfukového potrubí (Zdroj: Ferenc B.,2004)

4.3.2.1 Dvoustavová regulace

Používaná lambda sonda je schopna podle spalin rozlišovat pouze mezi chudou a bohatou směsí paliva. Napěťový signál směřující ze sondy do řídicí jednotky tedy udává, zda má být palivová směs ochuzena, nebo obohacena. Kvůli pravidelnému chodu motoru nemůže tato změna složení směsi paliva probíhat skokově, ale je měněna postupně. Korekce dávky paliva tedy probíhá s časovým zpožděním, toto zpoždění závisí na otáčkách a zatížení motoru. Lambda regulace je schopna reagovat na změnu podmí-

nek – změna kvality paliva, různá hustota nasávaného vzduchu, opotřebení motoru, nebo zanesení vstříkovačů paliva. Následně je regulace schopna změnit přednastavení a adaptovat se na patřičné změny. Odchylka od původního nastavení řídicí jednotky je uložena do paměti a projeví se i po dalším nastartování, dokud se provozní podmínky zase nezmění. Tento způsob řízení směsi je využíván u motorů s nepřímým vstříkovaným palivem.

Lambda sondy pro dvoustavovou regulaci rozdělujeme (viz obr.16):

- sonda s oxidem zirkoničitým,
- sonda s oxidem titaničitým.



Obr. 16 – Lambda sondy s dvoustavovou regulací

(Zdroj:<https://www.ngk.de/cz/produkty-a-technologie/lambda-sondy/>)

4.3.2.2 Spojitá regulace

Ke spojitě regulaci vstříkované dávky paliva se využívá širokopásmových lambda sond. Ty jsou schopny rychle reagovat na změnu zbytkového kyslíku ve výfukových plynech a dodávat spojitý napěťový signál řídicí jednotce motoru. Podle signálu je možné rozlišit nejen bohatou a chudou směs, ale i její odchylku od stechiometrického poměru. Řídicí jednotka tak může rychleji reagovat na odchylky a může spojitě reagovat na různé poměry směsi paliva a vzduchu. Tento způsob řízení směsi je využíván u motorů s přímým vstříkovaním paliva a je nutný pro motory schopné spalovat chudou směs paliva, které jsou z pravidla vybaveny zásobníkovým katalyzátorem. (Ferenc B., 2004; Vlk F., Rauscher J., 2004)

5 MATERIÁL A METODIKA

Cílem praktického měření bylo zjištění vlivu velikosti oktanového čísla paliva na provozní parametry spalovacího motoru. K porovnání byly použity dva vzorky benzinového paliva, prvním byl běžný Natural s oktanovým číslem 95 (N95) a druhým byl prémiový Natural s oktanovým číslem 100 (N100).

Měření probíhalo na válcové zkušebně Mendelovy univerzity v Brně. Použitým vozidlem k měření byl vůz Dacia Logan MCV s motorem označeným 1,4i. Měření vzorků paliv probíhala jednotlivě, mezi měřeními došlo k resetování řídicí jednotky a její adaptaci na nové palivo. K objektivnímu porovnání provozu automobilu na obě paliva bylo nutné použít otáčkových charakteristik. Získané hodnoty dat byly následně statisticky zkoumány pomocí párového t-testu. V párovém t-testu ověřujeme, zda se získané hodnoty statisticky liší.

5.1 Použitá měřící zařízení

Jak již bylo zmíněno, měření probíhala na válcové zkušebně, která se nachází v areálu Mendelovy univerzity v Brně na Ústavu techniky a automobilové dopravy. K měření byl použit dynamometr pro osobní automobily MEZ 4VDM-E120D , jeho parametry jsou uvedeny v tab. 6.

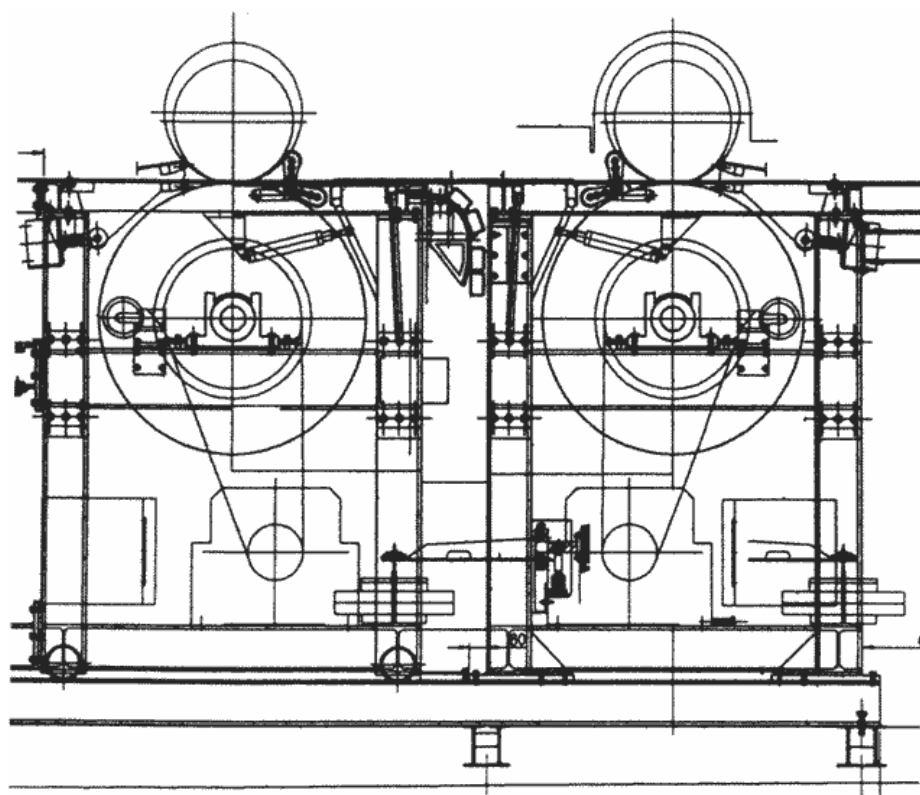
Tab. 6 – Parametry vozidlového dynamometru

(Zdroj: <http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/konstdyn.htm>)

Max. zkušební rychlost [km.h ⁻¹]	200
Max. výkon na nápravu [kW]	240
Max. hmotnost na nápravu [kg]	2000
Průměr válců [m]	1,2
Šířka válců [mm]	600
Mezera mezi válci [mm]	900
Povrch válců	zdrsnění RAA 1,6
Setrvačná hmotnost válců (každá náprava) [kg]	1130
Min. rozvor [mm]	2000
Max. rozvor [mm]	3500
Zatížitelnost krytí	
v místě jízdy [kg]	2000
v místě chůze [kg]	500
Tlakový vzduch [bar]	min. 4

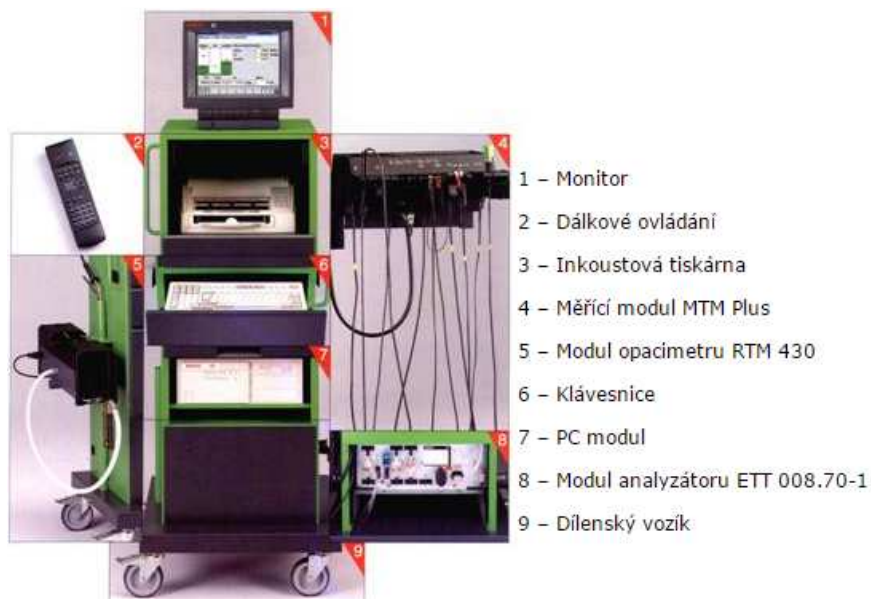
Rozsah měření rychlosti [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	0 – 200
Rozsah měření sil [kN]	4x ± 5
Přesnost měření rychlosti [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	$\pm 0,01$
Přesnost měření sil [%]	$\pm 0,25$
Přesnost regulace rychlosti [%]	$\pm 0,1$
Přesnost regulace síly [%]	$\pm 0,5$

Válcová zkušebna umožňuje měření výkonu motoru vozidla přímo na kolech, prostřednictvím válců, propojených s dynamometry. Válcová modulová zkušebna výkonu se skládá z rámu, na kterém jsou usazeny v ložiskových domcích čtyři válce (viz obr. 17).



Obr. 17 – Schéma válcového dynamometru určeného pro vozidla
(Zdroj: <http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/konstdyn.htm>)

Dalším použitým měřicím zařízením byl přístroj Bosch ESA (emisní systémová analýza). Jedná se o modulárně řešený systém, který slouží primárně k měření emisí, ale je možné jej použít i k diagnostice a seřízení motoru. Tento systém (obr. 18) obsahuje modul analyzátoru ETT 8.70/ETT 8.71, opacimetr RTM 430 a měřicí modul MTM Plus řízený počítačem. Modul analyzátoru ETT 8.70 provádí měření čtyř základních složek výfukových plynů CO, HC, CO₂, O₂. Z nich vypočítává hodnotu součinitele přebytku vzduchu lambda měřeného paliva.



Obr. 18 – Popis emisního systémového analyzátoru
 (Zdroj: <http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/esa.htm>)

Parametry rozsahu analyzátoru výfukových spalin jsou uvedeny v tab. 7.

Tab. 7 – Parametry emisního analyzátoru (Zdroj: <http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/esa.htm>)

Modul analyzátoru ETT 008.70	Měřicí rozsah	Rozlišení
CO	0,000 – 10,00 % obj.	0,001 % obj.
CO ₂	0,00 – 18,00 % obj.	0,01 % obj.
HC	0 – 9999 ppm obj.	1 ppm obj.
O ₂	0,00 – 22 % obj.	0,01 % obj.
Lambda	0,500 – 1,800	0,001

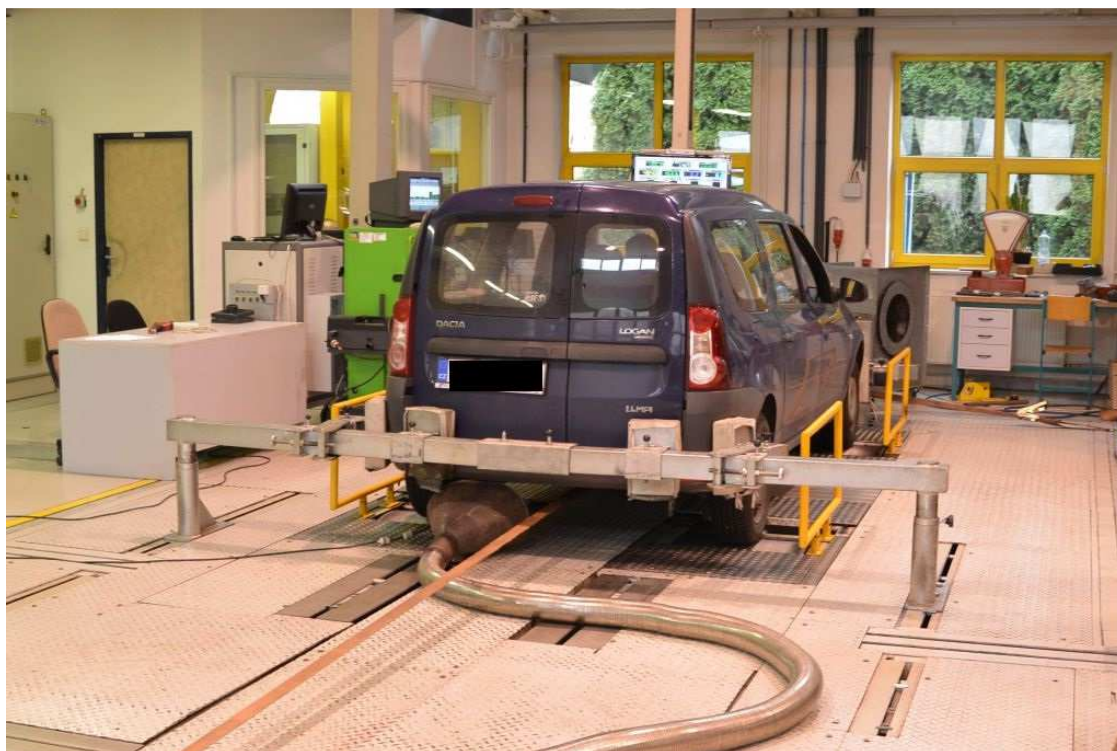
Všechna data získaná z měřících zařízení jsou shromažďována v hlavním počítači, který se nachází v řídicí místnosti zkušebny (velínu). Jedná se o oddělenou část zkušebny (viz obr. 19), ze které probíhá ovládání všech součástí zkušebny a měřících zařízení.



Obr. 19 – Válcová zkušebna a řídicí místnost (velín)

5.2 Měřené vozidlo

Použitým motorovým vozidlem k měření byl vůz značky Dacia roku výroby 2009, modelové řady Logan MCV s motorem Renault 1,4i. Automobil k měření zapůjčila společnost Albenor s.r.o.. Na obr. 20 je použité vozidlo při měření.



Obr. 20 – Měřené vozidlo Dacia Logan MCV

5.2.1 Technické parametry vozidla

Parametry vozidla využitého pro měření jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8 – Parametry měřeného vozidla

(Zdroj: <https://auta.vsevedko.sk/dacia/dacia-logan-mcv-517/dacia-logan-mcv-14-20117.html>)

<i>typ motoru</i>	K7J 710
<i>zdvihový objem (cm³)</i>	1 390
<i>vrtání x zdvih (mm)</i>	79,5 x 70
<i>počet válců</i>	4
<i>kompresní poměr</i>	9,5
<i>počet ventilů</i>	8
<i>maximální výkon kW / k</i>	55 / 74,8

<i>při ot./min</i>	5 500
<i>maximální točivý moment Nm</i>	112
<i>při ot./min</i>	3 000
<i>typ vstřikování</i>	vícebodové
<i>emisní norma</i>	Euro 4
<i>poháněná náprava</i>	přední
<i>plnění</i>	atmosférické
<i>typ pneumatik</i>	185/65 R 15
<i>maximální rychlost (km/h)</i>	155

5.3 Popis měření

Před měřením bylo nezbytné nastavit parametry automobilové zkušebny na měřený automobil. Před samotným najetím vozidla na zkušební válce proběhlo očištění automobilu a běhounů pneumatik od nečistot. Dále byl vůz pevně ukotven tak, aby jednotlivá kola dosedala přesně na válce. Ukotvení se provedlo pomocí speciální konstrukce spojené s podlahou zkušebny, konstrukce slouží k zachycení působících dynamických sil a zabraňuje vozidlu opustit prostor zkušebních válců. K dokonalému zajištění bylo dále použito upínacích pásů, které byly uchyceny k nosným částem karoserie, respektive k zadní nápravě a podlaze zkušebny.

Po ukotvení byly připraveny ventilátory, které během měření obstarávají chlazení motoru vozidla. Jejich výkon je regulován z prostor velínu zkušebny, stejně tak je ovládan i systém odsávání spalin, jehož nasávací hrdlo bylo nutné umístit ke konci výfukového potrubí vozidla. Důležitá byla kontrola množství provozních kapalin v automobilu, vyrovnání tlaku pneumatik na správnou hodnotu a kontrola upevnění vyvažovacích tělísek kol. Následovalo připojení měřících zařízení a zkouška, zda vše správně pracuje. Do sacího potrubí motoru byl připevněn snímač teploty nasávaného vzduchu (obr. 21a), dalším měřícím zařízením v motorovém prostoru byly kapacitní kleště sloužící ke snímání otáček motoru (obr. 21b). Sonda analyzátoru výfukových plynů byla umístěna v koncové části výfukového potrubí vozidla (obr. 21c).



Obr. 21 – Připojená měřící zařízení

Následně mohlo dojít k procesu zahřívání na provozní teplotu, nejen měřeného vozidla, ale všech součástí dynamometru. Před samotným měřením bylo ještě nutné zaznamenat barometrické podmínky laboratoře.

Samotné měření se skládá z několika kroků:

- kalibrace dynamometru – určení pasivních odporů vozidla, které slouží k vyhodnocení dalších měřících zkoušek,
- kalibrace závislosti rychlosti vozidla a otáček motoru – kalibrace otáčkoměru a rychloměru vozidla,
- měření odchylky tachometru vozidla,
- měření výkonu a emisí při dynamické zkoušce vozidla,
- měření výkonu a emisí při statické zkoušce vozidla.

Při dynamické zkoušce zjišťujeme základní provozní parametry vozidla, které slouží k nastavení pro statické zkoušky. Měření probíhalo v rozmezí otáček motoru od 1400 min^{-1} do 5000 min^{-1} při zařazeném pátém rychlostním stupni. Konstantou pro měření byla rychlost otáčení válců dynamometru – měření bylo zahájeno při rychlosti 45 km.h^{-1} a ukončeno při rychlosti 160 km.h^{-1} . Pro každé palivo proběhla tři opakovaná měření.

Statickou zkouškou byly sledovány parametry motoru (točivý moment, výkon, produkce emisí, lambda), jako při zkoušce dynamické. Hodnoty byly zaznamenávány při konstantních otáčkách motoru, kdy došlo k ustálení obvodové rychlosti kol a k získání přesnějších výstupních hodnot. Měření probíhalo ve čtyřech režimech otáček motoru a z důvodu reprodukovatelnosti výsledků bylo rovněž pro každé palivo opakováno třikrát.

6 VÝSLEDKY

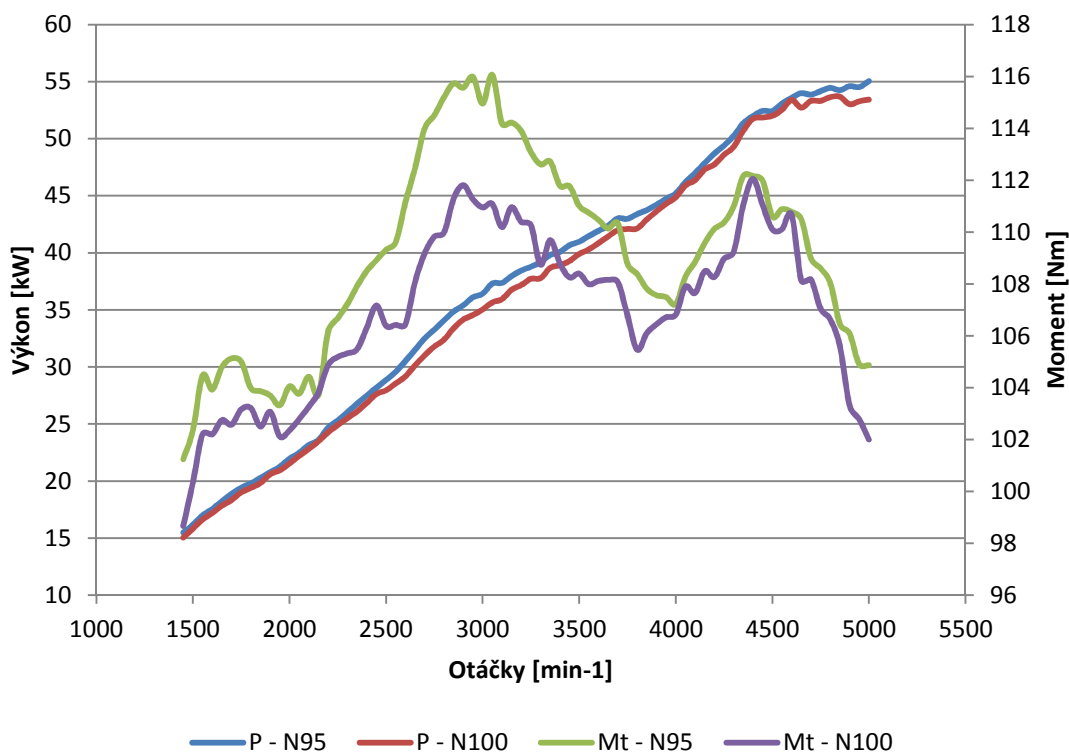
Hodnoty získané měřením byly zpracovány a využity k sestavení otáčkových charakteristik. Atmosférické podmínky při měřeních jsou zobrazeny v tab. 9. Správné určení těchto hodnot při měření, je nutné pro výpočet korekčního koeficientu a pro následnou korekci naměřených a dopočítaných hodnot. Protokoly z jednotlivých měření jsou uvedeny v přílohách.

Tab. 9 – Atmosférické podmínky při měřeních

Měření	Palivo	Teplota	Vlhkost	Tlak
20.11.2015	Natural 95	20 °C	58%	97,79 kPa
3.12.2015	Natural 100	21,7 °C	58%	100,02 kPa

6.1.1 Dynamická zkouška

Měřením byly získány provozní parametry motoru, které byly využity k vhodnému nastavení zkoušky statické. Naměřené výkonové parametry vozidla jsou zobrazeny v grafu otáčkových charakteristik (obr. 22).



Obr. 22 – Graf otáčkových charakteristik (dynamická zkouška)

Dynamickou zkouškou vozidla na palivo Natural 95 bylo dosaženo nejvyšší hodnoty výkonu 55,6 kW při otáčkách 4970 min⁻¹ a nejvyššího točivého momentu 117,8 Nm v otáčkách 2840 min⁻¹. U paliva Natural 100 byl měření zjištěn nejvyšší dosažený výkon motoru 54,5 kW v otáčkách 4993 min⁻¹ a maximální točivý moment 113,4 Nm při otáčkách 2919 min⁻¹. Mezi měřeními je statisticky vysoce významný rozdíl ($p < 0,01$), nejen v hodnotách naměřeného výkonu motoru, ale i točivého momentu. Z důvodu, že nedojde ke stabilizaci vnitřních teplot motoru, nejsou tyto získané hodnoty objektivní, proto následovala přesnější statická zkouška.

6.1.2 Statická zkouška

Stejně jako u dynamické zkoušky byly sledovanými parametry hodnoty výkonových parametrů a emisních látek vznikajících při spalování. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách (tab. 10 a tab. 11).

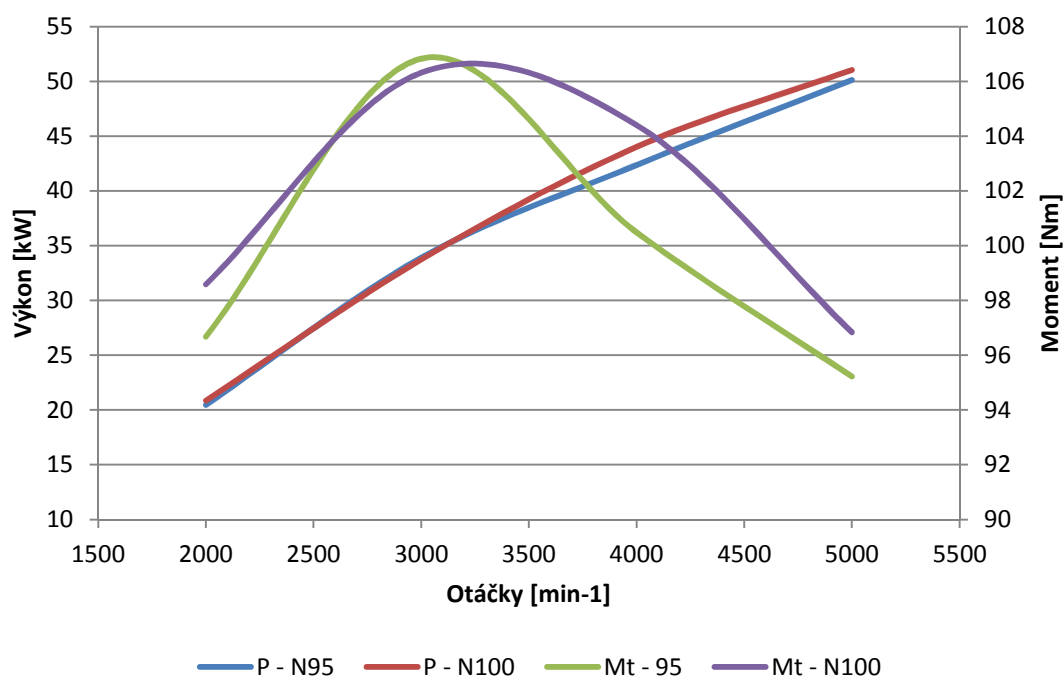
Tab. 10 – Hodnoty statické zkoušky při palivu Natural 95

n [min ⁻¹]	v [km*h ⁻¹]	lambda [-]	CO [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	O2 [%]	P [kW]	Mt [Nm]
2000	63,62	0,89	5,20	11,65	169,67	0,91	20,45	96,67
3000	95,47	0,92	4,01	12,38	152,3	0,91	33,89	106,83
4000	127,20	0,86	6,33	10,96	107,48	0,90	42,36	100,48
5000	159,74	0,83	7,75	9,98	101,3	0,90	50,12	95,22

Tab. 11 – Hodnoty statické zkoušky při palivu Natural 100

n [min ⁻¹]	v [km*h ⁻¹]	lambda [-]	CO [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	O2 [%]	P [kW]	Mt [Nm]
2000	63,63	0,92	4,39	12,36	91,75	0,97	20,86	98,59
3000	95,49	0,93	3,96	12,55	76,78	0,96	33,72	106,31
4000	127,23	0,88	5,99	11,33	60,25	0,96	44,01	104,40
5000	159,79	0,83	7,76	10,16	58,25	0,96	51,04	96,83

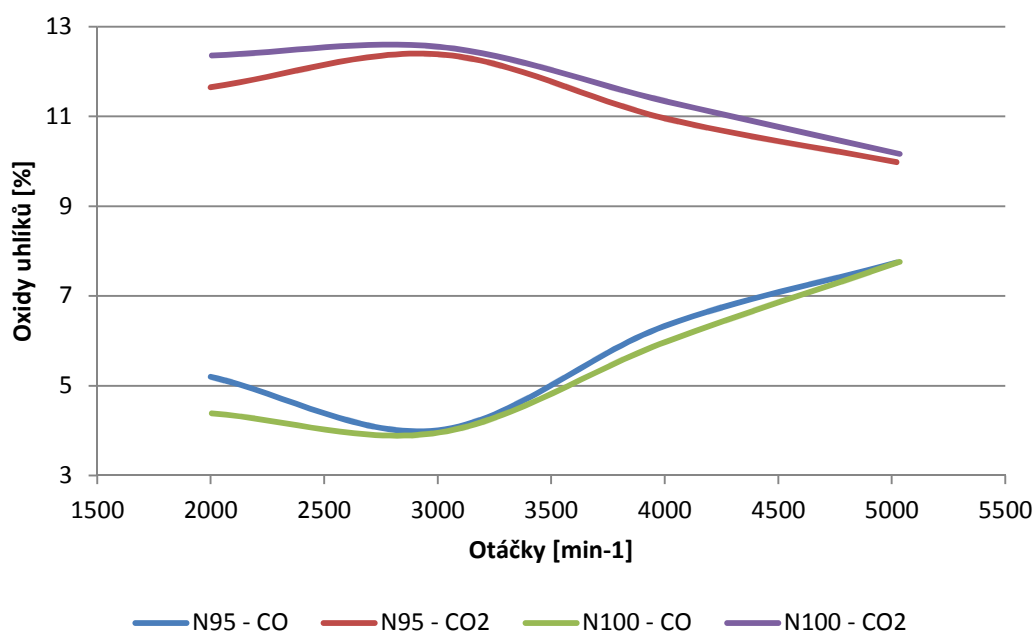
Z tabulek je patrné, že měření probíhala při ustálených otáčkách motoru. Získané parametry jsou zobrazeny v následujících grafech (obr. 23 až obr. 28).



Obr. 23 – Graf otáčkových charakteristik (statická zkouška)

Z grafu otáčkových charakteristik (obr. 23) vyplývá, že motor dosahuje přibližně stejných výkonových parametrů. Mezi naměřenými hodnotami výkonu a točivého momentu nebyl žádný statisticky významný rozdíl. Vyšší hodnoty výkonu dosahuje motor s palivem Natural 100. Vyššího točivého momentu dosahuje motor s palivem Natural 95. Nárůst výkonu má v celém spektru otáček lineární charakter. Nejvyššího točivého momentu motor dosahuje v rozmezí 2500 – 4000 otáček.

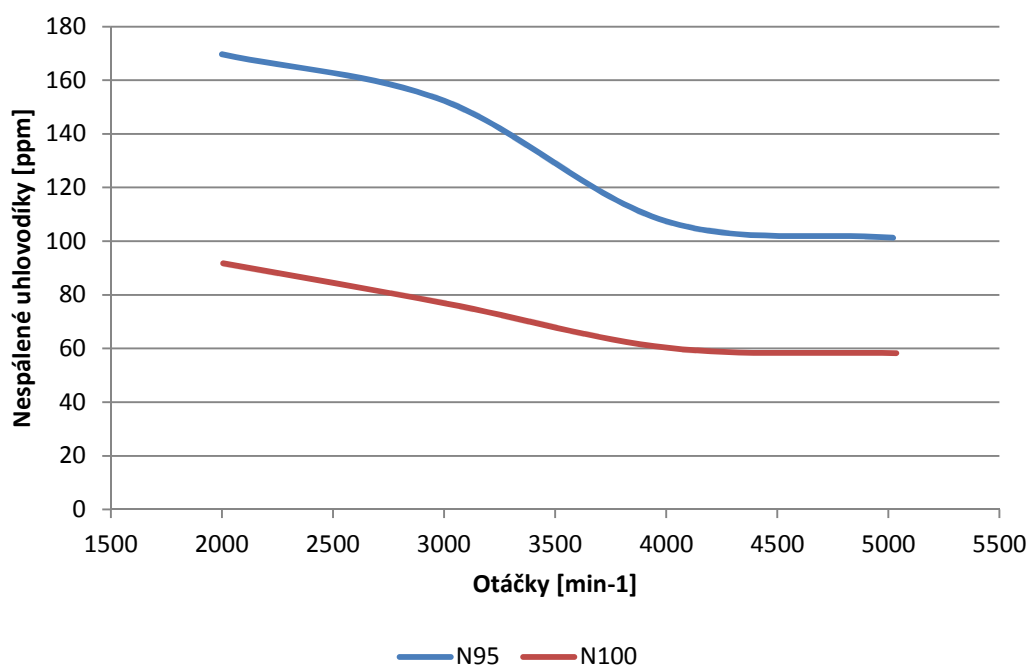
Množství vyprodukovaných emisních látek je zobrazeno v následujícím grafu (obr. 24).



Obr. 24 – Graf hodnot emisí CO a CO₂

V grafu je vidět, že produkce oxidů CO a CO₂ při spalování je na sobě závislá a je ovlivněna kvalitou hoření směsi paliva se vzduchem. Při měření nebyl v produkci jednotlivých látek zjištěn žádný statisticky významný rozdíl (CO: $p=0,2$; CO₂: $p=0,06$). Oxid uhelnatý vzniká při nedokonalém spalování paliva a v grafu je patrné, že při použití 100 oktanového paliva dochází k lepšímu spalování směsi, vzniku vyššího množství CO₂ a nižšího množství CO, převážně v nízkých otáčkách. S růstem otáček motoru roste i produkce emisí CO, způsobuje to zhoršení tvorby směsi paliva se vzduchem a horší kvalita spalování. Z hlediska nižší produkce emisních látek oxidů uhlíku, je výhodnější provozovat motor na 100 oktanové palivo, ale rozdíl mezi palivy je v tomto ohledu zanedbatelný.

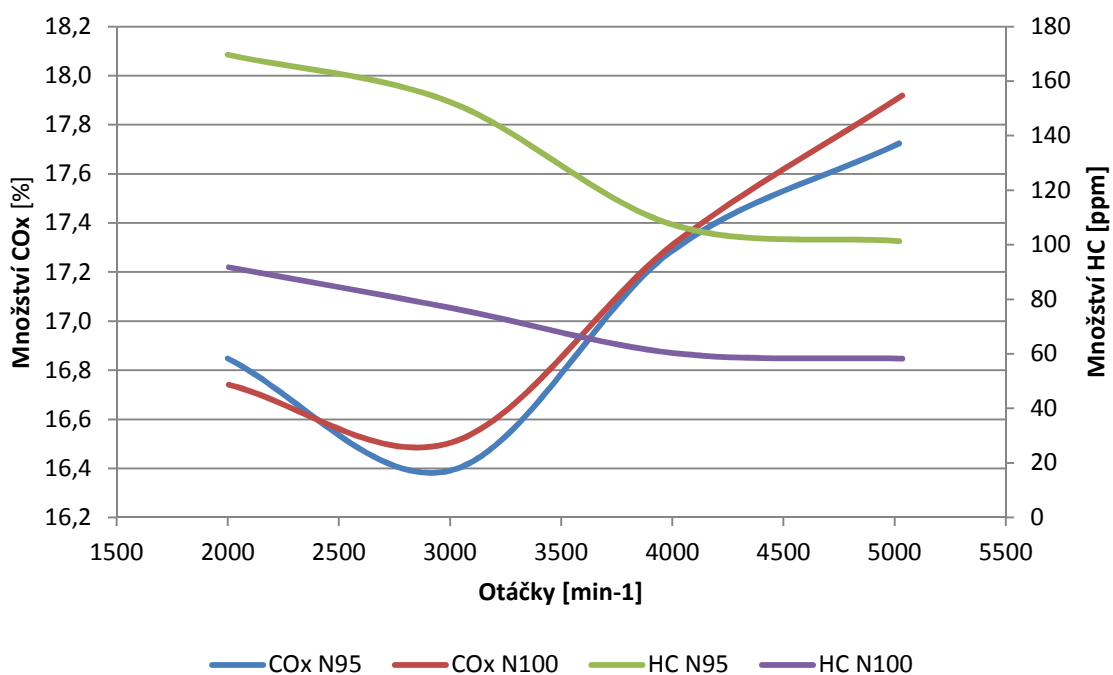
Množství nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech je zobrazeno v dalším grafu (obr. 25).



Obr. 25 – Graf hodnot nespálených uhlovodíků

Množství uhlovodíků ve výfukových spalinách vypovídá o tom, jak dokonale proběhne hoření paliva v motoru. V porovnání množství zbytkových uhlovodíků byl měřením zjištěn statisticky vysoce významný rozdíl ($p=0,0069$), tento významný rozdíl je vidět i v grafu. Rozdíl je pravděpodobně způsoben lepším spalováním směsi a menší vstřikovanou dávkou při použití 100 oktanového paliva. Z hlediska nespálených uhlovodíků je výhodné využít jako palivo 100 oktanový Natural, protože dochází k lepšímu hoření směsi. Je pravděpodobné, že při takovém provozu motoru bude ovlivněna i spotřeba paliva a bude tedy nižší.

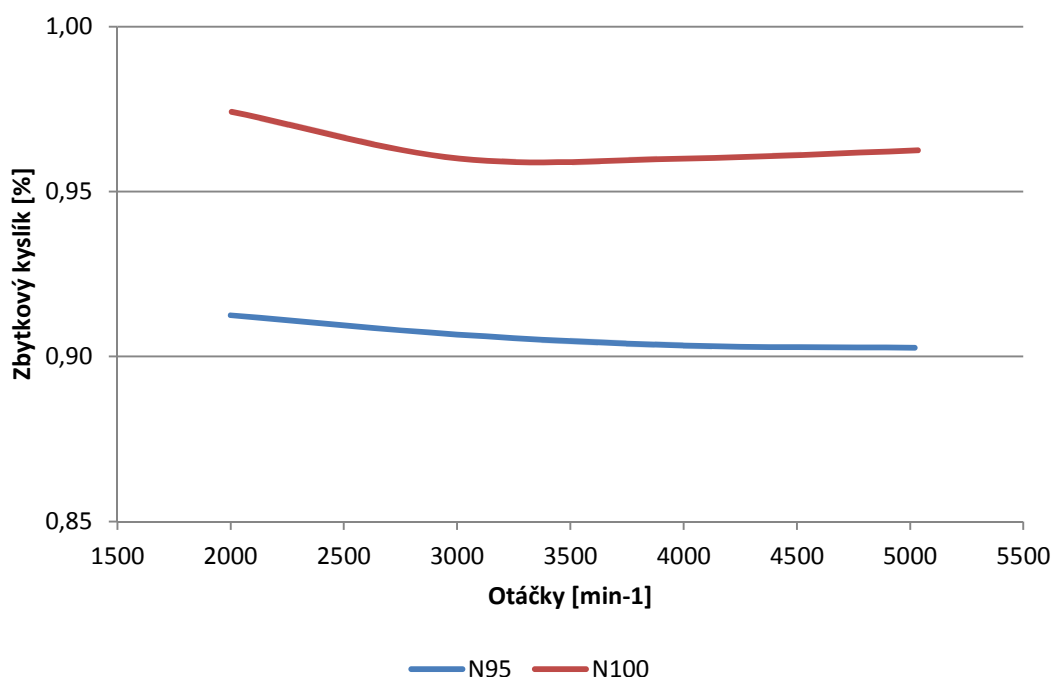
Porovnání množství oxidů uhlíku a nespálených uhlovodíku je zobrazeno v následujícím grafu (obr. 26).



Obr. 26 – Porovnání hodnot emisí oxidů uhlíku a nespálených uhlovodíků

V grafu jsou zobrazeny závislosti emisních látek oxidů uhlíku a nespálených uhlovodíků. Rozdíly v produkci oxidů uhlíku jsou minimální, proto rozdíl v množství nespálených uhlovodíků musí být způsoben menší vstříkovanou dávkou 100 oktanového paliva. Na rozdíl se také podílí dokonalejší spalování vysokooktanového paliva. Pokud bude měřený motor provozován do hranice 3500 min⁻¹, budou celkové produkované emise nejnižší.

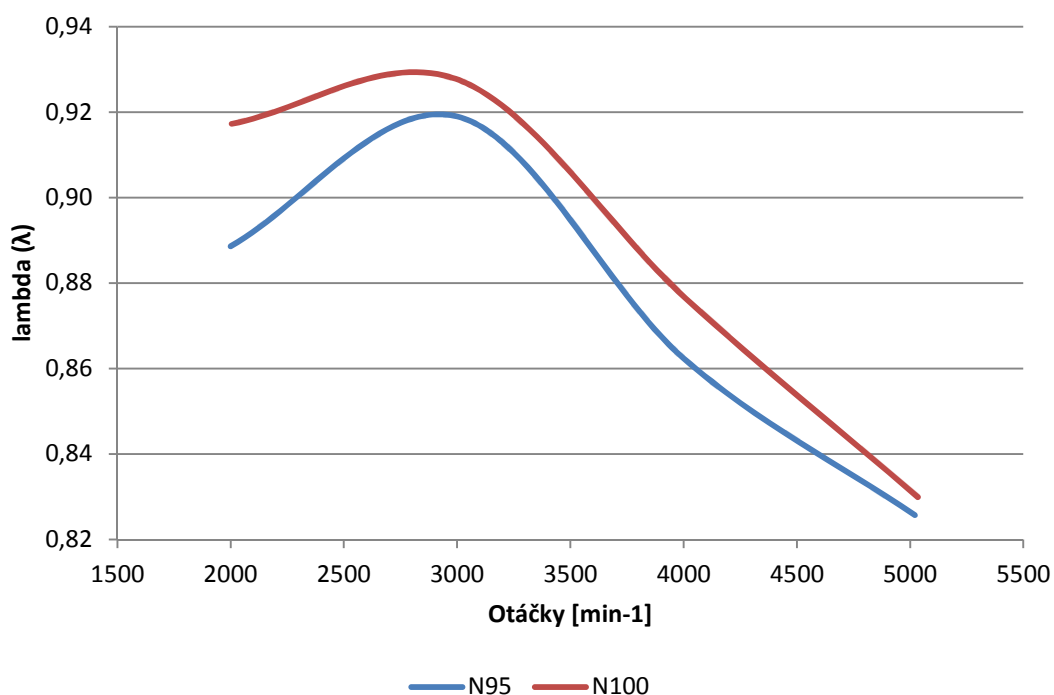
Naměřené množství zbytkového kyslíku ve výfukových plynech je zobrazeno v grafu (obr. 27).



Obr. 27 – Graf hodnot zbytkového kyslíku

Obsah kyslíku ve výfukových spalinách ukazuje množství kyslíku nevyužitého během spalování. Měřením byl zjištěn statisticky vysoce významný rozdíl mezi jednotlivými palivy ($p=0,00007$). Tento rozdíl byl pravděpodobně způsoben tím, že řídicí jednotka při 100 oktanovém palivu pracovala s chudším poměrem směsi paliva se vzduchem, než při 95 oktanovém benzínu. Další možností je, že 100 oktanový Natural obsahoval aditiva s vázaným kyslíkem – z toho vyplívá, že bylo ve válci více kyslíku, který se nevyužil pro spalování. Množství zbytkového kyslíku je v celém spektru otáček vyrovnané, to značí, že lambda regulace motoru pracovala správně.

Porovnání naměřených hodnot lambda je graficky znázorněno v následujícím grafu (obr. 28).



Obr. 28 – Graf hodnot součinitele přebytku vzduchu lambda

Hodnota lambda je určována řídicí jednotkou motoru na základě údajů získávaných lambda sondou z výfukových plynů. Pro maximální účinnost katalyzátoru by byl ideální směšovací poměr $\lambda=1$ (stechiometrický poměr). Provedeným měřením nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl ($p=0,08$). Z grafu je patrné, že při spalování 100 oktanového paliva pracovala řídicí jednotka motoru vždy s vyšší hodnotou lambda, v celém spektru otáček. Největší rozdíl je vidět v nízkých otáčkách, jinak je rozdíl minimální. V důsledku toho je pravděpodobné, že motor spalující 100 oktanový Natural bude mít nepatrně nižší spotřebu paliva. A protože se hodnota lambda více přibližuje stochiometrickému poměru, bude katalyzátor vozidla pracovat s vyšší účinností.

7 DISKUZE

Vlivem oktanového čísla na vlastnosti motoru se zabývali ve studii *Experimental investigations on high octane number gasoline formulations for internal combustion engines* autoři Tarcisio Cerri & eds. Provedli měření čtyř vzorků vysoko oktanových paliv (98,3; 99; 100,4 a 100,5 oktanů) a porovnali je s referenčním palivem (95,2 oktanů). Měření bylo provedeno na motorové zkušebně se 4 válcovým motorem o objemu 1,97 l splňujícím normu Euro IV. Provedeným výzkumem zjistili, že vyšší hodnota oktanového čísla paliva nemá pro testovaný motor žádný přínos v podobě vyššího výkonu. (Cerri T. & eds, 2013)

Cenk Sayin se ve studii *The impact of varying spark timing at different octane numbers on the performance and emission characteristics in a gasoline engine* zabývá porovnáváním vlivu paliv s nižšími i vyššími oktanovými čísly (91; 93; 97; 98 oktanů), než je pro použitý motor nutné (95 oktanů). Měření probíhalo na motorové zkušebně s použitím testovacího motoru o objemu 0,389 l s oktanovým požadavkem 95 oktanů. Měření bylo prokázáno, že hodnoty emisních látek byly i po změně předstihu zážehu směsi nejnižší u paliva s 95 oktany, tedy u paliva, pro které byl motor konstruován. (Sayin C., 2012)

Změnou provozních vlastností motoru, při použití paliva s vyšším oktanovým číslem se zabývali Cenk Sayin & eds ve studii *An experimental study of the effect of octane number higher than engine requirement on the engine performance and emissions*. K měření použili motor 1,6 l s oktanovým požadavkem 91, použitými palivy byly benzíny s oktanovými čísly 91 a 95. Sledovaným parametrem byla produkce emisních látek. Výsledek studie ukazuje, že z hlediska produkce emisí je výhodnější používat palivo určené pro daný typ motoru. (Sayin C. & eds, 2007)

S podobnými měřeními se lze setkat i v různých odborných periodikách, nejčastěji se zabývají pouze zkoumáním vlivu oktanového čísla paliva na výkon a točivý moment motoru. Jejich výsledky měření se vzájemně neodlišují, vždy je nejlepší používat palivo, které je předepsané a pro které je motor uzpůsoben. S nižším oktanovým číslem než je vyžadováno, jsou motory schopné pracovat, ale nedosahují požadovaného výkonu. Paliva s vyšším oktanovým číslem nejsou tyto motory schopny plně využít, a proto dosahují buď stejných, nebo nižších výkonových parametrů.

8 ZÁVĚR

Provedeným měřením bylo zjištěno, že použití paliva s vyšším oktanovým číslem než je pro testované vozidlo doporučeno výrobcem, nemá na provozní vlastnosti žádný zásadní vliv. Měření prokázalo, že použitím 100 oktanového paliva došlo k nepatrné změně průběhu výkonu a točivého momentu motoru. Důvodem je snížená dávka vstříkovaného paliva v závislosti na zvýšené hodnotě lambda. Snížení dávky vstříkovaného paliva se dále projevilo i na emisích nespálených uhlovodíků, které jsou proti doporučenému 95 oktanovému palivu podstatně nižší. Největší rozdíl v hodnotě lambda a v množství nespálených uhlovodíků se projevuje v nízkých otáčkách motoru (do 3000 min⁻¹). Dalším vliv na nižší množství nespálených uhlovodíků u 100 oktanového benzínu má lepší hoření směsi paliva ve válcích. To dokazují nepatrně zvýšené emise CO₂ a snížené emise oxidu uhelnatého. Vyšší hodnoty zbytkového kyslíku ve výfukových plynech naznačují, že u řídicí jednotky motoru nedošlo k úplné adaptaci na 100 oktanové palivo. Z toho vyplývá, že řídicí jednotka již není další adaptace schopna, nebo je schopna adaptace na toto palivo až po dlouhodobém provozování.

Atmosférický motor vozidla využitého k měření byl vybaven vícebodovým nepřímým vstříkovaním paliva. Při použití motoru s přímým vstříkovaním paliva, nebo přeplňovaného motoru, by se výsledek měření pravděpodobně odlišoval.

Z hlediska provozovatele nemá podstatný význam u vozidla s touto motorizací využívat jako paliva 100 oktanový Natural. Jediný projev, který je schopen při provozu rozpoznat, je snížená spotřeba paliva. Ta je ale nakonec vykompenzována vyšší pořizovací cenou proti Naturalu 95. Prodejce u prémiových paliv v rámci reklamy často uvádí, že je v nich obsažena speciální směs aditiv, které se starají o dobrý stav palivové soustavy. Pokud bude provozovatel u vozidla vyžadovat tyto vlastnosti aditiv, bude pro něj cenově výhodnější zvolit jako palivo Natural 95 s přidanými aditivami.

V budoucnu můžeme očekávat nadále prosazování přeplňovaných motorů a úbytek motorů atmosférických. Přednostmi přeplňovaných motorů není jen jejich menší velikost (objem) a poskytování vyšších výkonů, jsou také schopny více využít potenciálu vysokooktanových paliv. Pro maximální využití možností vysokooktanových paliv je potřeba konstruovat motory s vysokým kompresním poměrem, testovány jsou i motory s variabilním kompresním poměrem. Z důvodů vysokých výrobních nákladů vysokooktanových paliv, je zvažována i varianta nízkooktanových paliv, která jsou výrobně méně

nákladná. Spalovací motory schopné spalovat nízkooktanová paliva jsou v současné době také ve stádiu testování. Je tedy možné, že v budoucnu můžeme očekávat rozšíření nabídky poskytovaných paliv jak o další typy vysokooktanových benzínů, tak o benzíny nízkooktanové.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

CERRI T., D'ERRICO G., ONORATI A., 2013: Experimental investigations on high octane number gasoline formulations for internal combustion engines [online]. Fuel, ISSN: 0016-2361 [vid. 19. 4. 2016]. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236113002536>

FERENC B., 2004: Spalovací motory – karburátory a vstřikování paliva, Praha: Computer Press, ISBN 80-251-0207-6

HOFMANN K., 2005: Alternativní pohony, Brno: Studijní opory VUT, 73 s.

HROMÁDKO J., 2012: Speciální spalovací motory a alternativní pohony, Praha: Grada Publishing, ISBN 978-80-247-4455-1

KAMEŠ J., 2004: Alternativní pohony automobilů, Praha: Nakladatelství BEN, ISBN 80-7300-126-6

MATĚJOVSKÝ V., 2004: Automobilová paliva, Praha: Grada Publishing, ISBN 80-247-0350-5

SAYIN C., 2012: The impact of varying spark timing at different octane numbers on the performance and emission characteristics in a gasoline engine [online]. Fuel, ISSN: 0016-2361 [vid. 19. 4. 2016]. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236112002220>

SAYIN C., ERTUNC H. M., HOSOZ M., KILICASLAN I., CANAKCI M., 2007: Performance and exhaust emissions of a gasoline engine using artificial neural network [online]. Applied Thermal Engineering, ISSN: 1359-4311 [vid. 19. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431106001785>

VLK F., 2006: Paliva a maziva motorových vozidel, Brno: Nakladatelství a vydavatelství F. Vlk, ISBN 80-239-661-5

VLK F., RAUSCHER J., 2004: Příslušenství motorových vozidel, Brno: Studijní opory VUT, 194 s.

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 – Ropné produkty a výroba</i>	11
<i>Obr. 2 – Tlakový diagram znázorňující klepání motoru</i>	15
<i>Obr. 3 – Jednoválcový motor s proměnným kompresním poměrem</i>	17
<i>Obr. 4 – Graf závislosti oktanového a metanového čísla</i>	19
<i>Obr. 5 – Oktanová čísla uhlovodíků v závislosti na bodu varu</i>	21
<i>Obr. 6 – Jednobodové vstřikování paliva (nepřímé)</i>	23
<i>Obr. 7 – Vícebodové vstřikování paliva (nepřímé)</i>	24
<i>Obr. 8 – Přímé vstřikování paliva</i>	24
<i>Obr. 9 – Palivová soustava pro plynná paliva</i>	25
<i>Obr. 10 – Palivová nádrž na vodík</i>	26
<i>Obr. 11 – Složení směsi při stechiometrickém poměru a vzniklé emise</i>	27
<i>Obr. 12 – Graf závislosti produkce emisí na hodnotě lambda</i>	29
<i>Obr. 13 – Graf složení emisí před katalyzátorem a za ním</i>	31
<i>Obr. 14 – Třícestný katalyzátor</i>	32
<i>Obr. 15 – Schéma soustavy výfukového potrubí</i>	33
<i>Obr. 16 – Lambda sondy s dvoustavovou regulací</i>	34
<i>Obr. 17 – Schéma válcového dynamometru určeného pro vozidla</i>	36
<i>Obr. 18 – Popis emisního systémového analyzátoru</i>	37
<i>Obr. 19 – Válcová zkušebna a řídicí místnost (velín)</i>	37
<i>Obr. 20 – Měřené vozidlo Dacia Logan MCV</i>	38
<i>Obr. 21 – Připojená měřící zařízení</i>	40
<i>Obr. 22 – Graf otáčkových charakteristik (dynamická zkouška)</i>	41
<i>Obr. 23 – Graf otáčkových charakteristik (statická zkouška)</i>	43
<i>Obr. 24 – Graf hodnot emisí CO a CO₂</i>	44
<i>Obr. 25 – Graf hodnot nespálených uhlovodíků</i>	45
<i>Obr. 26 – Porovnání hodnot emisí oxidů uhlíku a nespálených uhlovodíků</i>	46
<i>Obr. 27 – Graf hodnot zbytkového kyslíku</i>	47
<i>Obr. 28 – Graf hodnot součinitele přebytku vzduchu lambda</i>	48

11 SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 – Požadavky na paliva pro zážehové motory</i>	12
<i>Tab. 2 – Palivové třídy pro jednotlivá roční období</i>	14
<i>Tab. 3 – Měření oktanového čísla paliva</i>	17
<i>Tab. 4 – Typy uhlovodíků</i>	20
<i>Tab. 5 – Emisní limity</i>	30
<i>Tab. 6 – Parametry vozidlového dynamometru</i>	35
<i>Tab. 7 – Parametry emisního analyzátoru</i>	37
<i>Tab. 8 – Parametry měřeného vozidla</i>	38
<i>Tab. 9 – Atmosférické podmínky při měřeních</i>	41
<i>Tab. 10 – Hodnoty statické zkoušky při palivu Natural 95</i>	42
<i>Tab. 11 – Hodnoty statické zkoušky při palivu Natural 100</i>	42

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Protokol z kalibrační zkoušky tachometru

Příloha 2 – Protokol z kalibrace závislosti rychlosti vozidla na otáčkách motoru

Příloha 3 – Protokol z kalibrace pro statické zkoušky

Příloha 4 – Protokol z dynamické zkoušky vozidla (N95)

Příloha 5 – Protokol z dynamické zkoušky vozidla (N100)

Příloha 6 – Protokol ze statické zkoušky vozidla (N95)

Příloha 7 – Protokol ze statické zkoušky vozidla (N100)



Mendelova univerzita v Brně
Ústav techniky a automobilové dopravy

VOZIDLOVÁ zkušebna

tel.: +420 545 132 949
fax: +420 545 132 093
email: podlipny@mendelu.cz
Zemědělská 1, Brno 613 00
<http://web2.mendelu.cz/autozkusebna>

Kalibrační list tachometru

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

10

Vozidlo: SPZ: Operátor:
Datum: Stav tach: Poznámka:

Kontrolní rychlost	Měřená rychlost	Odchylka
<i>km/h</i>	<i>km/h</i>	<i>km/h</i>
50.0	45.6	-4.4
90.0	83.5	-6.5
130.0	122.0	-8.0

Chyba tachometru [km]

-1.663

Celkový výsledek

Chyba



Mendelova univerzita v Brně
Ústav techniky a automobilové dopravy

VOzidLOvá zkušebna

tel.: +420 545 132 949
fax: +420 545 132 093
email: podlipny@mendelu.cz
Zemědělská 1, Brno 613 00
<http://web2.mendelu.cz/autozkusebna>

Kalibrace závislosti rychlost vozidla & otáčky motoru

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

09

Vozidlo: Logan MCV SPZ: 4M0 4336 Operátor: Ing. Podlipný
Datum: 09:23:45 / 20.11.2015 Stav tachy: 156028 km Poznámka:

Kontrolní otáčky	Měřená rychlost
<i>1/min</i>	<i>km/h</i>
2000	63.5
3000	95.4
4000	127.2
5000	159.5

Poloměr kola [m]

0.290

Celkový výsledek

OK



Protokol kalibrace pro statické zkoušky výkonu

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

07

Vozidlo: Logan MCV SPZ: 4M0 4336 Operátor: Ing.Podlipný

Datum: 09:15:29 / 20.11.2015 Rozsah: 20.0 + 160.0 km/h Poznámka:

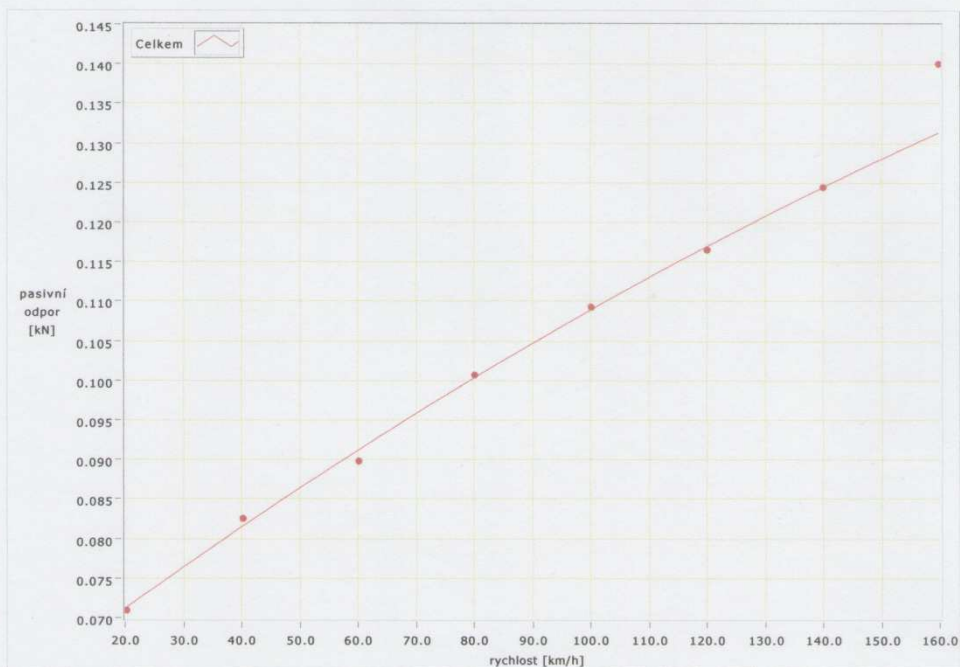
Koeficienty odporu

A 6.034779E-2 kN
B 5.548301E-4 kN/(km/hod)
C -6.933443E-7 kN/(km/hod)²
D 1177.261 kg

Náhon: Přední

Kalibrace Rolny

LP	-0.0001	1.0000
PP	0.0000	1.0000



Zkušební protokol motoru

Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

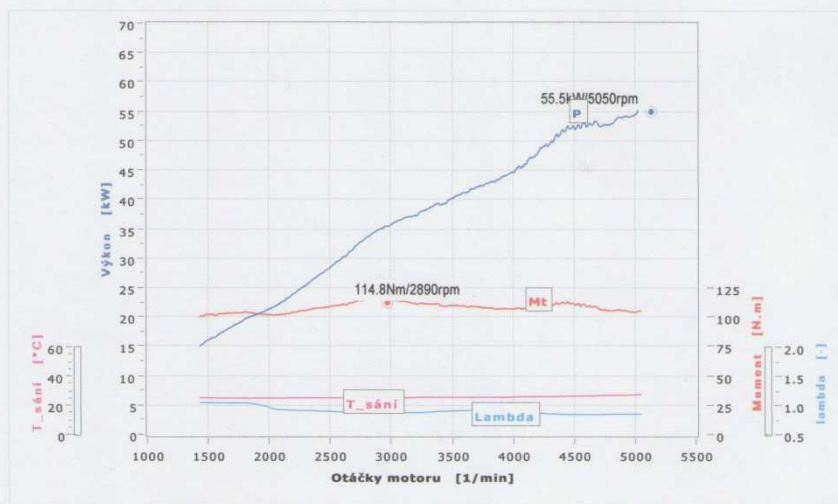
dynamická zkouška / #12

Datum : 20/11/2015 **Čas :** 09:41:41 **Operátor :** Ing.Podlipný **SPZ :** 4M0 4336 **č.m.:**
Specifikace vozu : Logan MCV **VIN:** UU1KSDAEH41493826
Specifikace testu : DP

Barometrické podmínky	Palivo	Motor	Ostatní
teplota [°C] : 25	druh : Natural 95	typ : zážehový	př.stupeň : V
tlak [kPa] : 97.79	teplota [°C] : 20	φ x zdvih : 79.5x70.0	stav tachy : 156028 km
vlhkost [%] : 64	hustota [g/ccm] : 0.775	z.objem [dm ³] : 1.390	doplň.údaj :

Korekce ISO pro standardní hodnoty : 25.0 °C ; 99.00 kPa ; vlhkost 0.0%

#	v	n	P kor	Mt kr	T_sání	Lambda	CO	CO2	HC	O2
	km/h	1/min	kW	N.m	°C	-	%	%	ppm	%
1	45.0	1413	14.9	99.6	24.7	1.042	0.028	15.11	34	0.95
2	53.1	1667	18.1	102.9	24.6	1.035	0.173	14.97	59	0.95
3	61.3	1926	20.8	101.9	24.6	0.991	2.669	13.51	99	0.97
4	69.2	2174	23.8	103.6	24.7	0.910	4.520	12.18	160	0.97
5	77.6	2438	27.9	108.1	24.7	0.893	5.087	11.70	184	0.95
6	86.3	2714	32.6	113.8	24.8	0.869	6.003	11.15	185	0.94
7	95.5	2998	36.0	113.6	24.9	0.870	5.859	11.22	174	0.93
8	104.2	3274	38.4	110.8	25.1	0.878	5.339	11.58	161	0.93
9	112.6	3538	40.8	109.1	25.2	0.904	4.627	11.99	150	0.93
10	120.9	3801	43.1	107.4	25.2	0.907	4.663	12.08	138	0.93
11	128.8	4050	45.6	106.9	25.4	0.884	5.710	11.48	127	0.93
12	137.0	4307	49.9	110.0	25.7	0.847	7.037	10.61	122	0.93
13	145.1	4559	53.0	110.3	26.0	0.838	7.223	10.35	119	0.93
14	152.9	4804	53.0	105.0	26.5	0.845	6.923	10.47	113	0.93
15	160.0	5029	55.5	104.9	26.9	0.845	7.137	10.48	106	0.93



Zkušební protokol motoru

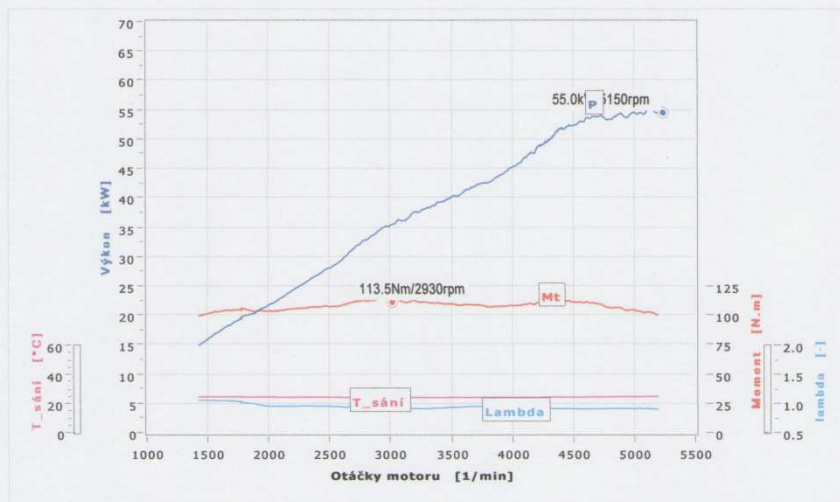
Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

dynamická zkouška / #16

Datum : 03/12/2015 **Čas :** 09:40:38 **Operátor :** Ing.Podlipný **SPZ :** 4M0 4336 **č.m.:**
Specifikace vozu : Logan MCV **VIN:** UU1KSDAEH41493826
Specifikace testu : DP

Barometrické podmínky	Palivo	Motor	Ostatní
teplota [°C] : 24	druh : Verva 100	typ : zážehový	př.stupeň : V
tlak [kPa] : 100.04	teplota [°C] : 20	φ x zdvih : 79.5x70.0	stav tach : 156767 km
vlhkost [%] : 58	hustota [g/ccm] : 0.000	z.objem [dm ³] : 1.390	doplň.údaj :

Korekce ISO pro standardní hodnoty : 25.0 °C ; 99.00 kPa ; vlhkost 0.0%									
#	v	n	P kor	Mt kr	T_sání	CO	CO2	HC	O2
	km/h	1/min	kW	N.m	°C	%	%	ppm	%
1	45.0	1417	14.8	99.0	24.3	0.031	15.08	31	1.09
2	53.6	1689	18.5	103.7	24.2	0.575	14.87	57	1.09
3	62.1	1957	21.2	102.9	24.1	3.213	13.18	102	1.09
4	70.6	2228	24.7	105.3	24.0	3.237	13.06	127	1.09
5	79.3	2497	28.1	106.7	24.0	3.651	12.85	136	1.09
6	88.5	2784	32.8	111.5	23.9	4.318	12.44	144	1.09
7	97.6	3076	36.1	111.4	23.8	4.658	12.26	136	1.09
8	106.8	3366	39.0	110.2	23.8	4.519	12.07	126	1.09
9	115.6	3641	41.6	108.5	23.8	3.579	12.69	113	1.09
10	124.0	3906	44.0	107.1	23.8	3.626	12.80	100	1.09
11	132.5	4178	47.9	109.2	23.9	4.533	12.27	90	1.09
12	141.2	4451	52.2	111.8	24.0	5.114	11.94	86	1.09
13	149.8	4717	53.9	108.9	24.1	5.151	11.85	82	1.09
14	157.6	4966	54.2	104.2	24.2	4.899	11.97	75	1.09
15	165.1	5200	54.3	99.8	24.5	5.708	11.47	70	1.09





Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

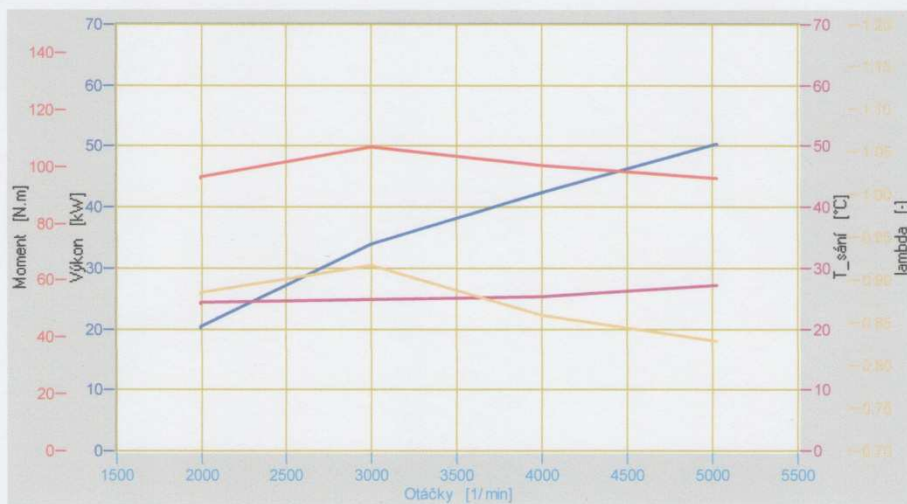
Zkušební protokol vozidla

v=konstant / #16

Datum : 20/11/2015 Čas : 09:59:50 Operátor : Ing.Podlipný SPZ : 4M0 4336
Specifikace vozu : Logan MCV
Specifikace testu : DP

Barometrické podmínky Palivo Motor Ostatní
teplota [°C] : 25 druh : Natural 95 typ : zážehový př.stupeň : V
tlak [kPa] : 97.81 teplota [°C] : 20 ϕ x zdvih : 79.5x70.0 stav tach : 156028 km
vlhkost [%] : 64 hustota [g/ccm] : 0.775 z.objem [dm³] : 1.390 doplň.údaj :

Korekce ISO pro standardní hodnoty : 25.0 °C ; 99.00 kPa ; vlhkost 0.0%										
#	v	n	P kor	Mt kr	T_sání	Lambda	CO	CO2	HC	O2
	km/h	1/min	kW	N.m	°C	-	%	%	ppm	%
1	63.6	2000	20.4	96.3	24.4	0.885	5.307	11.55	182	0.93
2	95.5	3001	33.9	107.0	24.8	0.917	4.117	12.34	159	0.91
3	127.2	3998	42.3	100.3	25.4	0.858	6.455	10.86	110	0.91
4	159.7	5021	50.4	95.6	27.1	0.828	7.694	10.03	100	0.91





Zkušebna Br4VDM MEZservis VSETÍN

Zkušební protokol vozidla

v=konstant / #20

Datum : 03/12/2015 Čas : 09:58:30 Operátor : Ing.Podlipný SPZ : 4M0 4336
Specifikace vozu : Logan MCV
Specifikace testu : DP

Barometrické podmínky Palivo Motor Ostatní
teplota [°C] : 25 druh : Verva 100 typ : zážehový př.stupeň : V
tlak [kPa] : 100.04 teplota [°C] : 20 ϕ x zdvih : 79.5x70.0 stav tach : 156767 km
vlhkost [%] : 58 hustota [g/ccm] : 0.000 z.objem [dm³] : 1.390 doplň.údaj :

Korekce ISO pro standardní hodnoty : 25.0 °C ; 99.00 kPa ; vlhkost 0.0%										
#	v	n	P kor	Mt kr	T_sání	Lambda	CO	CO2	HC	O2
	km/h	1/min	kW	N.m	°C	-	%	%	ppm	%
1	63.6	2005	21.1	99.8	24.5	0.922	4.263	12.40	115	1.02
2	95.5	3009	34.0	107.1	24.5	0.927	3.932	12.53	109	1.00
3	127.2	4009	44.2	104.7	24.8	0.887	5.752	11.52	79	1.00
4	159.8	5034	51.8	98.2	25.9	0.847	7.141	10.53	76	1.00

