

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Vliv přidání etanolu a MEŘO do motorové nafty

Diplomová práce

Autor práce: Vladimír Sekera

Vedoucí práce: Ing. Petr Miler Ph.D.

© 2015 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Vladimir Sekera

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vliv přidávání etanolu a MEŘO do motorové nafty

Název anglicky

The influence of ethanol and FAME adding to diesel fuel

Cíle práce

Cílem práce je analyzovat vliv přidání etanolu a MEŘO do motorové nafty.

Metodika

Prostudovat základní literaturu v oblasti použití MEŘO a etanolu jako přísad do motorové nafty.

Kontaktovat významné organizace zabývající se danou problematikou.

Provést globální literární rešerši v dané problematice.

Experimentálně ověřit jejich vliv při přidávání do motorové nafty.

Návrh, doporučení a předpokládaný vývoj v dané oblasti.

Doporučený rozsah práce

50 – 60 stran

Klíčová slova

motorová nafta, výkon motoru, emise, MEŘO, etanol

Doporučené zdroje informací

1. Matějovský, V.: Automobilová paliva. 1. vydání. Praha: Grada, 2005. 223 s. ISBN 80-247-0350-5.
2. Macek, J.: Spalovací motory I, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
3. Vlček, F.: Paliva a maziva motorových vozidel, Nakladatelství Vlček, Brno, 2006, ISBN 80-239-6461-5
4. Kovář, J.: Aplikovaná chemie. Praha: ČZU, 1990. ISBN 80-213-0081-7.
5. Hromádka J., Hromádka J., Hönl, V., Miler P.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0

Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

Vedoucí práce

Ing. Petr Miler, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 14. 1. 2014

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 16. 3. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv přidání aditiv do motorové nafty" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Petrovi Milerovi Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce, za podmětné připomínky a vstřícný přístup. Dále bych chtěl poděkovat členům katedry vozidel pozemní dopravy, že mi bylo umožněno naměřit hodnoty k dané problematice na školním vybavení.

Vliv přidání etanolu a MEŘO do motorové nafty

Souhrn

Diplomová práce se zabývá vlivy přidání etanolu a MEŘO do motorové nafty. Práce je rozdělena do dvou částí, první část je teoretická a zabývá se ropou, motorovou naftou, automobilovým benzinem a alternativními palivy – etanol a MEŘO. Dále jsou zde popsány emise vznikající při spalování paliva ve vznětovém motoru a přístroje pro měření emisí. Druhá část se zabývá vyhodnocením získaných dat z měření tří paliv, které probíhalo na válcové zkušebně, a byl testován osobním automobilem se vznětovým motorem. Vozidlo bylo podrobena dvěma jízdním cyklům – městským a mimoměstským. Cílem této práce je zjistit vliv přidání etanolu a MEŘO do motorové nafty a na základě zjištěných dat vyhodnotit jaké palivo je vhodné kombinovat s motorovou naftou.

Klíčová slova

Motorová nafta, výkon motoru, emise, MEŘO, etanol

The influence of ethanol and FAME adding to diesel fuel

Summary

This thesis deals with the effects of the addition of ethanol and FAME in diesel. The thesis is divided into two parts, the first part is theoretical and deals with oil, diesel, gasoline and alternative fuels - ethanol and FAME. The following describes the emissions generated during combustion of fuel in a diesel engine and apparatus for measuring emission. The second part deals with the evaluation of the data obtained from measurements of the three fuels, which took place on the cylindrical testing, and has been tested passenger car diesel engine. The vehicle was subjected to two cycles - urban and extra urban driving. The objective of this work is to determine the effect of adding ethanol and FAME in diesel fuel and based on the data to evaluate what fuel can be combined with diesel.

Keywords

Diesel, engine power, emissions, FAME, ethanol

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Současný stav řešené problematiky	2
2.1 Motorová nafta	5
2.2 Automobilový benzin	9
2.3 Aditivace konvenčních paliv alternativním palivem.....	10
2.3.1 MEŘO.....	11
2.3.2 Bioetanol.....	14
2.4 Emise vznětového motoru.....	17
2.4.1 Složení výfukových plynů vznětového motoru	18
2.4.2 Charakteristika škodlivých složek spalín.....	20
2.4.3 Měření emisí	22
3 Cíl a metodika diplomové práce	25
4 Vyhodnocení experimentu.....	26
4.1 Použité zařízení při měření	26
4.1.1 Zkušební vozidlo.....	26
4.1.2 Válcová zkušebna	27
4.1.3 Přístroje pro měření emisí.....	27
4.2 Popis jízdního cyklu	29
4.3 Vyhodnocení výsledků	30
4.3.1 Měřené emisí v UDC cyklu	31
4.3.2 Měření emisí v EUDC cyklu	38
5 Závěr	46
6 Seznam použitých a souvisejících pramenů.....	48

1 Úvod

Vzhledem k neustále vzrůstající spotřebě ropy je vhodné hledat jiná paliva pro spalovací motory. Jednou z cest k plynulému přechodu z konvenčních ropných paliv na alternativní paliva je používání směsí konvenčních paliv s alternativními palivy. Použití směsí nevyžaduje konstrukční změny motoru, pokud jsou dodržovány poměry motorové nafty a příměsí. Touto cestou lze snížit závislost na ropě a zlevnit dopravu, protože alternativní paliva jsou dotovaná státem v podobě nižší daně.

Cílem této práce je zjistit jaký vliv mají přidaná alternativní paliva do motorové nafty. Pro experimentální část byla použita tři paliva – čistá motorová nafta, motorová nafta a 5% etanolu, motorová nafta a 5% etanolu a 5% MEŘO. Na základě získaných hodnot z měření vytvořit grafické znázornění jednotlivých průběhů emisních složek spalín při daném jízdním cyklu. Touto prací chci zjistit jaké palivo má největší produkci emisí a nejvyšší spotřebu.

Tato práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část vychází z odborné literatury a je rozdělena na tři části. První část popisuje výrobu konvenčních paliv z ropy (motorové nafty a benzínu) a aditivaci směsí motorové nafty s MEŘO. Druhá část obsahuje popis alternativních paliv z hlediska výroby a parametrů (etanolu a MEŘO). Poslední část se týká popisu produkce emisí a jejich charakteristikou a přístroji pro měření emisí. V praktické části jsou charakterizovány použité zařízení při měření. Dále je krátce charakterizován jízdní cyklus. Hlavní část praktické části jsou jednotlivé grafy zobrazující průběh produkce emisí při jízdních cyklech UDC a EUDC a jejich komentáře.

2 Současný stav řešené problematiky

Motorová nafta se vyrábí z ropy, hnědé až černé olejovité kapaliny s hustotou menší, než voda. Je směsicí alkanů, cykloalkanů a arenů, jejichž vzájemný poměr se liší podle místa výskytu. Složení ropy z hlediska zastoupení chemických prvků je zobrazeno v následující tabulce. [10]

Tab. č. 1: Elementární složení ropy [10]

Prvek	Obsah (%)
uhlík	80 – 85
vodík	11 – 14
síra	0,5 – 4,5
dusík	0,1 – 1,0
kyslík	0,0 – 1,0

V některých ropách lze nalézt větší množství sirných a dusíkatých látek, které komplikují chemické zpracování ropy. Hlavní těžba ropy probíhá na nalezištích v Perském a Guinejském zálivu, Kaspickém moři, Sahaře, Indonésii a v Severní a Střední Americe. Ropu lze rozdělit podle hmotnosti:

- Konvenční ropa o konvenční hmotnosti $0,9 - 0,93 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$
- Ropa s hmotností větší než $0,95 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ vyskytující se v polárních mořích
- Ropa s hmotností $0,95 - 1 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ označovaná jako mazut
- Ropa s hmotností větší než $1 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ zvláště těžká ropa

Jednotlivé hmotnostní typy ropy se od sebe nijak zvláště neliší. Kromě uhlovodíků obsahuje asfalt, olejové písky, olejové břidlice. Zpracování a zušlechťování ropy je provedeno pomocí procesů:

- Atmosférická destilace
- Vakuová destilace
- Krakování
- Reformace

Atmosférická destilace – ropa je zahřívána na $360 \text{ }^\circ\text{C}$. Ohřev je prováděn ve vysokých destilačních věžích, kde se vytváří kapalná a plynná fáze. Vzniká zde pět různých frakcí.

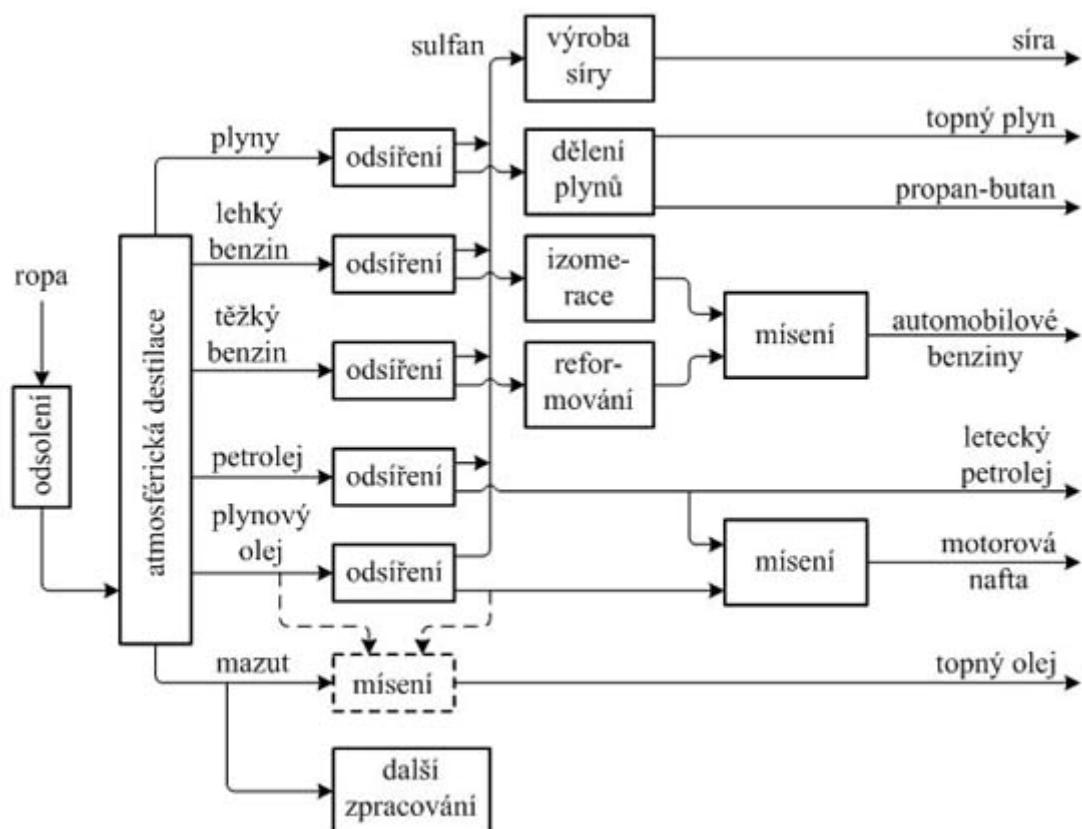
Ropná frakce s nízkým bodem varu stoupá vzhůru a vytváří lehké frakce. Ropná frakce s vyšším bodem varu vytváří těžké frakce. Při atmosférické destilaci se vytváří frakce plynu (pod 30 °C), benzinu (35 – 140 °C), středních destilátů (150 – 250 °C), motorové nafty tedy lehké topné nafty (250 – 360 °C) a zbytků topné nafty (přes 360 °C).

Vakuová destilace – je prováděná za podtlaku a ohřevu do 400 °C. Ohřívána je těžká frakce, která vytváří mazací olej a zbytky používané pro stavbu silnic.

Krakování – je tepelný rozklad molekulových řetězců těžké ropné frakce za působení zvýšeného tlaku. Výsledkem je lehčí ropná frakce připravená k dalšímu zpracování

Reformace – při reformování vznikají kratší a složitěji rozvětvené molekulové řetězce a tak vzniká výkonnější ropná frakce. [11]

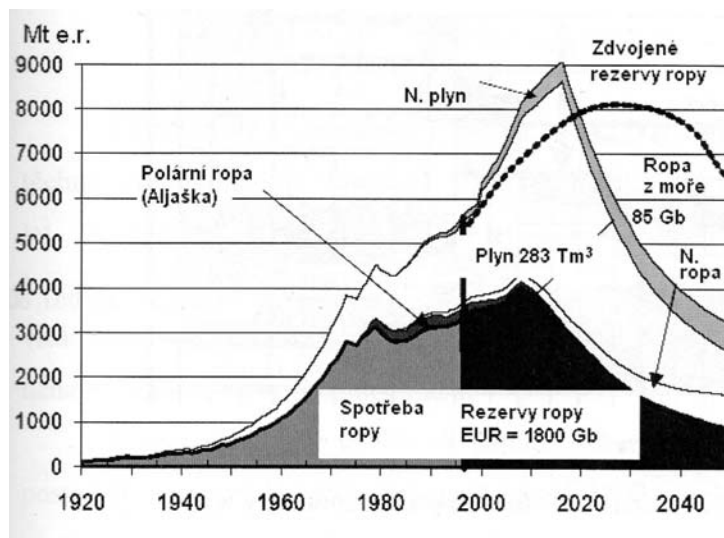
Obr. č. 1: Blokové schéma obvyklého zpracování z atmosférické destilace ropy [11]



Ropa, jako fosilní palivo, je vyčerpatelný zdroj. Již od 80. let převyšuje poptávka nabídku a je těženo více ropy, než je nalézáno na nových ložiscích. Tento fakt způsobuje neustálé zdražování ropy a potřeby těžby. Skupina států těžící a exportující ropu založily organizaci OPEC v roce 1960 se sídlem ve Vídni. Základající zemně vytvořily kartel, který ovlivňuje export a ceny ropy pomocí těžebních kvót. Tato organizace dokáže manipulovat

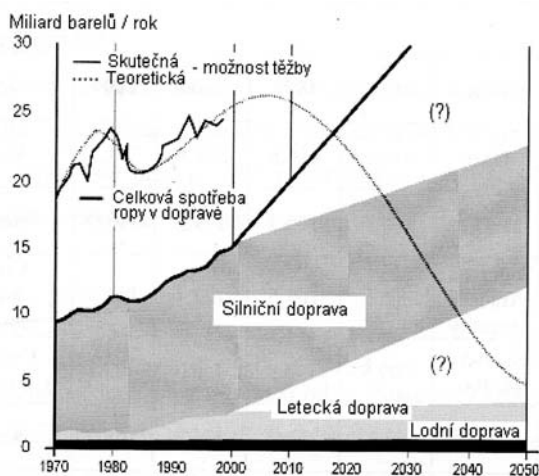
s cenou ropy na světové úrovni. Členské země OPEC dnes kontrolují 75 % veškerých světových ropných zásob v celosvětovém měřítku. Tak zajišťují jednu třetinu veškeré ropné produkce a celou polovinu z objemu vývozu ropy. OPEC je významným subjektem v ropném průmyslu, následující graf zobrazuje historický vývoj spotřeby a prognózovanou spotřebu konvenční ropy a zemního plynu.

Obr. č. 2: Celková spotřeba konvenční ropy a zemního plynu [10]



Poptávka po pohonných hmotách řídí poptávku po ropě na celém světě. Následující graf zobrazuje teoretickou a skutečnou těžbu ropy a jednotlivé využití ropy v různých druzích dopravy.

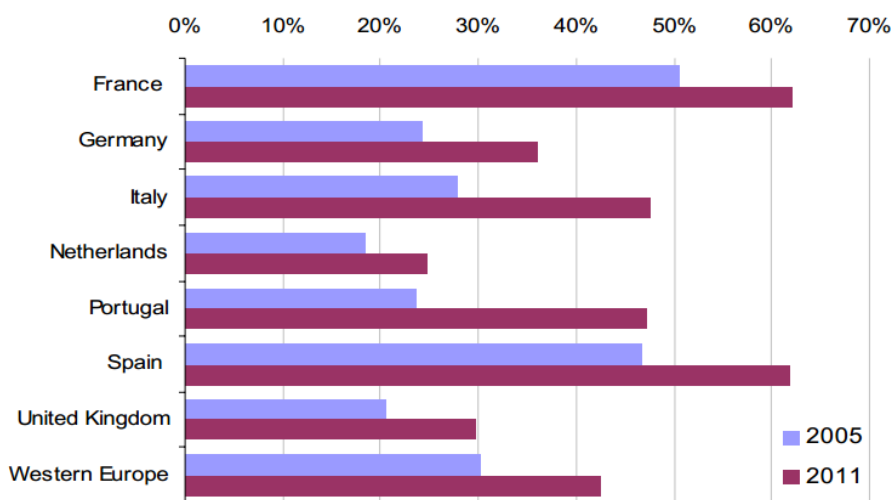
Obr. č. 3: Těžba a spotřeba ropy v dopravě [10]



2.1 Motorová nafta

Motorová nafta je jedním z nejdůležitějších produktů ropných rafinérií. Z hlediska výroby ji můžeme zařadit mezi střední ropné destiláty. Nafta se získává mísením petroleje s ještě těžším destilačním produktem, který se nazývá petrolejový olej. Obsah lehkých podílů je dán požadavkem na bod vzplanutí, obsah těžkých podílů je omezen vznikem úsad ve spalovacím prostoru. Výroba nafty je založena na destilaci ropy a dalších navazujících technologických procesech jako je hydrogenační rafinace, hydrokrakování, katalytické krakování atd. Obecně můžeme motorovou naftu charakterizovat jako složitou směs převážně ropných uhlovodíků s 12 až 22 atomy uhlíku vroucí v rozmezí cca 180 až 370 °C. Motorová nafta se s rozvojem diesellových motorů stává stále rozšířenějším palivem u osobních automobilů, navzdory alternativním pohonům. Následující graf zobrazuje nárůst spotřeby motorové nafty v evropských zemích od roku 2005 do roku 2011.

Obr. č. 4: Podíl automobilů poháněných motorovou naftou [12]



Distributoři dodávají do ČR dva druhy motorové nafty – letní a zimní. V zimním období je použití motorové nafty závislé na teplotě, při které se vylučuje parafín. Dodávané nafty musí podléhat normě, která určuje technické požadavky a metody zkoušení prodáváných a dodávaných motorových naft. Platí pro motorové nafty pro použití v motorovém vozidle se vznětovými motory ČSN EN 590, které jsou určeny pro provoz s motorovou naftou obsahující až 7% methylesteru mastných kyselin (FAME). Norma povoluje používat v naftách barviva a značkovače, také obohacování nafty o různé přísady zvyšující výkon a regulaci emisí. Tyto přísady nesmí mít nežádoucí vedlejší účinky. Důležitou částí normy je zaručená použitelnost za nízkých teplot. Pokud je v naftě obsaženo

FAME, je nutné použít kompatibilní přísady s motorovou naftou a zároveň i s FAME. Norma také upravuje označování výdejních stojanů s motorovou naftou. Označení musí být čitelné a viditelné, pokud se v naftě nacházejí kovové přísady je nutné stojan označit „obsahuje kovové částice“ v národním jazyce. Podle jakostního třídění dle ČSN EN 590 je pro mírné klimatické zóny používána motorová nafta třídy B. Jedná se o letní druh nafty, která se dodává v období od 1. 4. do 31. 10. se zaručenou filtrovatelností do 0 °C. Pro zimní období se dodává motorová nafta třídy E, která je v prodeji od 1. 11. do 31. 3. Se zaručenou filtrovatelností do -15 °C. V případě výrazného poklesu teplot je dodávána motorová nafta pro arktické klimatické podmínky. V naší oblasti jsou distribuovány motorové nafty třídy 1 s filtrovatelností do -26 °C a motorové nafty třídy 2 s filtrovatelností do -32 °C. [8] [13]

Tab. č. 2: Dělení motorové nafty podle tepelných vlastností [7]

Klasické nafty		Arktické nafty	
Třída	CFPP	Třída	CFPP
A	+5°C	1	-20°C
B	0°C	2	-26°C
C	-5°C	3	-32°C
D	-10°C	4	-38°C
E	-15°C	5	-44°C
F	-20°C		

Aby tato směs byla použitelná jako motorové palivo, musí splňovat celou řadu kvalitativních ukazatelů, které jsou u všech výrobců předmětem pečlivé výstupní kontroly. V současné době je motorová nafta obohacována přísadami – aditivy za účelem zlepšení vlastností motorových paliv nad normami požadovanou úroveň. S jejich pomocí lze dosáhnout příznivějšího účinku pohonných hmot na stav palivových cest, spalovacího prostoru a také na vlastní spalovací proces. Všeobecně jsou aditiva rozdělena do dvou základních skupin. První skupinou jsou aditiva výrobní, která používají přímo výrobci paliv a maziv, kteří musí svým produktům zajistit takové parametry, aby splňovaly určité technické normy a bylo možné je legálně prodávat. Protože výroba a míchání každé další látky je jen další investicí, která pouze zvyšuje cenu produktu pro koncové zákazníky. Výrobci svá paliva a maziva aditivují jenom v tom nejnutnějším rozsahu, který vyžaduje zákon. Druhou skupinou jsou aditiva povýrobní někdy označovaná jako komerční. Tato skupina slouží především ke zkvalitnění pohonných hmot z hlediska provozních nákladů, výkonnosti a ekologičnosti motoru. [1] [2] [3] [26]

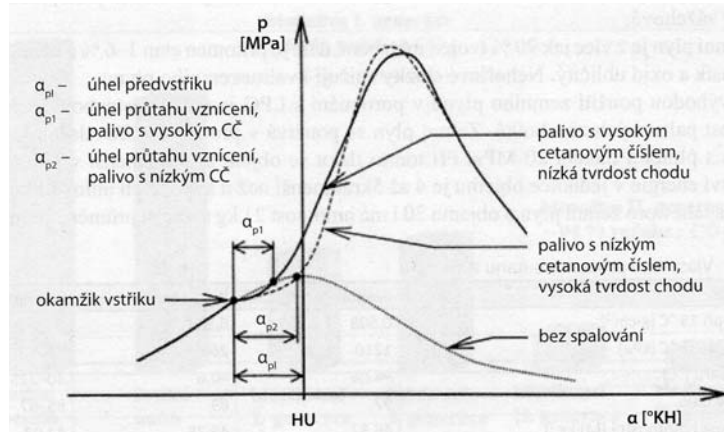
Aditiva do motorové nafty jsou složena z několika složek, které ve výsledku musí zajišťovat požadavky na aditivovanou motorovou naftu:

- Zajistit dokonalé mazání a prodloužit životnost vstřikovacího čerpadla a trysek
- Chránit palivový systém proti korozi
- Udržovat čistotu vstřikovacích trysek
- Usnadňovat studené starty motoru v zimním období
- Udržovat nízké hodnoty emisí
- Šetřit životní prostředí

Motorovou naftu obsahující MEŘO je vhodné aditivovat, protože přidané palivo mění kvalitativní parametry nafty. Při obsahu MEŘO nelze používat standardní antioxidační aditiva, neboť chemická struktura aditiv nepůsobí na obsažené estery mastných kyselin s jedno až čtyřmi dvojnými vazbami. Vhodné aditivum proti antioxidačním vlivům je na bázi chinonů. Motorovou naftu lze aditivovat antibakteriálními aditivy, v běžné motorové naftě se bakterie v mírném klimatickém pásu nevyskytují. Větší nebezpečí však hrozí u směsné nafty, kde biologická složka MEŘO vytváří lepší podmínky pro rozvoj bakterií. Směs motorové nafty s MEŘO po delším skladování nemusí být stabilní, proto je vhodné používat i detergentní přísady, které zlepšují stabilitu. Detergentní přísady mohou nepříznivě reagovat s methylestery mastných kyselin. Tyto reakce mohou podmiňovat vznik sraženiny vylučující se jako úsady. Starší aditiva nejsou kompatibilní s MEŘO, proto je nutné použít do paliva s obsahem MEŘO do 5% aditivum se zaručenou kompatibilitou. Přísady v motorovém oleji mohou také reagovat s aditivy a proto je nutná kompatibilita i s motorovými oleji. Mazivostní přísady do motorové nafty nejsou s obsahem MEŘO nutné. Přidané alternativní palivo samo o sobě vykazuje dobré mazivostní vlastnosti. Přísady do motorové nafty zvyšující cetanové číslo, vzhledem k obsahu MEŘO, které má vyšší cetanové číslo než motorová nafta není nutné. Vyšší hodnota cetanového čísla usnadňuje vznícení palivové směsi v motoru. Pro správný chod vznětového motoru je charakteristický tzv. průtah vznícení, což je doba, která uplyne mezi vstřikem paliva do spalovacího prostoru a okamžikem vznícení. Aby byla tato doba přiměřená, záleží nejen na chemickém složení a destilačních vlastnostech paliva, ale i na konstrukci vstřikovacího zařízení a provedení spalovacího prostoru. Ukazatel kvality paliva je možné také vyjádřit cetanovým číslem. Motor spalující palivo s vyšším cetanovým číslem lépe startuje, má lepší výkon, tišší a hladší chod a také výfukové plyny mají lepší emisní složení. Motor spalující kvalitnější naftu má i nižší spotřebu. Zpříšňující se

emisní limity mají za následek zvyšování cetanového čísla. Procesním zvýšením lze dosáhnout dearomatizací, ale tato metoda je velmi náročná. Snazší způsob zvýšení cetanového čísla je přidání aditiv.

Obr. č. 5: Vliv cetanového čísla na průběh hoření [8]



Aditivum pro zlepšení nízkoteplotních vlastností motorové nafty obsahující MEŘO je vhodné, z důvodů zvýšené viskozity za nízkých teplot. Nafta je závislá na teplotě prostředí z důvodů svého složení. Při nižších teplotách jednotlivé složky motorové nafty mají sklon krystalizovat a dále vytvářet krystalickou mřížku, která znemožňuje tečení kapaliny. Nízko teplotní vlastnosti se popisují následujícími charakteristickými body:

- *Teplota vylučování parafínu CP (Cloud Point)* je teplota, při které se objevuje v naftě zákal způsobený vyloučenými krystaly parafínu – bod zákalu. Při dosažení tohoto bodu je nafta stále tekutá a nezpůsobuje problémy s čerpáním nebo startováním motoru. Pokud se teplota stále snižuje, dochází k masivnějšímu vylučování parafínu a posléze vytvoření úsad na palivovém filtru.
- *Teplota filtrovatelnosti CFPP (Cold Filter Plugging Point)* při dosažení této teploty vyloučené parafínové částice zahltí palivový filtr a zamezí průtoku paliva – nastává ztráta filtrovatelnosti. Při této teplotě lze motor nastartovat a provozovat do zanesení palivového filtru.

Bod tuhnutí (Pour Point) při této teplotě vzroste viskozita nafty vlivem vyloučených parafínů do takového stavu, že palivo přestává téci. Za takových podmínek nelze motor nastartovat, ale i manipulovatelnost s naftou je značně obtížná. Distributoři se snaží dodávat co nejdéle naftu s vysokým CFPP, protože čím je teplota CFPP nižší, tak je výroba nafty dražší. Dodatečná aditivace nafty nemrznoucími přísadami, které modifikují parafinické sloučeniny a zabraňují tvorbě a růstu krystalů je možná

při dodržení postupu aplikace. Aditivaci je nutno provést, když ještě nenastalo zakalení paliva (teplota CP). Přidání přísady by mělo být provedeno v rozmezí +7 až +10 °C. Při nižších teplotách se aditivum s naftou nesmísí a také může paradoxně nízkoteplotní vlastnosti nafty ještě zhoršit. [7] [6] [4] [8]

2.2 Automobilový benzin

Benzin je směsí převážně ropných uhlovodíků vroucí v rozmezí zhruba 30 až 210 °C se 3 až 12 atomy uhlíku v molekule. K tomu, aby tuto směs bylo možné použít jako motorové palivo pro zážehové motory, však uvedená charakteristika nestačí. Palivo musí vyhovovat ještě mnoha dalším kvalitativním parametrům. Na automobilové benziny jsou kladeny určité požadavky:

- Dobré antidetonační vlastnosti
- Dobrá odpařitelnost za nízkých teplot (usnadňuje startování)
- Nesmí obsahovat těžší frakční podíly nad 210 °C (těžší frakce mohou ředit motorový olej a smývat olejový film ze stěn válce)
- Malý obsah síry (síra způsobuje pokles oktanového čísla, korozi palivového ústrojí a nárůst škodlivých emisí)
- Nesmí obsahovat pryskyřice (pryskyřice zanášejí palivové ústrojí)
- Dlouhodobá stabilita zabezpečující nízké ztráty při skladování

[20] [8] [7]

Benzin je vyráběn podobně jako motorová nafta atmosférickou frakční destilací z ropy. Kvalita benzínu je vztažena na kvalitu základní suroviny – ropy, benzinové frakce jsou obsaženy v ropě jen ve velmi malém množství. Benziny jsou uvolňovány destilací za nepřítomnosti vzduchu při teplotách do 180 °C. Výsledný benzin po normální destilaci má oktanové číslo 62 až 64 a je velmi málo odolný proti detonačnímu hoření. S vývojem petrochemie byly zdokonaleny i postupy na výrobu benzínu, které umožňují využívat ropu v širším spektru a vyrábět více odolný benzin proti detonačnímu hoření.

- **Krakování** – je proces, při kterém jsou tříštěny velké molekuly těžších ropných frakcí na molekuly menší zasahující svým bodem varu do rozsahu benzinových frakcí. Krakování je prováděno několika postupy. Tepelné krakování tříští těžší molekuly

pomocí zvýšené teploty. Katalytické krakování využívá katalyzátor (hliníko-silikátový). Hydrokrakováním jsou vyráběna kvalitní paliva bez obsahu síry při tlaku 15 MPa a teplotě 400 °C se do rozštěpených molekul těžkých paliv vkládá vodík. Vyrobená paliva krakováním nejsou dostatečně odolná proti detonačnímu hoření, následným přeměňováním je dosaženo potřebné kvality.

- **Reformování** – podstatou reformování je přeměna uhlovodíků s malým oktanovým číslem na vysokooktanové aromáty 93 - 98 odolné proti detonačnímu hoření.
- **Polymerace** – po předchozích technologických procesech (krakování a reformování) jsou spojovány plynné uhlovodíky do větších molekul za pomoci katalyzátoru. Přeměněné alkany vytváří izoalkany s oktanovým číslem 95 – 100.
- **Alkylace** – alkany a alkeny spolu zreagují a vznikají rovněž izoalkany. Takto vyrobené benziny se po rafinaci musejí dále ošetřit. Odstranit plynné složky, pryskyřice a síru. Přidáním aditiv jsou zlepšeny antidetonační vlastnosti, skladovatelnost, barevná stálost, antikorozi a teplotní vlastnosti.

Jako příměsi zlepšující antidetonační vlastnosti se dříve používali sloučeniny na bázi olova (tetraethylolovo, tetramethylolovo), z důvodů zákazu olova se tyto sloučeniny již nepoužívají a byly nahrazeny tetramethylmethylether (TAME), methyltercbutylether (MTBE) nebo ethyltercbutylether (ETBE). [8] [21] [25]

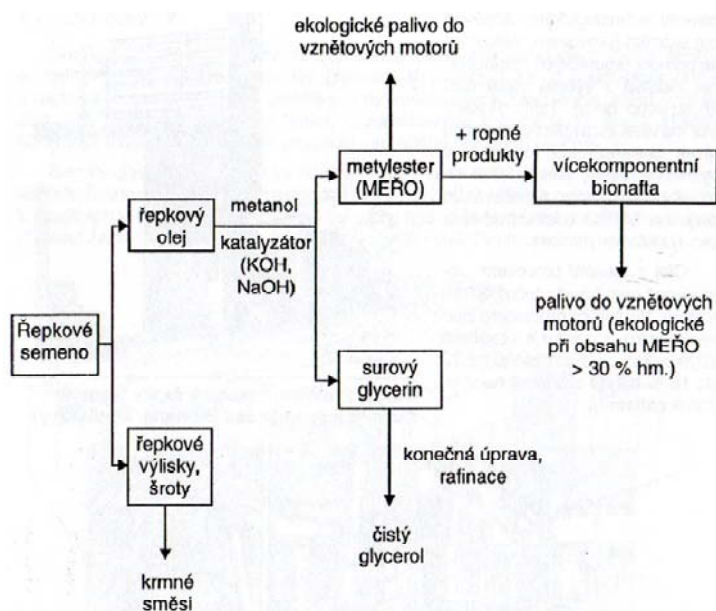
2.3 Aditivace konvenčních paliv alternativním palivem

Motorovou naftu lze aditivovat nejen přísadami, které zlepšují skladovatelnost nebo manipulovatelnost. Aditivem lze nazvat veškeré přísady, které se do nafty přidávají. Aditivace alternativními palivy má nejen své ekonomické opodstatnění, ale napomáhá i k snižování emisí a snižování závislosti na fosilních palivech. Naftové motory není nutné nějak přestavovat při dodržení optimálního poměru mezi motorovou naftou a přísadou. Biopaliva lze rozdělit z pohledu vývoje na biopaliva první a druhé generace. V první skupině jsou paliva typu MEŘO, bioetanol, bioETBE, rostlinný olej. V druhé generaci biopaliv se jsou bioetanol, syntetická motorová nafta, biometanol, biodimethyléter, biovodík. S ohledem na praktickou část práce budou zde rozvedeny biopaliva MEŘO a bioetanol. [17]

2.3.1 MEŘO

Patří do paliv první generace biopaliv. Název MEŘO je zkratka pro methylester řepkového oleje, (palivo může obsahovat i jiné rostlinné oleje, případně odpadní živočišné tuky) v zahraničí je tato skupina souhrnně označovaná jako biodiesel. Vznětový motor je schopný spalovat i řepkový olej, ale jeho použití v běžném provozu je obtížné, zejména při nízkých teplotách vykazuje olej vysokou viskozitu. MEŘO se vyrábí chemickým procesem tzv. reesterifikací. Hlavní surovina je řepkový olej a vedlejším produktem je surový glycerin. Základem výrobního procesu je chemická reakce triglyceridů rostlinného oleje s metanolem za přítomnosti alkalických hydroxidů (hydroxid draselný/sodný) jako katalyzátoru. Reakce probíhá nejprve u katalyzátoru s metanolem, katalyzátor se rozpouští v metanolu a po přimíchání oleje se vzniklá směs dávkuje do reaktoru k transesterifikaci. Reakce probíhá při teplotách 50 – 80 °C zhruba 1 – 8 hodin. Po ukončení transesterifikace následuje oddělení glycerolu od metylesterů. Obě vzniklé složky obsahují metanol, který je nutné oddestilovat. Před destilací je nutné přidat minerální kyselinu za účelem zneutralizování glycerolu a methylesteru. Oddělený metanol je dále recyklován. Methylester řepkového oleje je dále promýván teplou vodou, aby byly odstraněny zbytkové složky mýdel a katalyzátorů. Posledním krokem úpravy metylesterů je oddělení vody. Získávání řepkového oleje lze docílit technologií za tepla nebo za studena. Při získávání řepkového oleje za tepla se olej lisuje při teplotě 80-90 °C. V první fázi výroby se vylisuje zhruba 50% obsahu oleje. Zbýlý olej je vázán ve výliscích a pomocí organických rozpouštědel je uvolněn z výlisků. V dalším kroku je olej destilován, kde se separuje olej od rozpouštědel, které je možné znovu použít. Získaný olej obsahuje velké množství rozpustných příměsí (fosforu, síry, stopy kovu), nežádoucí prvky v oleji jsou odstraněny rafinací. Olej po rafinaci dosahuje stejné kvality jako jedlý olej. Odpadním produktem výroby za tepla je tzv. filtrační koláč bohatý na proteiny, i proto je jeho další využití jako krmivo pro hospodářská zvířata. Při menší produkci MEŘO je více uplatňována technologie lisování řepkového oleje za studena. V této technologii se nepředehřívají olejnatá semena a výlisky nejsou dále extrahovány. Získaný olej neobsahuje takové množství rozpustných příměsí a z toho důvodu odpadá nutnost rafinace vylisovaného oleje. Odpadní výlisky obsahují 10 – 15% zbytkového oleje, využití těchto výlisků je obdobné jako u filtračního koláče.

Obr. č. 6: Obecné technologické schéma výroby MEŘO a jeho komplexní využití, včetně vedlejších produktů [18]



Smyslem výroby a chemické přeměny olejnatých produktů na methylestery je přiblížit výsledné vlastnosti tohoto paliva parametrům klasické motorové nafty vyráběné z ropy. V ČR je upřednostňována výroba z řepkového oleje z důvodů vysoké výhřevnosti a oleje obsaženého v semenech. Především v zahraničí se získávají methylestery ze slunečnicového oleje, z použitého fritovacího oleje, ze sojových bobů a z mastných kyselin. Fyzikální vlastnosti methylesteru řepkového oleje jsou velmi podobné s parametry motorové nafty, proto je vhodné MEŘO používat jako příměs do motorové nafty. V následující tabulce jsou porovnávány parametry motorové nafty, MEŘO a samotného rostlinného oleje. [17] [18]

Tab. č. 3: Porovnání parametrů motorové nafty, MEŘO a řepkového oleje [17]

Parametr		Motorová nafta	Methylester	Řepkový olej
kinematická viskozita [mm ² ·s ⁻¹]	-25 °C	5–30		300
	0 °C	3–14	10	180–220
	20 °C	2–8	6,3–8,1	65–100
	100 °C	0,7–2	1,7	6–8
výhřevnost hmotnostní [MJ·kg ⁻¹]		42,5	37,1–40,7	37,4
Výhřevnost objemová [MJ·l ⁻¹]		35,2	32,7	34,4
cetanové číslo		45	54–55	35–50
měrná hmotnost [g·cm ⁻³]		0,8–0,86	0,87–0,88	0,91–0,94
bod vzplanutí [°C]		min. 55	130	300–330
bod tuhnutí [°C]		-12–0	-7	-18–0
molekulová hmotnost		200	850–900	300

Bionafta první generace je čisté MEŘO, hlavně se používána v Rakousku a v Německu. V České republice není příliš rozšířená na rozdíl od bionafty druhé generace. Toto palivo bylo vyvinuto z MEŘO a jedná se o směs tří složek, třetinový podíl je MEŘO a zbylé dvě třetiny tvoří látky ropného původu. V nejjednodušším případě může nahradit zbylé dvě složky motorová nafta. První složka MEŘO má podíl zhruba 31 %, druhou složku tvoří těžké nebo lehké alkany, vyznačují se vynikajícími palivovými a fyzikálně-chemickými vlastnostmi. Nevýhoda této složky je v nízké mazivosti a nárůstu objemové spotřeby paliva z důvodů nižší měrné hmotnosti. Tyto nepříznivé vlastnosti jsou kompenzovány snížením exhalací. Třetí složka je tzv. střední bezsírý destilát, její primární funkce je vzhledem k velké výhřevnosti, zvýšit výkon motoru a snížit jeho spotřebu. Složka bezsírného destilátu nesmí přesáhnout 30%, vyšší koncentrace mají za následek zvýšení produkce škodlivých emisí a snížení biologické odbouratelnosti pod požadovaných 90 %. [21]

- **Výhody a nevýhody použití MEŘO**

Bionafta byla podrobena mnoho testům od výrobců v akreditovaných zkušebnách a také dlouhodobým provozem. Výsledky potvrzují, že z hlediska dlouhodobého provozu používání bionafty nečiní závažné problémy. Je nutné dodržovat určitá pravidla při používání MEŘO, především pravidelně odstraňovat vodu z palivového systému. Bionafta je upřednostňována zejména z ekologických důvodů v městské hromadné dopravě a v zemědělství. MEŘO není stále bráno širší veřejností jako srovnatelné palivo s motorovou naftou. Zde je uvedeno několik výhod a nevýhod bionafty

Výhody:

- Nevyžaduje úpravu motoru
- Vyšší mazivost než u motorové nafty
- Vyšší cetanové číslo
- Snížení emisí a to především pevných částic, polyaromatických uhlovodíků apod.
- Pochází z 30% z obnovitelných zdrojů a její spotřeba má pozitivní vliv na ekonomiku zemědělství
- Nižší cena

Nevýhody:

- Vyšší nároky na údržbu palivového systému, zejména na důsledné odstraňování vody z palivového systému
- Nižší výkon motoru o cca 5%
- Vyšší spotřeba paliva o cca 5%

[22]

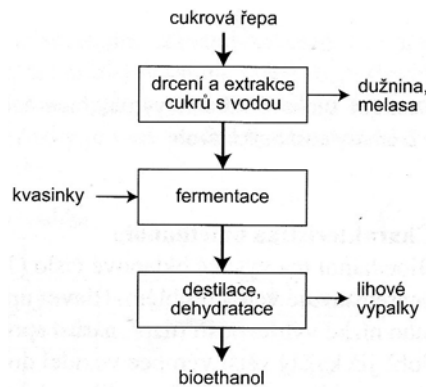
2.3.2 Bioetanol

Alkoholy určené pro spalování ve spalovacích motorech jsou vyráběny z rostlinných produktů a odpadů nebo synteticky. Etylalkohol - etanol je vyráběn kvašením a následnou destilací ze surovin obsahujících cukr, škrob a celulózu. Nejznámější výroba etanolu je z cukrové třtiny hlavně v Brazílii a z kukuřice v USA. Pro naše podmínky je možné používat i brambory, cukrovou řepu a obiloviny. Výrobu bioetanolu lze rozdělit do třech skupin z hlediska použité biomasy: [17] [21]

- **Biomasa obsahující jednoduché cukry**

Bioetanol je vyráběn z cukrové třtiny nebo cukrové řepy. Tento způsob výroby je nejjednodušší, protože biomasa obsahuje sacharózu, která se snadno přemění na jednoduché cukry v přítomnosti vody. Cukr lze snadno oddělit a poté fermentovat. Fermentaci předchází úprava biomasy, cukrová řepa nebo třtina je rozmělněna a proprána ve vodě, tím se uvolní cukry. Odpadem tohoto procesu je dužina a melasa. Po proprání následuje kvašení ve fermentoru, při kterém jsou vzniklé sacharidy zkvašovány kvasinkami na bioetanol a oxid uhličitý. Kvašení musí probíhat ve správných podmínkách, je nutné dodržet vhodné pH (4 až 6) a teplotu kolem 30 °C. Vykvašený obsah etanolu se pohybuje v rozmezí 12 až 13 % objemových. Další fáze výroby je destilace, kde je oddělen destilát (etanol) a destilační zbytek. Destilovaný etanol je nutné rafinovat, aby byly odstraněny nežádoucí vedlejší produkty fermentace, které nepříznivě ovlivňují palivovou soustavu. Výsledkem je tzv. rafinovaný etanol, který obsahuje maximálně 95,5% etanolu zbytek tvoří voda. Etanol s vodou tvoří směs o konstantním bodu varu, kterou nelze destilací oddělit. Obsah vody v etanolu je jedním z kvalitativních znaků palivového bioetanolu, a proto je nutné obsah vody minimalizovat. Odvodnění bioetanolu v současné době je nejefektivnější s pomocí molekulárních sít (zeolity). [17]

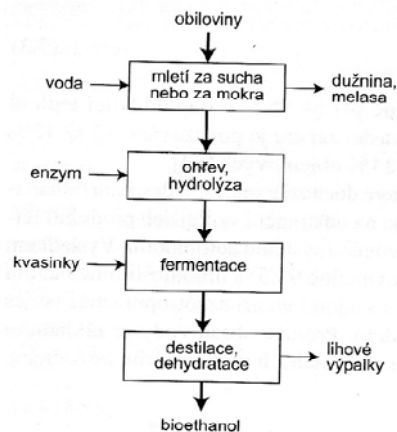
Obr. č. 7: Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry [17]



- **Biomasa obsahující škrob**

Hlavní surovina pro výrobu etanolu touto technologií jsou obiloviny. Nelze však použít veškeré obiloviny, limitujícími faktory jsou obsah škrobu v sušině min 65% a obsahem bílkovin max 11%. Nízký obsah škrobu znemožňuje konverzi polysacharidů na zkvasitelné cukry a následně na etanol. Nejvhodnější jsou zrna pšenice a triticales. Výroba začíná mletím zrn případně drcením prováděným za morka nebo za sucha. Rozmělnění biomasy je důležité pro zpřístupnění komplexu enzymů. Odpadem tohoto procesu jsou slupky zrn a stébla. Rozmělněná zrna jsou připravována na zápar, kde dochází k zmazovatění zrn škrobu a bobtnání. Škrob je postupně převáděn působením enzymů nebo kyselou hydrolyzou na zkvasitelný sacharid (glukózu). Další postup výroby je obdobný jako u výroby etanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry. Následuje tedy kvašení ve fermentoru za působení kvasinek rodu *Sacharomyces*. Poté je prováděna konečná úprava surového etanolu destilací a dehydratací. [17] [23]

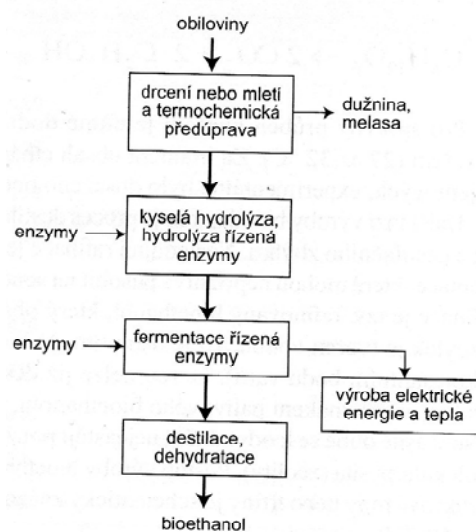
Obr. č. 8: Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob [17]



- **Lignocelulózová biomasa**

Výroba z lignocelulózové biomasy je poměrně komplikovaná. Etanol vyráběný z lignocelulózové biomasy patří mezi biopaliva druhé generace. Technologie výroby je v současné době předmětem intenzivní výzkumné činnosti. Komerční využití této technologie se předpokládá v horizontu 10-15 let. Vstupní surovinou jsou obdobně jako u výroby z biomasy obiloviny obsahující škrob, ale je možné použít i dřevo, rostlinné odpady a slámu. Samotnou výrobu také předchází drcení nebo mletí zrn, v tomto případě je nutné zrna ještě termochemicky předupravit. Proces konverze lignocelulózové biomasy na bioetanol je nejčastěji zahajován hydrolýzou lignocelulózové biomasy na jednoduché fermentovatelné cukry, je mnohem náročnější než hydrolýza škrobu u biomasy pro paliva první generace. Nejvhodnější je kyselá hydrolýza a hydrolýza pomocí enzymů. Následuje fermentace řízená enzymy a jako vedlejší produkt je možná výroba elektrické energie a tepla. Konečnou úpravou jsou jako v předchozích případech destilace a dehydratace. [17]

Obr. č. 9: Schéma výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy [17]



Bioetanol je možné používat jako čisté palivo bez mísení s konvenčními palivy ve vznětových i zážehových motorech. Vyznačuje se vysokým oktanovým číslem (107) a velmi nízkým cetanovým číslem (8). Používání etanolu v zážehových motorech je možné bez zásadních konstrukčních změn motoru. Vzhledem k menší výhřevnosti bioetanolu než benzínu je nutné zvětšit dodávku paliva do motoru. Nárůst paliva vzroste přibližně o 36%. Současně je nutné provést opatření proti korozivním vlivům na součásti palivové soustavy. Etanol a alkoholy všeobecně mají vyšší detonační odolnost a obsah škodlivin ve výfukových

plynech je nižší než u motorů spalující benzin. Použití bioetanolu ve vznětových motorech vyžaduje úpravu motoru. Z důvodů nízké vznětlivosti je nutné zvýšit kompresní poměr na 23, případně více a zvýšit dodávku paliva. Etanol má malé mazací schopnosti, proto se aditivuje organickými dusičnany a dusitany. Etanol je také aditivován složkami podporující vznícení paliva. Pokud je etanol mísen s konvenčními palivy, nejsou nutné žádné konstrukční změny v obou typech motorů. Během skladování u výrobce na čerpacích stanicích, ale i v nádržích motorových vozidel může docházet působením vzdušné vlhkosti k rozsazování paliva, kterému se zamezí příslušnou doplňkovou aditivací paliva. Etanol je látka s relativně nízkým bodem varu, tj. s vysokou tenzí par a jeho přítomnost v palivu jednak zvyšuje emise při skladování a čerpání a současně zvyšuje třídu požární nebezpečnosti, což se zvláště projevuje u dieselových paliv.[17] [21] [23]

Tab. č. 4: Srovnání základních parametrů bioetanolu, automobilového benzínu a motorové nafty [17]

Parametr		Bioethanol	Automobilový benzín	Motorová nafta
hustota	g.cm-3	0,79	0,73	0,84
výhřevnost hmotnostní	MJ.kg-1	26,80	44,03	42,50
výhřevnost objemová	MJ.dm-3	21,17	32,3	35,70
teoretická spotřeba vzduchu	kg/kg paliva	9,00	14,70	14,90
oktanové číslo	–	107	95	–
cetanové číslo	–	8	–	45–55

2.4 Emise vznětového motoru

Emise vznikají z činnosti spalovacího motoru. Současný trend nutí výrobce vozidel k neustálému snižování emisí. Produkce emisí je také ošetřena emisní normou stanovující limitní hodnoty škodlivin ve výfukových exhalacích benzinových a naftových motorů pro motorová vozidla v závislosti hmotnosti škodlivin na ujeté vzdálenosti. V evropských zemích v současné době platí EURO 6. Zelené hodnoty platí pro zážehové motory, černé pro vznětové motory * 0,9; **0,1 motory s přímým vstřikem [16]

Tab. č. 5: Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO [16]

Rok/norma		CO (g/km)		NO _x (g/km)		HC + NO _x (g/km)		HC (g/km)	PČ (g/km)
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70*	-	0,08**
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

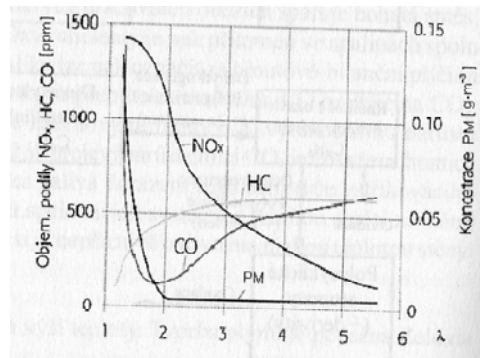
Emise spalovacího motoru je důležitým parametrem motoru. Před uvedením nového motoru do provozu je nutné mimo jiné i splnění požadavků na hladinu produkovaných škodlivin, emisní vlastnosti jsou sledovány i v průběhu jeho provozování. Nízká hladina emisí je podmínkou pro komerční úspěch výrobku. Složení spalin je také dobrým ukazatelem kvality spalovacího procesu. [14]

2.4.1 Složení výfukových plynů vznětového motoru

Při spálení uhlovodíkového paliva se vzduchem vzniká, dokonalou oxidací uhlíku a vodíku obsaženého v palivu, oxid uhličitý (CO₂) a voda (H₂O). Pokud nedojde k dokonalé oxidaci paliva, spaliny obsahují oxid uhelnatý (CO) a vodík (H₂). Složka dusíku (N₂) se objevuje ve spalinách, pokud je použito okysličovadlo vzduch. Kyslík (O₂) se vyskytuje ve spalinách v případě, že motor pracuje s přebytkem vzduchu a jeho celé množství se nespotřebuje na oxidaci paliva. Vlivem vysokých teplot ve spalovacím prostoru vznikají oxidací vzdušného dusíku oxidy dusíku (NO_x) složené z oxidu dusnatého (NO) a menšího množství oxidu dusičitého (NO₂). Při špatné oxidaci paliva vznikají nespálené uhlovodíky (HC) různého složení. Spaliny obsahují také saze – pevný uhlík, které vznikají v prostředí bez vzduchu (uvnitř kapky kapalného paliva) za vysoké teploty, kdy nastává dekompozice molekul uhlovodíku. Vznik pevných částic ovlivňuje stav sacího potrubí např. ucpaný vzduchový filtr. Mezi další pevné částice patří vysokomolekulové produkty tepelné degradace mazacího oleje, prach, částičky rzi atd. Tyto částice se vyskytují ve velmi malém množství v porovnání s obsahem pevného uhlíku. Ve spalinách se vyskytují i oxidy síry, vznikají při spalování v motoru, kde se uvolňují z uhlovodíkových paliv.

Z uvedených složek se mezi škodlivé počítají CO, NO_x, HC, saze. Na následujícím obrázku jsou znázorněny koncentrace objemy a podíly emisí v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu λ . [14] [24]

Obr. č. 10: Produkce emisí vznětového motoru v závislosti λ [14]



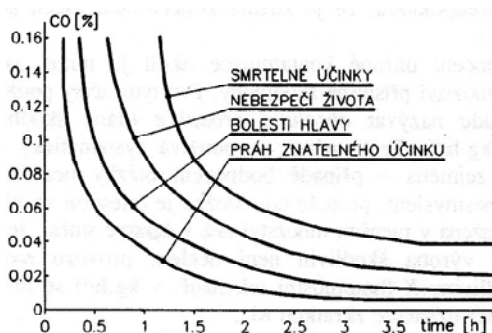
Pomocí součinitele přebytku vzduchu λ je možné významně ovlivňovat emise vznětového motoru, protože je regulován kvantitativně. S nárůstem λ se snižuje obsah pevných částic, koncentrace NO_x se také snižuje s nárůstem λ . To je důvodem spalování nehomogenní směsi, značný podíl difúzního dohořívání probíhá vlastní spalovací proces při hodnotě $\lambda = 1$ (při takovém součiniteli přebytku vzduchu je dosahováno značně vysoké teploty). Spaliny jsou poté dodatečně ředěny na průměrnou hodnotu λ vzduchem, který se nenacházel v zóně hoření. Maximální hodnoty koncentrace CO v porovnání s benzinovými spaliny jsou výrazně nižší z důvodů vyššího součinitele přebytku vzduchu, ale při zvyšování λ se emise CO zvyšují. V nejnižším λ se projevuje nehomogenita směsi ve spalovacím prostoru a koncentrace CO stoupá. Koncentraci škodlivin lze tedy snižovat zajištěním trvale vysoké hodnoty součinitele vzduchu. V současnosti jsou hojně používány přeplňované motory, které zajistí požadavek na dosažení vysoké hodnoty středního efektivního tlaku s použitím chlazení vzduchu na sání. Emisní a energetické vlastnosti motoru lze regulovat samotným návrhem spalovacího prostoru, charakterem a intenzitou pohybu náplně. Dalším nesporným nástrojem pro ovládání je počet, velikost a nasměrování výstřikových otvorů vstřikovací trysky, velikost vstřikovacího tlaku a doba vstřiku. Surové spaliny, které vycházejí přímo z válce, se regulují pomocí oxidačního katalyzátoru umístěnému na výfukovém potrubí. Zde je také umístěn filtr pevných částic, který pracuje v cyklickém režimu, kdy v jedné fázi zachytává pevné částice a ve druhé fázi je vypaluje. Další prvkem pro snížení emisí, konkrétně NO_x, je EGR ventil, který spojuje výfukové vedení

se sacím. Nově zaváděným systémem na snižování emisí NO_x , jsou selektivní katalytické redukce. Redukční činidlo zde představuje sloučenina amoniaku, který je tvořen ve výfukovém okruhu hydrolyzou redukční látky k výfukovým plynům, což je roztok močoviny ve vodě. Tryska vstříkne kapalinu do výfukového systému ve formě aerosolu se vzduchem proti proudu výfukových plynů. Efekt je takový, že oxidy dusíku z výfukového plynu se spojí s amoniakem a vznikne dusík a voda. [14] [8]

2.4.2 Charakteristika škodlivých složek spalin

Konstrukce motoru a jeho provozování by mělo minimalizovat vznik škodlivých látek ve spalinách. **Oxid uhelnatý** (CO) je jedovatý pro organismus, na krevní barvivo je oxid uhelnatý intenzivněji vázán než kyslík za vzniku karboxylhemoglobinu. Tím se omezuje okysličování organismu a jednotlivé orgány jsou poškozovány nedostatkem kyslíku. Mozek je nejcitlivější na nedostatek kyslíku, proto je oxid uhelnatý označován jako nervový plyn. CO se také podílí na vzniku fotochemického (letního) smogu. [14]

Obr. č. 11: Účinek CO na lidský organismus [14]



Oxid dusnatý (NO) není příliš nebezpečný pro lidský organismus. Plyn v atmosféře dále oxiduje na **oxid dusičitý** (NO_2), který je více nebezpečný než CO. Organismus je ohrožován na základě dezinformace regulační soustavy, která reaguje na vdechovaný plyn obsažený ve vzduchu jako na začátek hoření a omezuje přístup vzduchu do plic. Tento klamný efekt způsobuje reakce oxidu dusičitého s vodou (na stěnách sliznice) vytváří kyselinu dusičitou. Postižený nabývá pocitu dušení a nucení ke kašli. Oxid dusičitý se významně podílí na vzniku letního smogu.

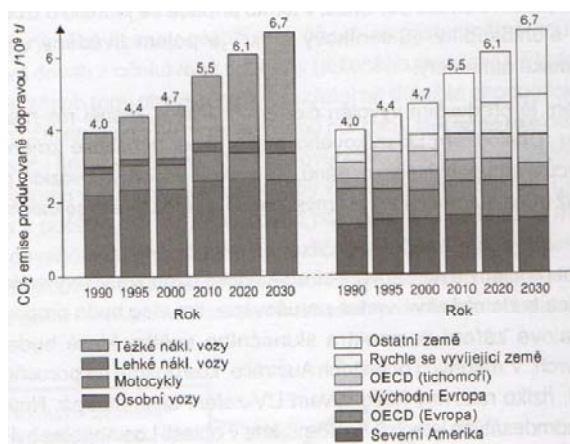
Nespálené uhlovodíky (HC) je směs individuálních komponentů s různou škodlivostí. Nejméně škodlivé uhlovodíky obsažené ve spalinách v důsledku přímě ztráty paliva zkratovým vyplachováním. Přípustná koncentrace se určuje podle čichového prahu nikoliv podle toxicity. Nenasycené aldehydy a vyšší aldehydy obecně už při malé koncentraci jsou

silně dráždivé na sliznice a oči. U formaldehydů bylo prokázáno, že mají mutagenní účinky. Ze všech složek spalin jsou nejvíce nebezpečné polycyklické aromatické uhlovodíky, které mají rakovinotvorné účinky. Aldehydy a ketony se významně podílí na vzniku letního smogu.

Pevné částice – saze, obsahují uhlík v pevné formě. Tento druh spalin není sám o sobě toxický, ale z důvodů dobrých sorpčních vlastností na sebe váže škodlivé látky např. polycyklické aromáty. Tato částice (s navázanými toxickými látkami) se při vdechnutí usadí v plicních sklípcích organismů a umožňuje dlouhodobé působení karcinogenů. Emise pevných částic se výrazně zvyšují se snižováním přebytku vzduchu. Pevné částice se podílí na výskytu zimního smogu. Produkce pevných částic může v jistých situacích vytvářet předpoklady k dopravní nehodě (předjíždění kouřícího vozidla apod.) Kouřivost je kontrolována nejen pro diagnostické účely, ale i z důvodů hygienických.

Oxid uhličitý je ukazatelem dokonalé oxidace a přítomnost ve spalinách je důsledkem kvalitního spalovacího procesu. Tato složka se nepovažuje za velmi nebezpečnou, v podstatě se jedná o velmi stabilní a málo reaktivní plyn. Produkce CO₂ má negativní vliv na životní prostředí. Hlavním důsledkem je vytváření radiační clony v atmosféře, která zamezuje sdílení tepla ze zemské koule sáláním. Tento jev je označován jako skleníkový efekt a má za následek zvyšování teploty a posun klimatických poměrů s řadou fatálních důsledků (tání ledovců a následné zvyšování hladiny oceánů). Skleníkový efekt je podporován i fotochemicky produkovaným přízemním ozónem. Na jeho vzniku se také podílejí látky, které jsou emitovány ve výfukových plynech spalovacího motoru NO_x a těkavé organické látky VOC (Volatile Organic Components). [14] [15] [8] [24]

Obr. č. 12: Celosvětový vývoj produkce CO₂ způsobený dopravou [15]

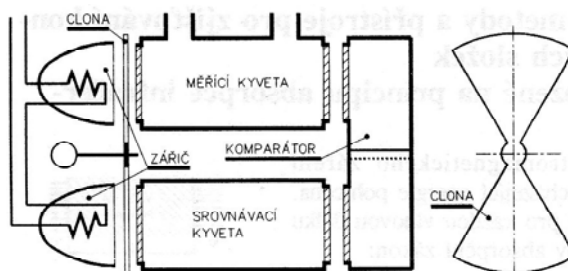


2.4.3 Měření emisí

Je prováděno v laboratorních podmínkách, nebo při pravidelných kontrolách emisí vozidla v provozu. Jednotlivé metody se od sebe liší, jsou založené na absorpci záření, luminiscenci, změny elektrické vodivosti, změny magnetických vlastností.

Měření emisí založené na absorpci infračerveného záření, spočívá ve sledování úbytku energie elektromagnetického záření při průchodu plynem. Měření je založené na Lambertovu-beerovu absorpčním zákoně. Jednotlivé složky emisí jsou rozpoznávány na základě individuálních vlastností k absorpčnímu koeficientu a vlnové délce. Špička vibračních absorpcí leží ve vlnových délkách infračerveného spektra (760 nm – 1 mm), odtud název metody. Infračervené záření generované zářičem prochází kyvetami (malé laboratorní nádobky) s okny z materiálu prostupného pro určité vlnové délky. Druhá kyveta (srovnávací) je naplněna plynem, který nepohlcuje vlnové délky (N_2). První kyvetou proudí sledovaný plyn a je sledován úbytek energie infračerveného záření. Rozdíl v intenzitách prošlého záření oběma kyvetami je měřítko koncentrace všech absorpčně aktivních plynů ve vzorku. Určení jednotlivých látek v pozorovaném plynu se provádí pomocí komparátoru. Jedná se o dvě komory naplněné plynem, jehož koncentrace se v analyzované směsi zjišťuje. Plyn absorbuje záření pouze v individuálním absorpčním spektru a komory se různě ohřívají. Pro usnadnění vyhodnocení signálu je tok záření modulovaný rotující clonou. Komory jsou odděleny membránou, která se vlivem ohřívání plynu prohýbá a také tvoří jednu desku kondenzátoru a druhou desku tvoří paralelně natažená síťka. Kapacita kondenzátoru je součástí dalších elektronických obvodů pro zpracování signálu. [14]

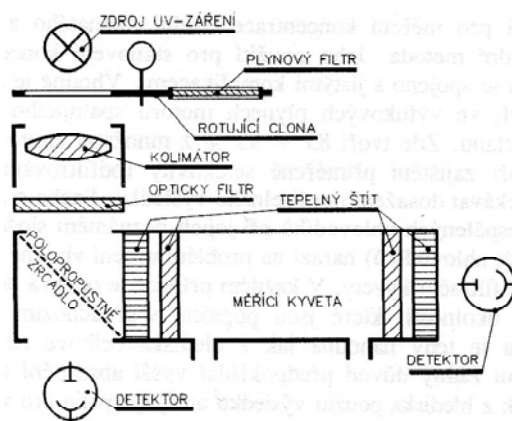
Obr. č. 13: Infraanalyzátor [14]



Měření založené na principu absorpce ultrafialového záření. Měření využívá absorpci do skupiny optických analyzátorů. Jako zářič se používá plynová výbojka s dutou katodou. Ultrafialové záření je časově modulováno rotující clonou a místně rozděleno děličem (polopropustným zrcadlem). Záření je rozděleno tak, že část záření prochází měřicí kyvetou,

kde dochází k pohlcování záření absorpčně aktivními složkami obsaženými ve zkoumaném plynu. Kyveta je zkoumaným plynem neustále proplachována. Referenční paprsek je nasměrován do fotonásobiče (korekční detektor). Jednotlivé látky jsou detekovány pomocí vhodné náplně výbojky a jednoho rotujícího křídla clony. [14]

Obr. č. 14: Analyzátor využívající absorpci ultrafialového záření [14]



Měření s využitím chemické luminiscence je emise specifických energetických kvant (fotonů) provázející některé chemické reakce. Měření se využívá pro detekování oxidů dusíku. Globální zápis předmětné reakce je:



Kde:

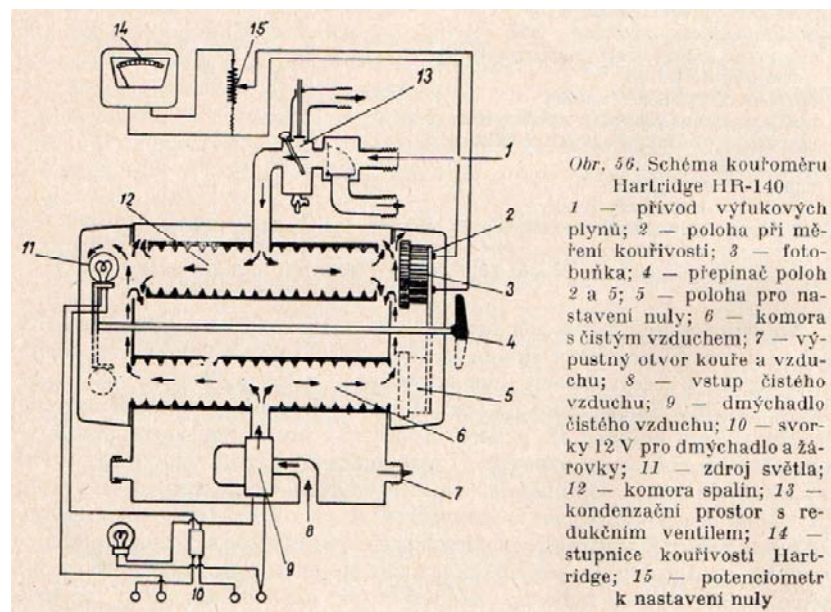
$h\nu$ energetické kvantum (h - Planckova konstanta, ν - frekvence)

Působením elektrostatického pole o vysokém napětí na molekuly kyslíku se vyrábí ozón. Sledovaný plyn a ozón se společně přivádí do reaktoru s fotonásobičem, jehož výstupní signál je úměrný množství dopadajících energetických kvant. Výstupní signál z fotonásobiče je dále zpracováván elektronikou přístroje. Měřit se dají pouze oxidy NO a celková emise oxidu dusíku NO_x . Koncentraci NO_2 lze dopočítat z rovnice $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$.

Kouřivost vznětového motoru je pozorovatelný jev, z toho důvodu se kouřivost dostala do popředí ze skupiny škodlivin daleko více než ostatní plynné složky spalin. První metody měření kouřivosti byly založeny na filtraci spalin o definovaném objemu, proudící definovanou rychlostí přes filtrační papír. Pevné částice ve spalinách se zachytávaly na filtračním papíru. Zachycené množství se vyhodnocovalo opticky podle míry zčernání filtračního papíru. Kouřivost lze měřit nejen objemově (s pomocí filtračního papíru), ale také

průtokově. Starší typy kouřoměrů se skládaly z dvou opticky shodných komor. Jedna obsahovala čistý vzduch jako srovnávací médium a druhou komorou protékaly spaliny. Nastavením páčky se prosvěcovala komora se vzduchem nebo se spalinami. Prosvěcující zdroj měl stanovenou svítivost. Elektrický proud registrovaný mikroampérmetrem, cejchovaném v %. Stupnice kouřivosti závisí na intenzitě světla dopadajícího na fotobuňku, tedy na kouřovém zákalu plynného prostředí. Kouřivost u tohoto typu kouřoměru je měřena za konstantního tlaku spalin a zásadně na prohřátém motoru.

Obr. č. 15: Schéma kouřoměru Hartridge HR-140 [24]



Přímé zjišťování kouřivosti je založeno na pohlcení světla sloupcem výfukových plynů definované délky (optické dráhy). Měřenou veličinou je opacita (pohltivost světla, převrácenou hodnotou je průhlednost neboli transparence) spalin a měřicí přístroj je opacimetr. Tato veličina je také označována jako emise viditelného kouře. Společnou nevýhodou měření opacimetrem a filtrační metodou je, že není možné vztahovat naměřené hodnoty k výkonovým vlastnostem motoru. Filtrační metoda byla upravena zavedením vyhodnocování pevných částic vážením filtračního papíru před měřením a po měření. Aby byla zajištěná dostatečná citlivost měření, byl navýšen objem proudících spalin. [14] [24]

3 Cíl a metodika diplomové práce

Cílem této práce je zjistit vliv přidaných alternativních paliv (MEŘO a bioetanol) do motorové nafty. Měření bylo prováděno na třech vzorcích, čisté motorové nafty; motorové nafty s 5 % obsahem etanolu; motorové nafty s 5 % obsahem etanolu a s 5 % obsahem MEŘO. Na základě získaných výsledků z měření je možné porovnat vliv příměsí na produkci emisí a spotřebu paliva. Posouzení vlivu příměsí je realizováno na základě zjištěných emisních složek spalin (HC, NO_x, CO, CO₂, kouřivosti) a také na spotřebě paliva.

Metodika měření byla prováděna v prostorách školních laboratoří na školním vozidle Škoda Roomster 1,4 TDI. Vlastní měření bylo prováděno na školní válcové zkušebně. Dynamometr zkušebny simuloval jízdní režimy v městské zástavbě a mimoměstském režimu jízdy tzv. UDC a EUDC (urban driving cycle a extra-urban driving cycle). Vozidlo po najetí na vále dynamometru bylo ukotveno z bezpečnostních důvodů při případném vyjetí vozidla z válců. Zajistila se ventilace, protože měření probíhalo v uzavřeném prostoru. Poté se zvolené palivo nalilo do odměrného válce, který byl umístěn na váze pro snazší zjištění spotřeby paliva. Z odměrného válce bylo palivo přivedeno k palivovému filtru, jímž bylo palivo přiváděno přímo do palivového systému vozidla. Na výfuk byla připevněna čidla měřící emise výfukových plynů a kouřivost. Měřicí přístroje na vyhodnocování objemové koncentrace emisí jsou součástí školního vybavení laboratoře. Jako prvním měřeným palivem byla motorová nafta poté nafta s etanolem a jako poslední nafta s etanolem a MEŘO. Výsledná data získaná z měření jsem zpracoval a výsledky jsou zaneseny do grafů porovnávající všechny tři zkoumané druhy paliva.

4 Vyhodnocení experimentu

Tato kapitola je rozčleněna na dílčí kapitoly, které obsahují charakteristiku použitých zařízení k měření, popis měřících cyklů a samotné vyhodnocení výsledků pořízených z měření a srovnání s ostatními použitými palivy.

4.1 Použité zařízení při měření

Pro měření bylo nutné využít části vybavení školních laboratoří (emisní měřicí stanice, válcovou zkušebnu, výpočetní techniku). Vozidlo je rovněž majetkem školy.

4.1.1 Zkušební vozidlo

Vozidlo, se kterým bylo uskutečněné měření na válcové zkušebně, je tovární značky Škoda Roomster 1,4 TDI. Jedná se o vozidlo s dieslovým agregátem s přeplňováním. Palivo je dopravováno přímým vstřikovacím systémem čerpadlo-tryska (Pumpe-Düse). Vozidlo plní emisní limity pro EURO IV. Zvolené vozidlo je v ČR poměrně běžné, a proto je vhodné k objektivnímu posouzení vlivu příměsí na spotřebu a emise. V následující tabulce jsou uvedeny základní data o vozidle respektive o motoru vozidla.

Tab. č. 6: Parametry motoru zkoušeného vozidla

Hnací náprava	Přední
Počet válců	3
Uspořádání válců	Řadový
Zdvihový poměr	0,83:1
Vrtání x zdvih [mm]	79,5 x 95,5
Objem [cm ³]	1422
Způsob přeplňování	Turbodmychadlo
Kompresní poměr	18:1 19,5:1
Maximální výkon [kW/ot*min ⁻¹]	51/4000
Maximální točivý moment [Nm/ot*min ⁻¹]	155/1600
Maximální rychlost [km*h ⁻¹]	156

4.1.2 Válcová zkušebna

Vozidlo bylo měřeno na válcové zkušebně katedry vozidel a pozemní dopravy technické fakulty ČZU. Zkušebna umožňuje měření vozidel do 3,5t. Jedná se o starší typ válcové zkušebny Schenck vyrobené v roce 1983, která byla zmodernizována. Původním vlastníkem zkušebny byla Škoda Auto. Univerzita získala toto zkušební zařízení od druhého majitele darem. Modernizace zkušebny představují tyto nové komponenty: Pulzní měnič ovládající elektromotor, zabudování vířivého dynamometru za účelem zvětšení brzdného účinku zkušebny, byla provedena výměna několika čidel a snímačů. V následující tabulce jsou uvedeny základní parametry válcové zkušebny.

Tab. č. 7: Parametry válcové zkušebny

Vířivý dynamometr	Maximální otáčky [min^{-1}]	8000
	Maximální brzdný výkon [kW]	125
	Maximální brzdný moment [Nm]	474
DC motorgenerátor	Maximální otáčky [min^{-1}]	3000
	Maximální brzdný výkon [kW]	56
	Maximální brzdný moment [Nm]	305
Setrvačníky zkušebny	Základní simulovaná hmotnost [kg]	680
	Přídavné hmotnosti [kg]	112,5; 120; 225; 450; 900
Válce zkušebny	Počet válců	2
	Obvod válců [mm]	1145

4.1.3 Přístroje pro měření emisí

Emise byly měřeny pomocí víceúčelového NDIR analyzátoru VMK. Zařízení je založené na metodě NDIR (Non-Dispersive InfraRed) absorpci infračerveného záření. Základní princip je v podstatě podobný, jako u běžných optických snímačů. Analyzátor měří několik emisních složek (CO , CO_2 , HC, NO_x , O_2).

Snímače využívající NDIR metodu (patří k přesnějším) vyznačují se dlouhodobou stabilitou a jsou schopny měřit koncentrace od nulové hodnoty a zároveň jsou schopny měřit i vysoké koncentrace měřených plynů. Nevýhodou těchto přístrojů v porovnání s běžnými je vyšší cena. Na následujícím obrázku je znázorněn NDIR analyzátor VMK.

Obr. č. 16: NDIR Analyzátor VMK



Analyzátor dokáže měřit emise při různém rozsahu danou složku emisí. V následující tabulce jsou uvedeny rozsahy, rozlišení a daná přesnost měření.

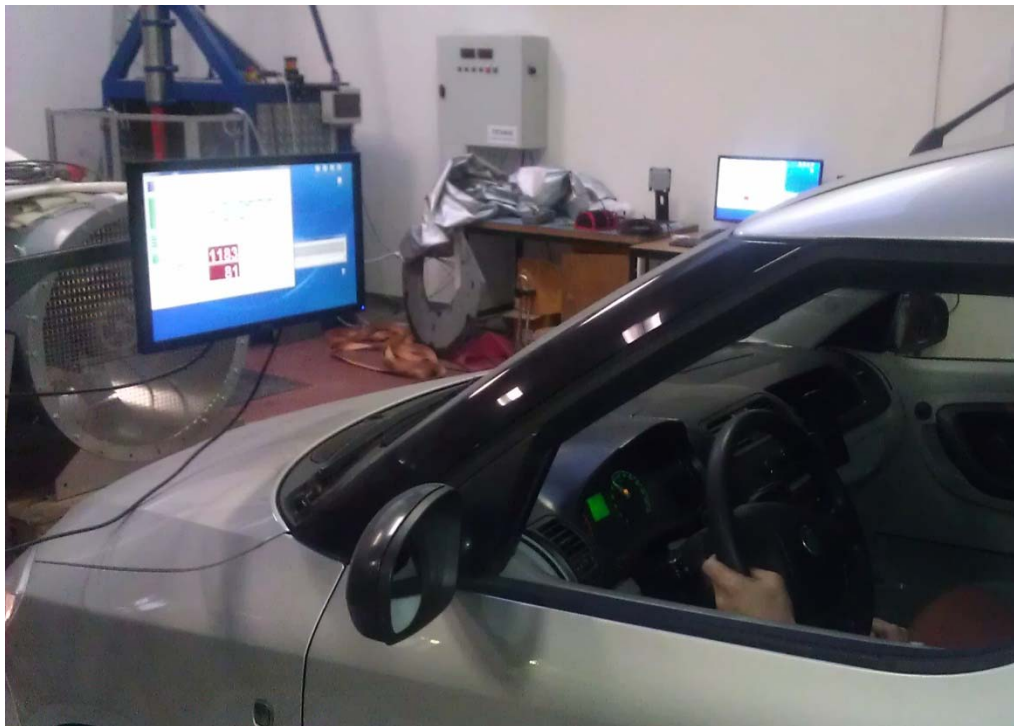
Tab. č. 8: Parametry NDIR analyzátoru VMK

Měřená složka	Rozsah	Rozlišení	Přesnost měření
CO	0 - 10 % vol	0,01 % vol	0 - 0,67%: 0,02% absolutně, 0,67-10%: 3% z naměřené hodnoty
CO ₂	0 - 16 % vol	0,1 % vol	0 - 10%: 0,3% absolutně, 10 - 16%: 3% z n.h.
HC	0 - 20 000 ppm	1 ppm	10 ppm nebo 5% z n.h.
NO _x	0 - 5 000 ppm	1 ppm	0 - 1000 ppm: 25 ppm, 1000 - 4000 ppm: 4% z n.h.
O ₂	0 - 22 % vol	0,1 % vol	0 - 3%: 0,1% 3 - 21%: 3% z n.h.

4.2 Popis jízdního cyklu

Jízdní cyklus byl simulován ve zkušebně za pomoci osobního automobilu, který byl zajištěn z bezpečnostních důvodů ke kotvám v podlaze zkušebny, a hnací náprava byla umístěna na dynamometr. Dodržování jízdního cyklu bylo zajištěno monitorem před vozidlem, kde se promítala ideální křivka cyklu a reálná.

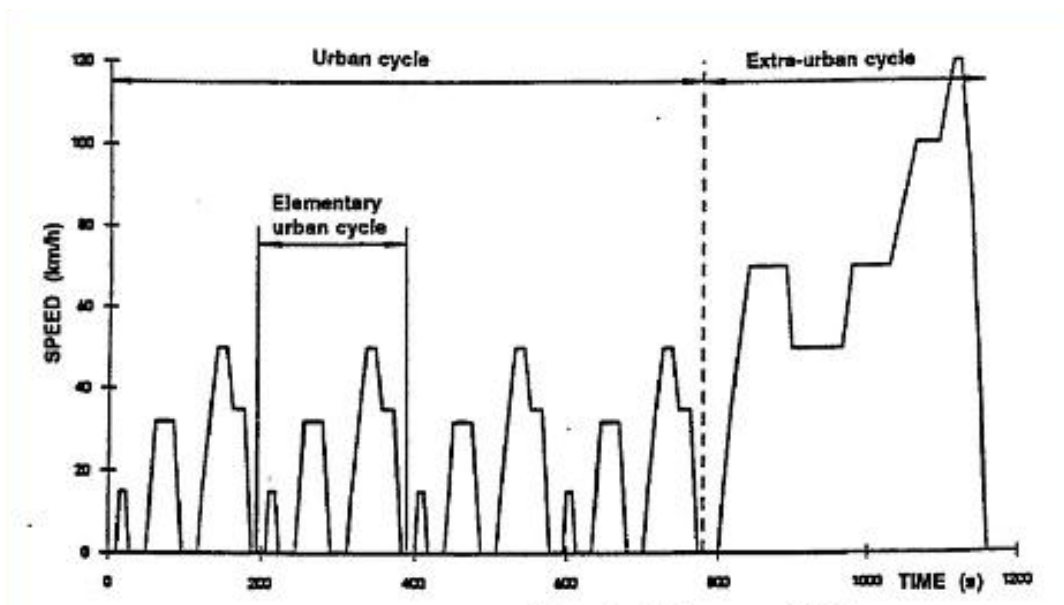
Obr. č. 17: Testované vozidlo na válcové zkušebně



Jízdní cyklus vychází z NEDC (New European Driving Cycles) blíže popsaném ve směrnici 70/220/EEC. Jízdní cyklus byl rozdělen na dvě hlavní části městskou UDC a mimoměstskou EUDC. Městská část trvá 195 sekund a je dosaženo průměrné rychlosti cca $19 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Vozidlo při této části cyklu ujede 1013 m, cyklus je opakován čtyřikrát. Při UDC vozidlo dosahuje nízké rychlosti a motor vozidla není tak zatížen, to má dopad i na emise motoru.

Cyklus EUDC trvá 400 sekund a je zde simulována i vyšší rychlost až 120 km*h⁻¹ vozidlo je při této části cyklu více zatěžováno. Ujetá dráha při simulaci EUDC je 6955 m při průměrné rychlosti 62,6 km*h⁻¹. Cyklus EUDC je rovněž opakován čtyřikrát.

Obr. č. 18: Jízdní cyklus NEDC [27]



4.3 Vyhodnocení výsledků

Cílem měření je zjistit produkci emisí v závislosti na použitém palivu a jízdním cyklu. Použitá paliva byly motorová nafta, motorová nafta a 5% příměs etanolu a motorová nafta s 5% příměsí etanolu a 5% příměsí MEŘO. Byla měřena objemová koncentrace sledovaných látek, ale z důvodů nízké přesnosti byly hodnoty přepočteny na hmotnostní toky. V grafech jsou uvedeny hmotnostní toky sledovaných látek v gramech za sekundu, které lépe charakterizují produkci emisí než při objemové koncentraci. Přepočet objemových koncentrací na hmotnostní toky byl proveden podle následujícího vzorce.

$$\dot{m} = \frac{m_{mol\ vzduchu} * c_{V(XX)}}{1000000 * m_{mol(XX)}}$$

Kde:

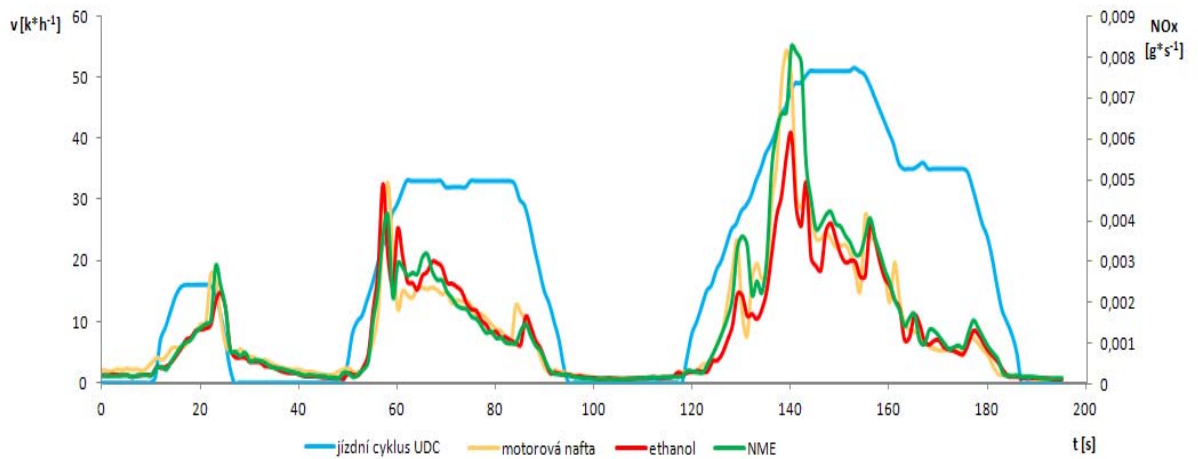
\dot{m}	hmotnostní tok
$m_{mol\ vzduchu}$	molární hmotnost vzduchu
$c_{V(XX)}$	objemová koncentrace daného plynu
$m_{mol(XX)}$	molární hmotnost daného plynu

4.3.1 Měření emisí v UDC cyklu

Měření zahrnuje šest emisních složek a každá jednotlivá složka je porovnávána se stejným typem emisní složky vyprodukované při jiném použití paliva. Emise vyprodukované v tomto cyklu nedosahují vysokých hodnot, protože cyklus simuluje jízdu v městské zástavbě. Výrobci se snaží konstruovat motory s nízkými produkcemi emisí při nízkém zatížení motoru i z důvodů jízdy v městské zástavbě.

V následujícím grafu je porovnání emisních složek NO_x. Vznik emisí NO_x podmiňuje vysoká teplota a dostatečné množství kyslíku při spalování paliva ve válci, proto zaznamenáváme nárůst emisí při akceleraci vozidla. V následujícím grafu je podrobně znázorněn průběh produkce emisí NO_x v UDC cyklu.

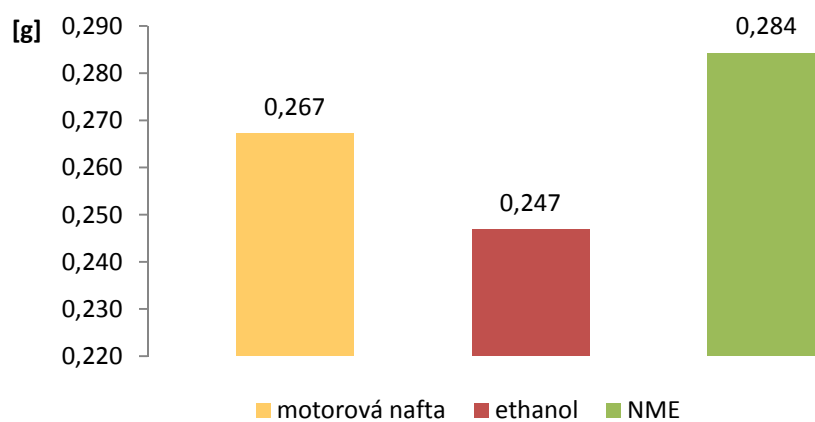
Graf č. 1: Porovnání produkce emisí NO_x v jízdním cyklu UDC



Zdroj: Vlastní práce

Nejvyšší produkce emisí je přibližně kolem 140 sekundy, zde byla nejdelší akcelerace a největší zatížení motoru. V klidnějších pasážích jízdního cyklu se produkce emisí použitých paliv výrazně neliší. Etanol má nejmenší vliv z hlediska produkce emisí NO_x, což potvrzuje i celková hodnota produkce v následujícím grafu, která dosahuje nejnižší hodnoty. Naopak nejhorší je směs motorové nafty etanolu a MEŘO největší produkce je zaznamenaná ve 140 sekundě nicméně. V produkci NO_x dominuje směs motorové nafty etanolu a MEŘO v téměř celém průběhu testu, tuto skutečnost potvrzuje i následující graf celkové produkce emisí NO_x.

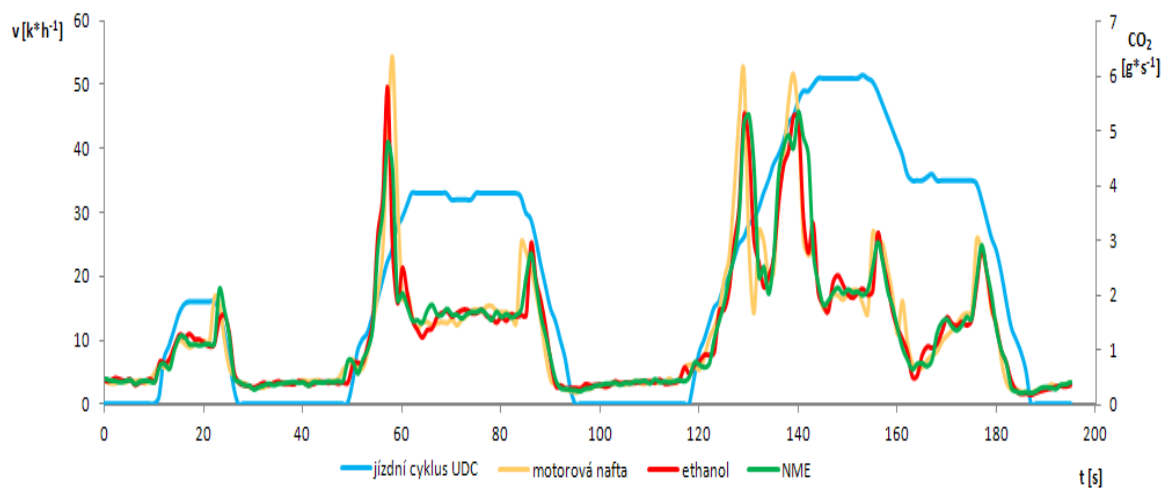
Graf č. 2: Celková produkce emisí NO_x v jízdním cyklu UDC



Zdroj: Vlastní práce

Emise CO₂ nejsou ve své podstatě škodlivé, ale patří mezi skleníkové plyny, proto je nutná jejich regulace a snižování. Přítomnost emisí CO₂ značí dokonalé spálení paliva, takže ve své podstatě je to ukazatel dokonalého spalování.

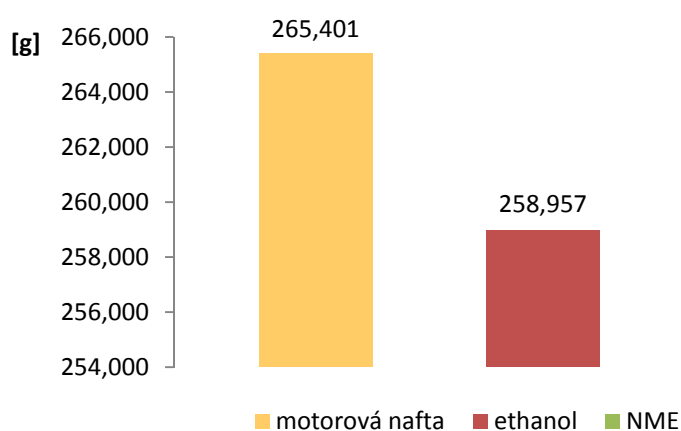
Graf č. 3: Porovnání produkce emisí CO₂ v jízdním cyklu UDC



Zdroj: Vlastní práce

Z předchozího grafu je patrné, že produkce CO₂ narůstá při akceleraci, při větší dodávce paliva. Při ustálené rychlosti jsou produkce opět poměrně vyrovnané, ale pokud vozidlo akceleruje, tak v produkci CO₂ dominuje motorová nafta, špičkové hodnoty dosahují přibližně stejné hodnoty a objevují se ve třech časech v 60, 130, 140 sekundě. Přestože produkce CO₂ u etanolu se pohybuje místo ve vyšších nebo stejných hodnotách než směs motorové nafty etanolu a MEŘO, tak dosahuje nejmenších hodnot. V následujícím grafu jsou uvedeny výsledky celkové produkce CO₂.

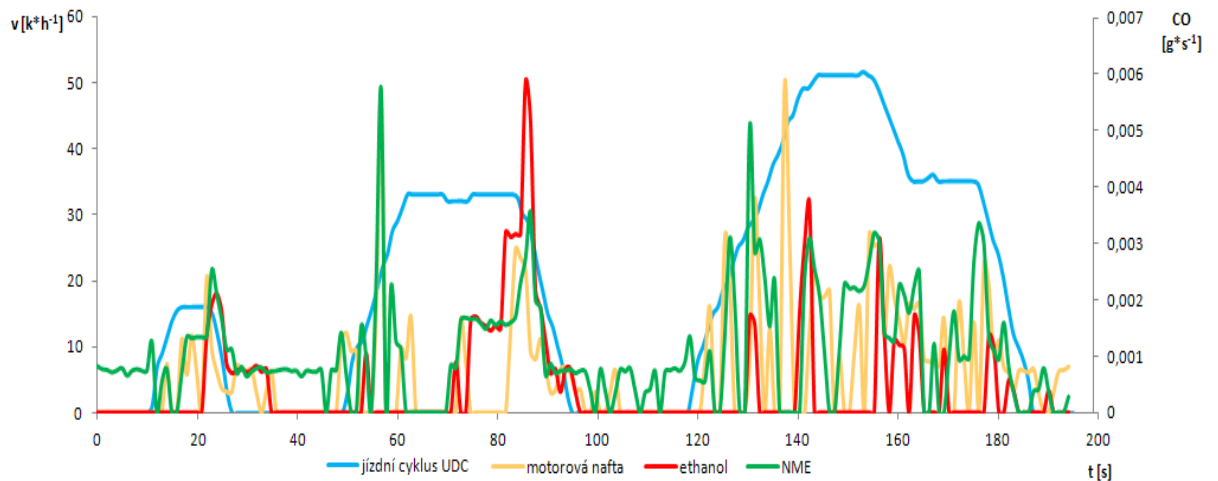
Graf č. 4: Celková produkce emisí CO₂ v jízdním cyklu UDC



Zdroj: Vlastní práce

Koncentrace emisí CO u vznětového motoru jsou ve srovnání se zážehovým motorem desetinné. Vznětový motor pracuje s přebytkem vzduchu a případně vzniklý CO zreaguje s přítomným kyslíkem na CO₂. Větší koncentrace CO vznikají při velkém zatížení motoru, ale to se dříve projeví kouřivostí na kterou je nastaven maximální doraz regulační tyče vstřikovacího čerpadla pro dodávku paliva. V následujícím grafu jsou na rozdíl od ostatních průběhů emisních složek průběhy značně odlišné. Všechny tři paliva dosahují stejných maximálních hodnot, nicméně každé v jiném čase. Charakteristický nárůst emisí je zaznamenán při poslední akceleraci vozidla během testu, zde se všechny složky zvyšují v závislosti na zvyšující se rychlosti. V následujícím grafu je znázorněn průběh emisí CO.

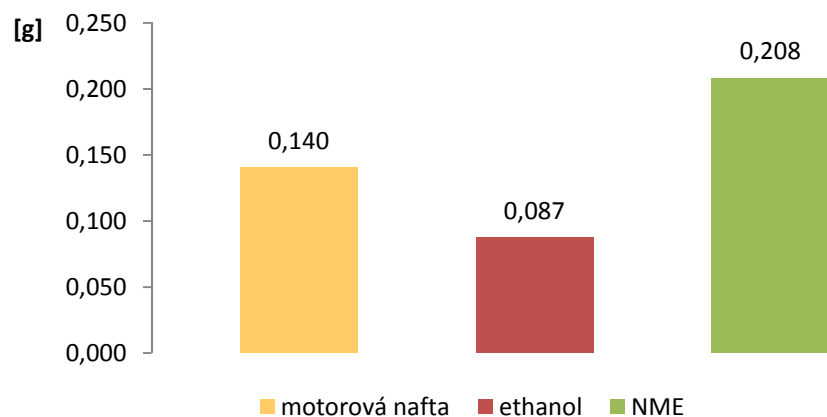
Graf č. 5: Porovnání produkce emisí CO v jízdním cyklu UDC



Zdroj: Vlastní práce

Z výše uvedeného grafu vyplývá, že v největší produkci CO převládá směs motorové nafty etanolu a MEŘO. Směs etanolu a motorové nafty vychází opět jako nejlepší palivo v produkci CO, což potvrzuje i následný graf celkové produkce CO.

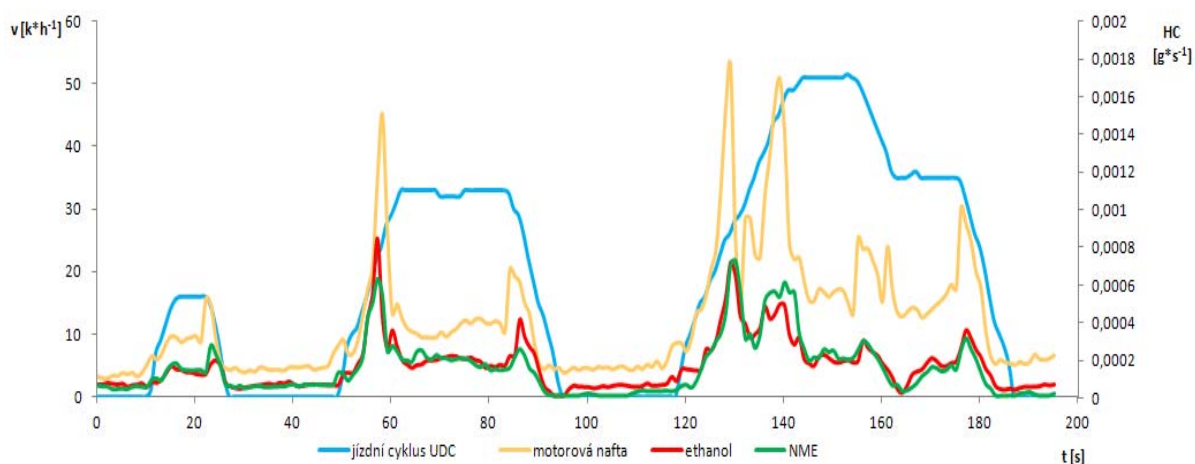
Graf č. 6: Celková produkce emisí CO v jízdním cyklu UDC



Zdroj: Vlastní práce

Produkce HC je ukazatelem nedokonalého spalovacího procesu. Vznik je podmíněn mnoha vlivy, jako jsou teplotní režimy motoru, konstrukce spalovacího prostoru, bohatost směsi. Emise HC vznikají z dříve ukončených chemických reakcí (nedokonalé oxidace), nejčastěji při ochlazení směsi u chladnější stěny válce. Vznětové motory pracují s větším přebytkem vzduchu, a proto jsou i větší koncentrace emisí HC. V následujícím grafu je znázorněna produkce HC.

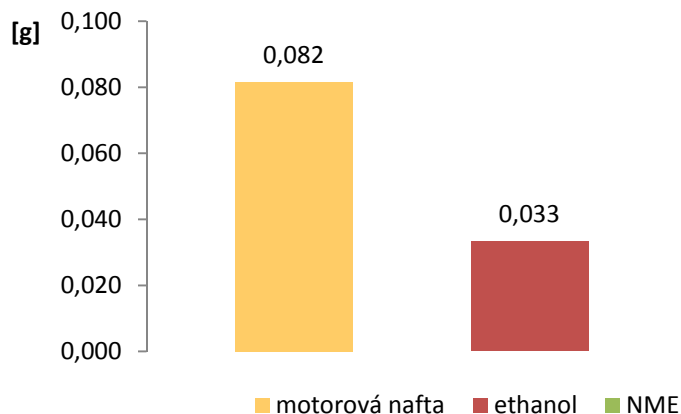
Graf č. 7: Porovnání produkce emisí HC v jízdním cyklu UDC



Zdroj: Vlastní práce

Z výše uvedeného grafu vyplývá, že motorová nafta značně převyšuje zbylá dvě paliva. V celém rozsahu grafu jsou hodnoty produkce HC u motorové nafty vyšší. Produkce směsí etanolu s naftou a etanolu a MEŘO s naftou jsou téměř srovnatelné, ale etanol se tentokrát ukázal jako horší směs a nejlépe je vyhodnocená směs motorové nafty etanolu a MEŘO. V následujícím grafu jsou podrobněji zobrazeny celkové produkce emisí HC.

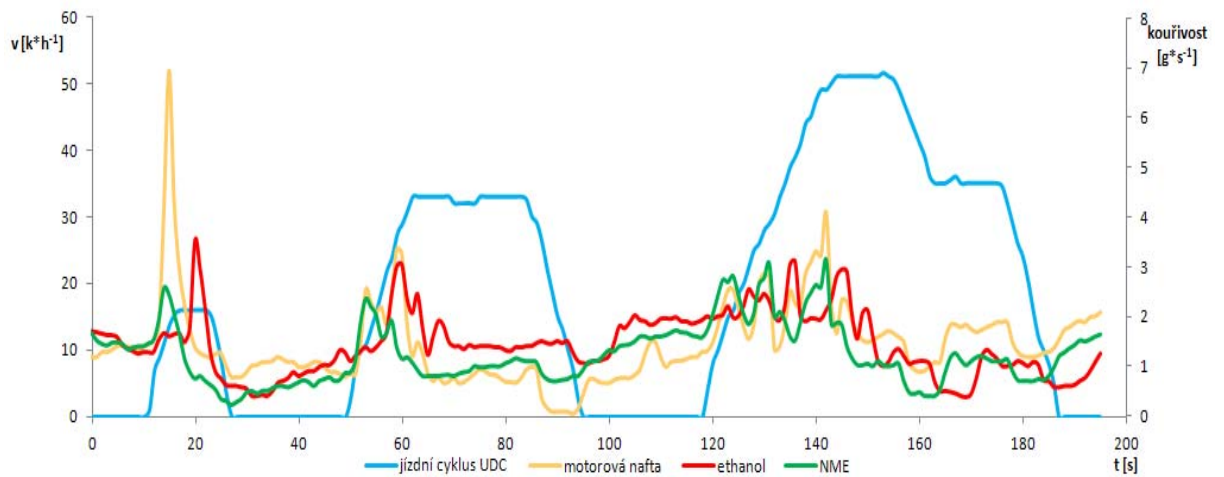
Graf č. 8: Celková produkce emisí HC v jízdním cyklu UDC



Zdroj: Vlastní práce

Kouřivost vzniká při nedostatku vzduchu při spalování nebo při extrémní dávce paliva. Pro UDC cyklus je charakteristické nízké zatížení motoru a tím je možný vznik kouřivosti při nedostatku vzduchu při spalování. Kouřivost také ovlivňuje používané palivo. V následujícím grafu je zobrazen průběh kouřivosti motoru.

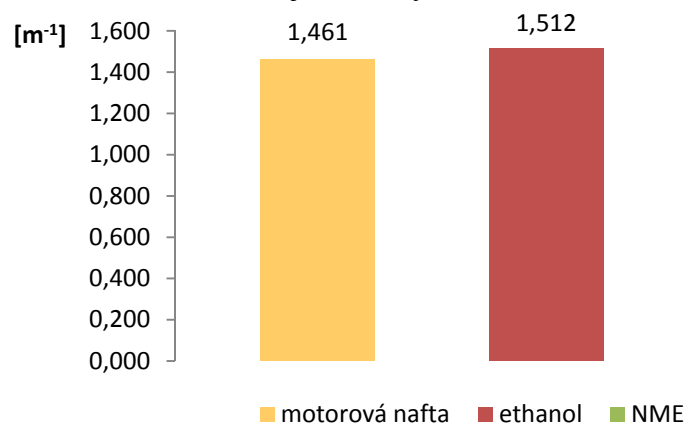
Graf č. 9: Porovnání produkce kouřivosti v jízdním cyklu UDC



Zdroj: Vlastní práce

Z výše uvedeného grafu vyplývá, že všechny použité paliva mají zvýšené hodnoty kouřivosti a mají vzestupnou tendenci při akceleraci vozidla. Motorová nafta i přes extrémní hodnotu způsobenou pravděpodobně zbytkovými sazemi ve výfukové soustavě, které se při akceleraci uvolnily, nevykazuje nejvyšší hodnoty kouřivosti, ale jako nejhorší palivo je směs motorové nafty a etanolu. Jako nejlepší palivo je v tomto případě směs motorové nafty a etanolu a MEŘO. V následujícím grafu jsou detailněji zobrazeny jednotlivé kouřivosti použitých paliv.

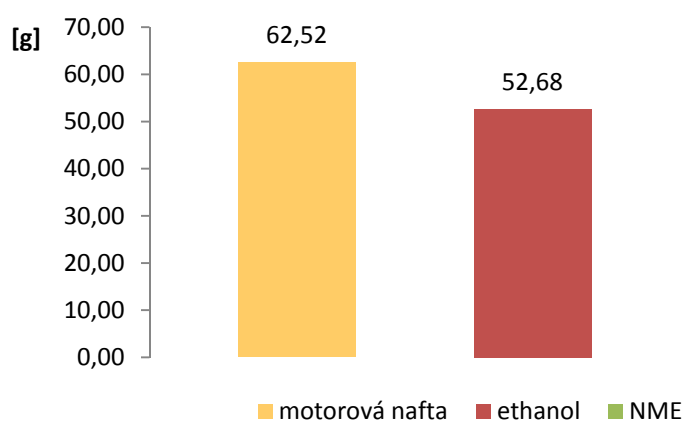
Graf č. 10: Průměrná kouřivost v jízdním cyklu UDC



Zdroj: Vlastní práce

Jako poslední ukazatel vlivu přidání etanolu a MEŘO do motorové nafty je spotřeba paliva. Při simulaci jízdy v městské zástavbě není motor tolik zatěžován a nemá takovou spotřebu. Dle teoretické části etanol a MEŘO mají menší výhřevnost než motorová nafta, proto lze předpokládat, že směsi motorové nafty s alternativními palivy budou vykazovat vyšší spotřebu. Nicméně měření prokázalo, že nejvyšší spotřeba je u motorové nafty a směsi etanolu s naftou a etanolu a MEŘO s naftou jsou výrazně nižší. Nejnižší spotřebu má tedy směs motorové nafty etanolu a MEŘO jak dokládá následující graf.

Graf č. 11: Celková spotřeba paliva v jízdním cyklu UDC



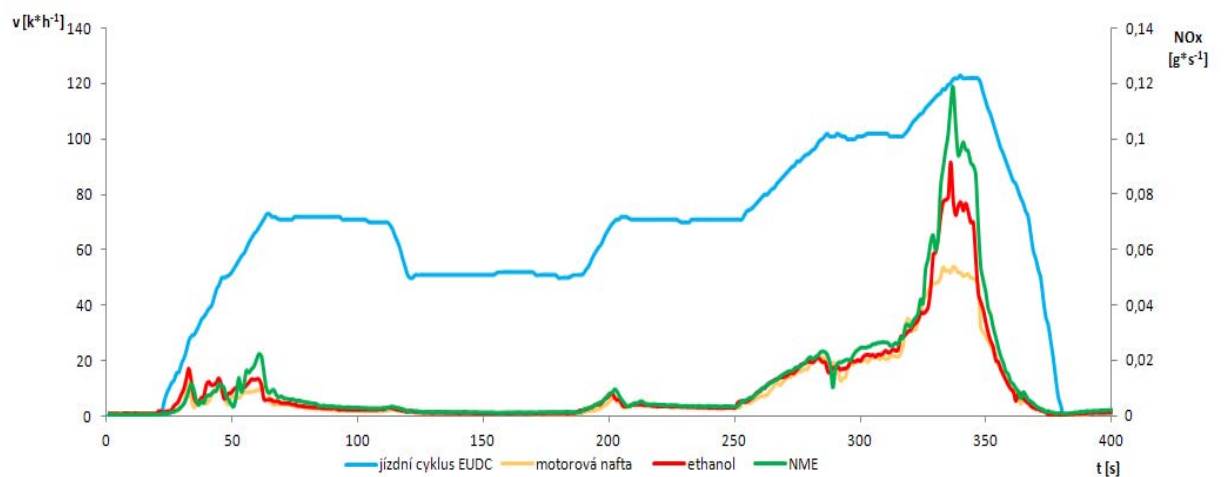
Zdroj: Vlastní práce

4.3.2 Měření emisí v EUDC cyklu

Mimoměstský cyklus trvá přibližně dvounásobnou dobu než městský cyklus. Motor je zde více zatěžován a akceleruje čtyřikrát. V testu je snaha i o simulaci jízdy po dálnici, maximální dosažená rychlost je $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Emise jsou produkované ve větší míře než v městském cyklu, to je dáno delší dobou testu a větším zatížením motoru.

V následujícím grafu jsou uvedeny emise NO_x . Všechny paliva produkují emise NO_x v rychlostech do $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ srovnatelně. Nárůst se projevuje až při akceleraci na maximální rychlost a projevuje se zde i odlišný průběh produkce emisí jednotlivých paliv.

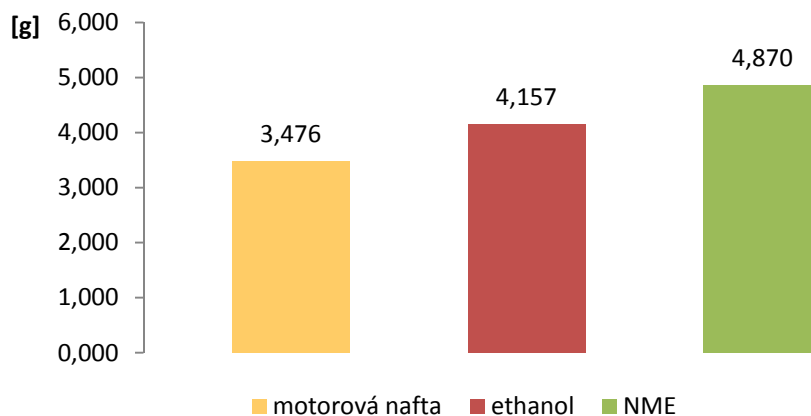
Graf č. 12: Porovnání produkce emisí NO_x v jízdním cyklu EUDC



Zdroj: Vlastní práce

Největší produkci emisí NOx produkuje směs motorové nafty etanolu a MEŘO, jako nejlepší z hlediska produkce NOx je motorová nafta. V městském jízdním cyklu nejnižší produkci NOx ovšem vykazoval etanol s motorovou naftou. V níže uvedeném grafu jsou blíže znázorněny produkce NOx jednotlivých paliv.

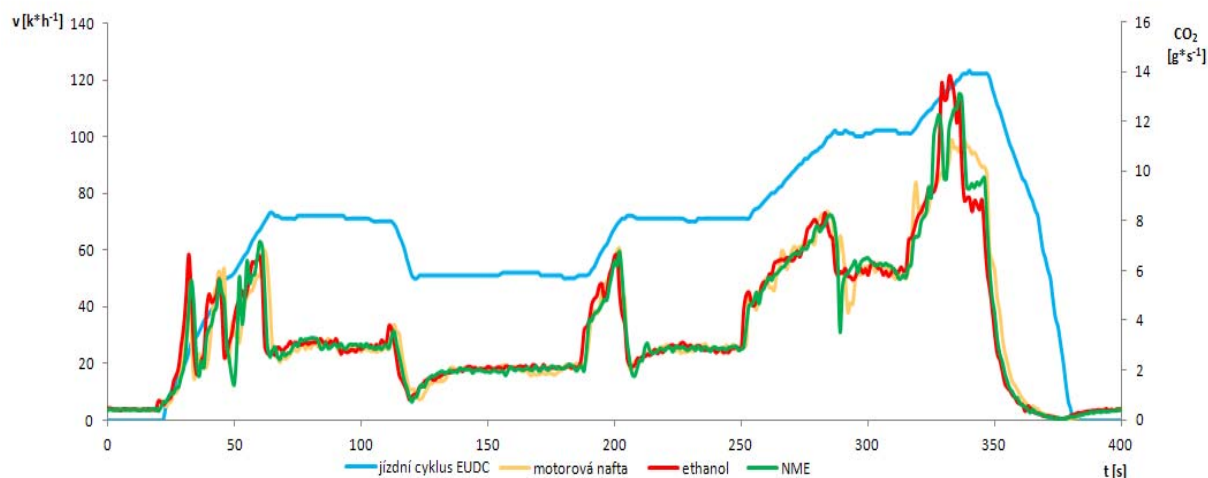
Graf č. 13: Celková produkce emisí NOx v jízdním cyklu EUDC



Zdroj: Vlastní práce

Produkce CO₂ je zobrazena v následujícím grafu. Nárůst produkce kopíruje akcelerační úseky vozidla, paliva opět vykazují srovnatelnou produkci CO₂, pouze v úseku maximální rychlosti jsou patrné rozdíly.

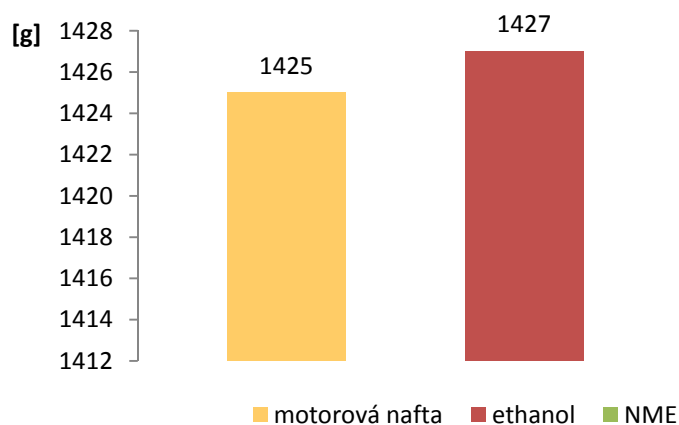
Graf č. 14: Porovnání produkce emisí CO₂ v jízdním cyklu EUDC



Zdroj: Vlastní práce

V úseku kde je dosaženo maximální rychlosti produkci CO₂ vyniká směs motorové nafty s etanolem, nicméně rozdíl není výrazný. Emise CO₂ vyprodukované etanolem jsou nejvyšší, kdyžto v městském cyklu jsou nejnižší. Směs motorové nafty etanolu a MEŘO se projevila v tomto testu jako nejpříznivější vzhledem k produkci CO₂. I když v městském cyklu dosahovala nejnižších hodnot v produkci CO₂ motorová nafta. Následující graf zobrazuje konkrétní celkové produkce emisí CO₂ v mimoměstském cyklu.

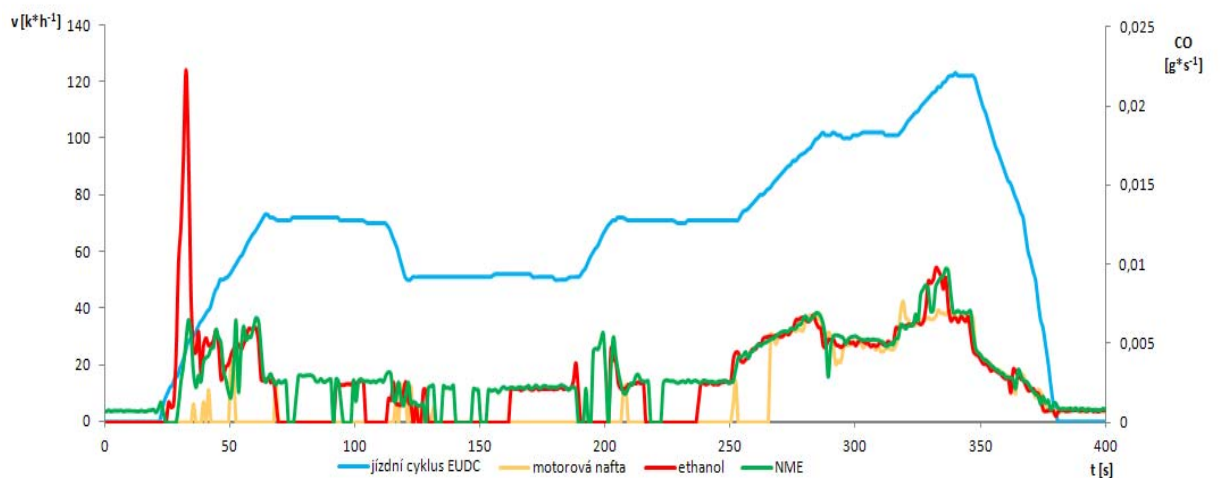
Graf č. 15: Celková produkce emisí CO₂ v jízdním cyklu EUDC



Zdroj: Vlastní práce

Emise použitých paliv CO nejsou v EUDC cyklu tak rozdílné jako v UDC cyklu a rovněž kopírují nárůst zatížení motoru jako v předchozích případech.

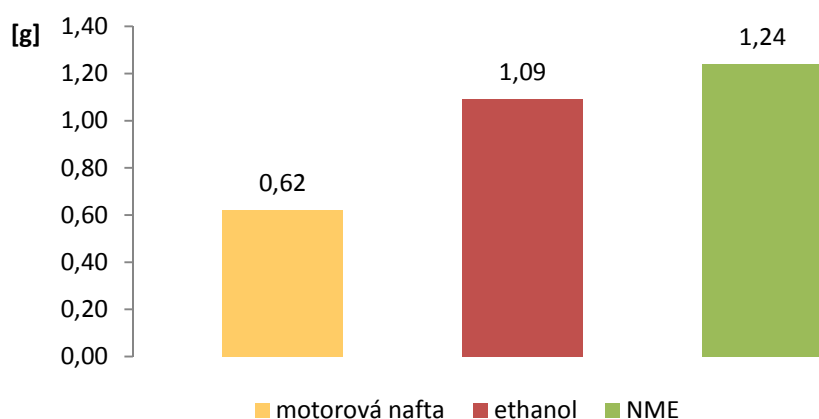
Graf č. 16: Porovnání produkce emisí CO v jízdním cyklu EUDC



Zdroj: Vlastní práce

V předchozím grafu směs motorové nafty a etanolu ze začátku má velmi výraznou produkci CO, tuto špičkovou hodnotu lze přisoudit chybnému vyhodnocení analyzátoru. Nicméně nejvíce emisí CO produkuje směs motorové nafty etanolu a MEŘO. V městském cyklu právě směs motorové nafty etanolu a MEŘO produkovala nejméně emisí CO. Pro mimoměstskou jízdu je tedy nejvhodnější motorová nafta, což dokládá následující graf.

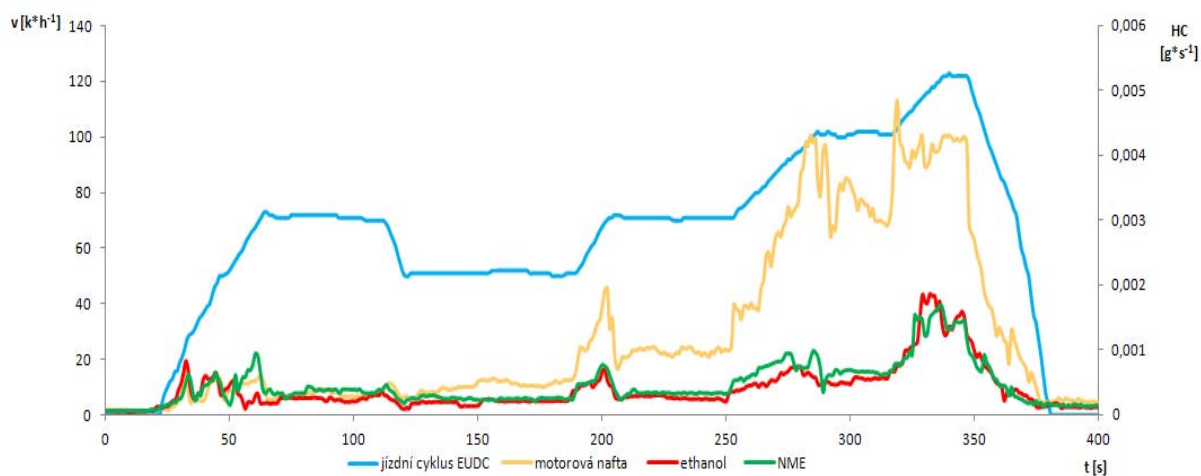
Graf č. 17: Celková produkce emisí CO v jízdním cyklu EUDC



Zdroj: Vlastní práce

V níže uvedeném grafu jsou uvedeny produkce emise HC testovaných paliv. Motorová nafta výrazně převyšuje ostatní paliva v produkci HC. Zbylá dvě paliva jsou srovnatelná svou produkcí HC.

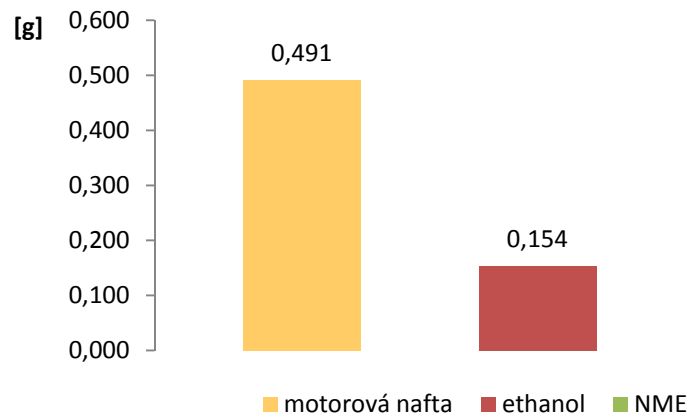
Graf č. 18: Porovnání produkce emisí HC v jízdním cyklu EUDC



Zdroj: Vlastní práce

Motorová nafta produkuje více než dvojnásobně více emisím HC v porovnání s ostatními palivy. V městském cyklu rovněž dominovala motorová nafta v produkci HC. Nejnižší produkci vykazuje tentokrát směs etanolu s motorovou naftou. Níže uvedený graf zobrazuje celkové produkce HC.

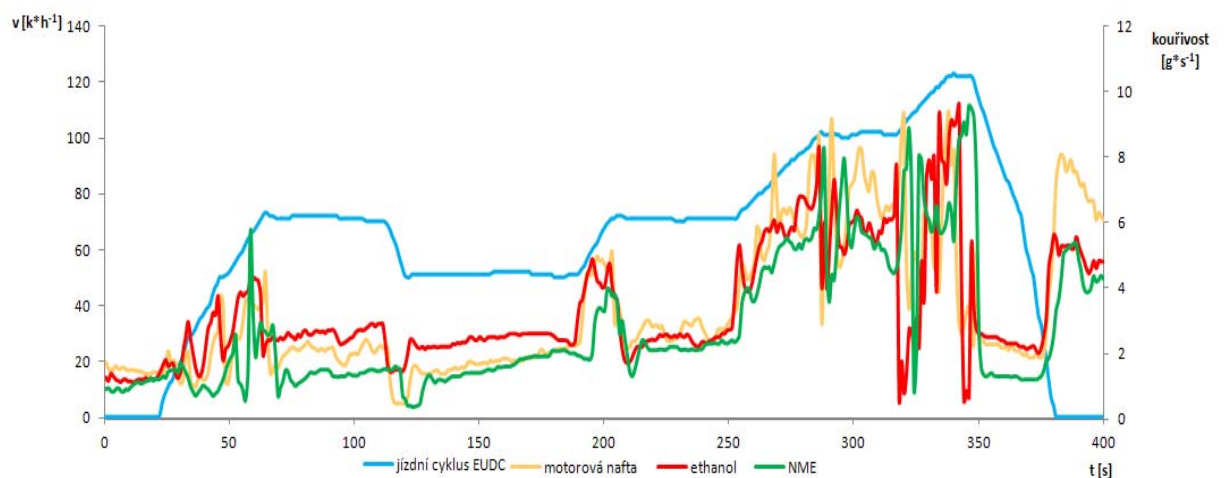
Graf č. 19: Celková produkce emisí HC v jízdním cyklu EUDC



Zdroj: Vlastní práce

Hodnoty kouřivosti zaznamenané v EUDC cyklu zobrazuje níže uvedený graf. Křivky kouřivosti jednotlivých paliv mají velmi odlišné průběhy jak ve srovnání s UDC cyklem tak i ve srovnání mezi jednotlivými palivy. Hlavní rozdíly jsou v maximálním zatížení v průběhu testu.

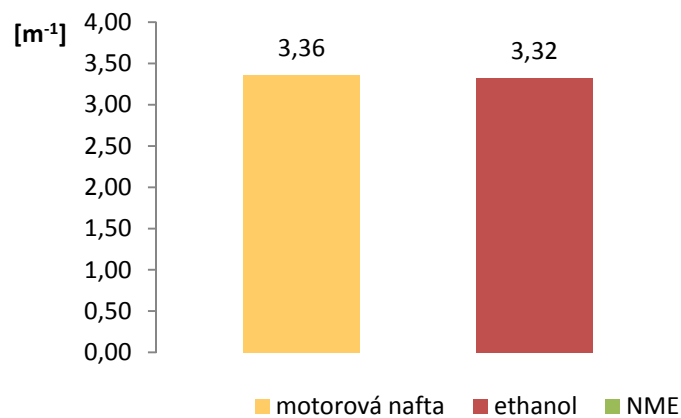
Graf č. 20: Porovnání produkce emisí kouřivosti v jízdním cyklu EUDC



Zdroj: Vlastní práce

Hodnoty kouřivosti začínají stoupat již při první akceleraci testu a mají progresivní tendenci v průběhu testu, při konečné fázi testu vykazuje kouřivost zvýšené hodnoty, což vyplývá z mechanismu tvorby kouřivosti. Motorová nafta vykazuje nejvyšší hodnoty kouřivosti, nicméně produkce kouřivosti palivové směsi motorové nafty s etanolem jsou srovnatelné. V UDC cyklu byla nejhorší z hlediska kouřivosti právě směs motorové nafty s etanolem. Směs motorové nafty s etanolem a MEŘO vychází nejlépe v obou testech z hlediska kouřivosti.

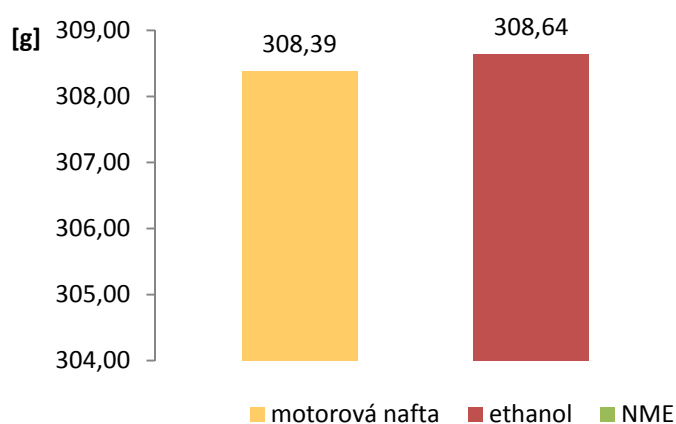
Graf č. 21: Průměrná kouřivost v jízdním cyklu EUDC



Zdroj: Vlastní práce

Posledním ukazatelem měření v mimoměstském cyklu je spotřeba paliva. V tomto cyklu je motor více zatížen, akceleruje se delší časový úsek, proto se zvyšuje i spotřeba paliva. V městském cyklu byl vyvrácen předpoklad, že z důvodů nižší výhřevnosti bude zaznamenán nárůst spotřeby. Při mimoměstském cyklu lze předchozí tvrzení vyvrátit pouze částečně. I když jsou spotřeby paliva poměrně srovnatelné, tak pouze směs motorové nafty a etanolu převyšuje ve spotřebě čistou motorovou naftu. Naopak směs motorové nafty etanolu a MEŘO vykazuje nižší spotřebu než motorová nafta. Jak dokládá níže uvedený graf celkové spotřeby paliva.

Graf č. 22: Celková spotřeba paliva v jízdním cyklu EUDC



Zdroj: Vlastní práce

V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé hodnoty emisí a spotřeby naměřené v městském cyklu. Jako nejvhodnější palivo s ohledem na nebezpečnost jednotlivých emisních složek je směs motorové nafty s etanolem. I když nemá nejnižší spotřebu a emise HC a kouřivosti. Emise HC jsou vzhledem k NO_x nebo CO₂ produkované v daleko menším množství.

Tab. č. 9: Souhrnné výsledky z UDC cyklu

	UDC					
	spotřeba (g)	CO (g)	CO ₂ (g)	NO _x (g)	HC (g)	kouř (l/m)
Motorová nafta	62,52	0,14	265	0,267	0,082	1,46
Motorová nafta a etanol	52,68	0,09	259	0,247	0,033	1,51
Motorová nafta etanol a MEŘO	50,70	0,21	262	0,284	0,031	1,25

Zdroj: Vlastní práce

V níže uvedené tabulce jsou uvedeny souhrnné výsledné hodnoty naměřené v mimoměstském jízdním cyklu. Na základě zjištěných hmotnostních toků jsou testovaná paliva v produkci CO₂ srovnatelná, při porovnání ostatních emisních složek nelze jednoznačně určit nejvhodnější palivo. Jako kompromis mezi všemi hodnotami je vhodné používat zejména v častém mimoměstském provozu čistou motorovou naftu. I když nevykazuje nejnižší spotřebu, ale s ohledem na produkci emisí lze toto palivo označit jako nejvíce ekologické z pohledu množství a nebezpečnosti produkce jednotlivých emisních složek.

Tab. č. 10: Souhrnné výsledky z EUDC cyklu

	EUDC					
	spotřeba (g)	CO (g)	CO ₂ (g)	NOX (g)	HC (g)	kouř (1/m)
Motorová nafta	308,39	0,62	1425	3,476	0,491	3,36
Motorová nafta a etanol	308,64	1,09	1427	4,157	0,154	3,32
Motorová nafta etanol a MEŘO	306,00	1,24	1418	4,870	0,180	2,76

Zdroj: Vlastní práce

5 Závěr

Tato práce se zabývá problematikou vlivu přidání alternativních paliv do motorové nafty z hlediska produkce emisí a spotřeby paliva. Práce obsahuje dvě hlavní části – teoretickou část a praktickou část. Pro praktickou část byla použita tři paliva – motorová nafta; motorová nafta s 5 % etanolu; motorová nafta s 5 % etanolu a s 5 % MEŘO.

Teoretická část se zabývá výrobou motorové nafty a benzínu z ropy, zahrnuje také problematiku aditivace motorové nafty obsahující MEŘO. Další část teorie je věnována alternativním palivům, zejména výrobě a parametrům paliva, konkrétně etanolu a MEŘO. Poslední část teorie popisuje problematiku emisí spalovacího motoru – vznik, popis jednotlivých emisních složek a přístroji pro měření emisí.

Praktická část je rozčleněna na popis použitých měřících zařízení, charakteristiku jízdních cyklů použitých při měření a samotné vyhodnocení výsledků. Výsledky experimentu lze porovnávat z různých hledisek. Pokud porovnáme oba jízdní cykly – městského a mimoměstského dojdeme k logickému závěru, že produkce emisí a spotřeba paliva v mimoměstském cyklu je citelně vyšší než u městského cyklu, z důvodů déle trvajících měření a více akcelerací vozidla. Zajímavější je porovnání samotných paliv z hlediska produkce jednotlivých emisních složek. Pokud posoudíme nejprve jako první městský cyklus, tak lze na základě zjištěných produkcí emisních složek říci, že nejvhodnější palivo pro převážně městské podmínky je směs motorové nafty a etanolu. Tato směs ovšem nevykazuje nejnižší produkci emisí u všech složek. Zvolením tohoto paliva jako nejpříznivější je na základě posouzení míry škodlivosti jednotlivých emisních složek. Směs motorové nafty a etanolu nevykazuje nejnižší spotřebu paliva a produkci kouřivosti. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty produkce emisí a spotřeby paliva u všech použitých paliv v městském cyklu.

Tab. č. 9: Souhrnné výsledky z UDC cyklu

	UDC					
	spotřeba (g)	CO (g)	CO ₂ (g)	NOX (g)	HC (g)	kouř (1/m)
Motorová nafta	62,52	0,14	265	0,267	0,082	1,46
Motorová nafta a etanol	52,68	0,09	259	0,247	0,033	1,51
Motorová nafta etanol a MEŘO	50,70	0,21	262	0,284	0,031	1,25

Zdroj: Vlastní práce

Pokud budeme posuzovat paliva v mimoměstském cyklu tak opět nejvhodnější palivo nevykazuje u všech sledovaných veličin nejnižší hodnoty. V případě, že přihlídneme k míře nebezpečí jednotlivých emisních složek, dojdeme k závěru, že nejvhodnější palivo pro mimoměstský jízdní cyklus je čistá motorová nafta. I přesto že nemá nejnižší spotřebu a produkci kouřivosti. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty produkce emisí a spotřeby paliva všech paliv v mimoměstském jízdním cyklu.

Tab. č. 10: Souhrnné výsledky z EUDC cyklu

	EUDC					
	spotřeba (g)	CO (g)	CO ₂ (g)	NOX (g)	HC (g)	kouř (1/m)
Motorová nafta	308,39	0,62	1425	3,476	0,491	3,36
Motorová nafta a etanol	308,64	1,09	1427	4,157	0,154	3,32
Motorová nafta etanol a MEŘO	306,00	1,24	1418	4,870	0,180	2,76

Zdroj: Vlastní práce

Zajímavým poznatkem z naměřených hodnot jsou spotřeby paliv u obou jízdních cyklů. Spotřeba paliva u směsí motorové nafty a alternativních paliv by měla být větší než u čisté motorové nafty z důvodů nižší výhřevnosti alternativních paliv, ale výsledky z měření toto vyvracejí.

Alternativní paliva jsou poměrně stále nová paliva a je zde prostor pro zdokonalování. Při současném trendu získávání energie z obnovitelných zdrojů lze předpokládat stále větší využívání alternativních paliv v dopravě. Toto je podmět i pro výrobce a vývojáře vozidel, jak zdokonalit proces spalování alternativních paliv a tím snížit emise a spotřebu. V dnešní době nelze označovat alternativní paliva jako méně cenná, protože při neustálém vývoji jsou srovnatelná svými parametry s konvenčními palivy.

6 Seznam použitých a souvisejících pramenů

- [1] Vlk, F.: Paliva a maziva motorových vozidel, Nakladatelství Vlk, Brno, 2006, ISBN 80-239-6461-5
- [2] ochranamotoru. *ochranamotoru.cz* [online]. [cit. 2014-08-13]. Dostupné z: <http://aditiva.ochranamotoru.cz/motorova-olejova-aditiva-flashlube-vif-vap-saver-ekolube.php> cit.
- [3] Česká rafinerska. *ceskarafinerska.cz* [online]. [cit. 2014-08-13]. Dostupné z: <http://www.ceskarafinerska.cz/cz/motorova-nafta.aspx>
- [4] Matějovský, V.: Automobilová paliva, 1. vydání, Praha: Grada, 2005. 223s. ISBN 80-247-0350-5.
- [5] petroleum. *petroleum.cz* [online]. [cit. 2014-09-06]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/slovník.aspx?pid=74>
- [6] autolexicon. *autolexicon.net* [online]. [cit. 2014-09-06]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/cetanove-cislo/>
- [7] Jan, Z. Ždánský, B.: Automobily 4 Příslušenství, 5. přepracované vydání, Nakladatelství Avid s.r.o Brno, 2007 ISBN 978-80-903671-8-0
- [8] Hromádko, J. Hromádko, J. Hönig, V. Miler, P.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0
- [9] Kameš, J.: Fosilní paliva, Praha, 2012, ISBN 978-80-260-3499-5
- [10] Zehnálek, J.: Chemie, paliva, maziva, Brno 2005, ISBN 80-7157-900-9
- [11] petroleum. *petroleum.cz* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-01.aspx>
- [12] Organization of the Petroleum Exporting Countries. *opec.org* [online]. [cit. 2015-01-04] Dostupné z: http://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/press_room/Claude_Mandil.pdf
- [13] ČSN EN 590 *Motorová paliva – Motorové nafty – technické požadavky a metody zkoušení*. Praha Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. ICS 75.160.20.
- [14] Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů, Vydavatelství ČVUT, Žitná 4, Praha 6, Praha 1997 ISBN 80-01-01632-3
- [15] Kameš, J.: Alternativní pohony automobilů, Nakladatelství BEN, Praha 2004, ISBN 80-7300-127-6

- [16] autolexicon.*autolexicon.net*[online]. [cit. 2015-01-06]. Dostupné z:
<http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- [17] Hromádka, J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony, Nakladatelství Grada, Praha, 2012, ISBN 978-80-247-4455-1
- [18] Pokorný, Z.: Bionafta ekologické alternativní palivo do vznětových motorů, Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 1998 ISBN 80-7105-173-X
- [19] Brož, K. Šourek, B.: Alternativní zdroje energie, Vydavatelství ČVUT Praha 6 2003, ISBN 80-01-02802-X
- [20] Česká rafinérská.*crc.cz*[online]. [cit. 2015-02-03]. Dostupné z:
<http://www.crc.cz/cz/automobilove-benziny.aspx>
- [21] Vlk, F.: Vozidlové spalovací motory, Brno 2003, ISBN 80-238-8756-4
- [22] Anděl, M. Kuba, P.: 5. mezinárodní seminář TECHAGRO 2002 Methylestery mastných kyselin a směsné palivo, ČZU 2002, ISBN 80-213-0892-3
- [23] Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.*jcu.cz*[online]. [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/Bioetanol.htm> cit 10-02-2015
- [24] Papoušek, M.: Diagnostika spalovacích motorů, Praha 1976, Nakladatelství SNTL
- [25] Grečenko, A.: Motory a vozidla, Nakladatelství ČVUT, Praha 2011, ISBN 978-80-7414-331-1
- [26] Kameš, J.: Spouštění vznětových motorů za nízkých teplot, ČZU TF, Praha 2012, ISBN 978-80-260-3068-3
- [27] sustainable energy authority of ireland.*seai.ie*[online]. [cit. 2015-02-10]. Dostupné z:
http://www.seai.ie/images_upload/Grants/Electric_Vehicle_Grant_Scheme/I_am_a_consumer/EV_Range_and_Fuel_Efficiency/Figure%202.jpg

SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK

Seznam obrázků

Obrázek: 1. Blokové schéma obvyklého zpracování z atmosférické destilace ropy	3
Obrázek: 2 Celková spotřeba konvenční ropy a zemního plynu	4
Obrázek: 3 Těžba a spotřeba ropy v dopravě	4
Obrázek: 4 Podíl automobilů poháněných motorovou naftou	5
Obrázek: 5 Vliv cetanového čísla na průběh hoření	8
Obrázek: 6 Obecné technologické schéma výroby MEŘO a jeho komplexní využití, včetně vedlejších produktů	12
Obrázek: 7 Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry	15
Obrázek: 8 Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob	15
Obrázek: 9 Schéma výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy	16
Obrázek: 10 Produkce emisí vznětového motoru v závislosti λ	19
Obrázek: 11 Účinek CO na lidský organismus	20
Obrázek: 12 Celosvětový vývoj produkce CO ₂ způsobený dopravou	21
Obrázek: 13 Infraanalyzátor	22
Obrázek: 14 Analyzátor využívající absorpci ultrafialového záření	23
Obrázek: 15 Schéma kouřoměru Hartridge HR-140	24
Obrázek: 16 NDIR Analyzátor VMK	28
Obrázek: 17 Testované vozidlo na válcové zkušebně	29
Obrázek: 18 Jízdní cyklus NEDC	30

Seznam grafů

Graf: 1 Porovnání produkce emisí NO _x v jízdním cyklu UDC	31
Graf: 2 Celková produkce emisí NO _x v jízdním cyklu UDC	32
Graf: 3 Porovnání produkce emisí CO ₂ v jízdním cyklu UDC	32
Graf: 4 Celková produkce emisí CO ₂ v jízdním cyklu UDC	33
Graf: 5 Porovnání produkce emisí CO v jízdním cyklu UDC	34
Graf: 6 Celková produkce emisí CO v jízdním cyklu UDC	34
Graf: 7 Porovnání produkce emisí HC v jízdním cyklu UDC	35
Graf: 8 Celková produkce emisí HC v jízdním cyklu UDC	35
Graf: 9 Porovnání produkce kouřivosti v jízdním cyklu UDC	36
Graf: 10 Průměrná kouřivost v jízdním cyklu UDC	36
Graf: 11 Celková spotřeba paliva v jízdním cyklu UDC	37
Graf: 12 Porovnání produkce emisí NO _x v jízdním cyklu EUDC	38

Graf: 13 Celková produkce emisí NO _x v jízdním cyklu EUDC.....	39
Graf: 14 Porovnání produkce emisí CO ₂ v jízdním cyklu EUDC.....	39
Graf: 15 Celková produkce emisí CO ₂ v jízdním cyklu EUDC.....	40
Graf: 16 Porovnání produkce emisí CO v jízdním cyklu EUDC.....	40
Graf: 17 Celková produkce emisí CO v jízdním cyklu EUDC.....	41
Graf: 18 Porovnání produkce emisí HC v jízdním cyklu EUDC.....	41
Graf: 19 Celková produkce emisí HC v jízdním cyklu EUDC.....	42
Graf: 20 Porovnání produkce emisí kouřivosti v jízdním cyklu EUDC.....	42
Graf: 21 Průměrná kouřivost v jízdním cyklu EUDC.....	43
Graf: 22 Celková spotřeba paliva v jízdním cyklu EUDC.....	44

Seznam tabulek

Tabulka: 1 Elementární složení ropy.....	2
Tabulka: 2 Dělení motorové nafty podle tepelných vlastností.....	6
Tabulka: 3 Porovnání parametrů motorové nafty, MEŘO a řepkového oleje.....	12
Tabulka: 4 Srovnání základních parametrů bioetanolu, automobilového benzínu a motorové nafty.....	17
Tabulka: 5 Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO.....	18
Tabulka: 6 Parametry motoru zkoušeného vozidla.....	26
Tabulka: 7 Parametry válcové zkušebny.....	27
Tabulka: 8 Parametry NDIR analyzátoru VMK.....	28
Tabulka: 9 Souhrnné výsledky z UDC cyklu.....	44
Tabulka: 10 Souhrnné výsledky z EUDC cyklu.....	45

SEZNAM PŘÍLOH

BIBLIOGRAFICKÉ ÚDAJE

Jméno autora: Vladimír Sekera

Obor: Silniční a městská automobilová doprava

Forma studia: prezenční

Název práce: Vliv přidání etanolu a MEŘO do motorové nafty

Rok: 2015

Počet stran textu bez příloh: 47

Celkový počet stran příloh: 0

Počet titulů českých použitých zdrojů: 17

Počet titulů zahraničních použitých zdrojů: 0

Počet internetových zdrojů: 9

Počet ostatních zdrojů: 0

Vedoucí práce: Ing. Petr Miler Ph. D.