

Mendelova univerzita v Brně
Institut celoživotního vzdělávání
Oddělení expertního inženýrství

Snižování emisí spalovacích motorů pomocí biopaliv
Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:
Ing. Adam Polcar, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Petr Baka

Brno 2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Petr Baka**
Studijní program: Technické znalectví a expertní inženýrství
Obor: Technické znalectví a expertní inženýrství
Konzultant: Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.
Název tématu: **Snižování emisí spalovacích motorů pomocí biopaliv**
Rozsah práce: 50-60

Zásady pro vypracování:

1. V úvodní části popište jednotlivé druhy emisí produkovaných spalovacími motory.
2. Vypracujte přehled možností snižování emisí spalovacích motorů se zaměřením na využívání biopaliv.
3. V experimentální části popište metodiku měření emisí na válcové zkušebně.
4. Věnujte se vyhodnocení naměřených hodnoty výfukových emisí z měření výstupních parametrů vozidel při jejich provozu na biopaliva.
5. Proveďte celkové zhodnocení získaných poznatků s uvedením závěrů pro praxi.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Snížování emisí spalovacích motorů pomocí biopaliv** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny 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 *Směrnici 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 o tom, 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 25. 5. 2017

Poděkování

Děkuji Ing. Adamu Polcarovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a náměty, které mi poskytl během vypracování diplomové práce a Ing. Vojtěchovi Kumbárovi Ph.D. za odborné konzultace. Dále bych chtěl poděkovat mým nejbližším za trpělivost, kterou se mnou měli při studiu a při zpracování této práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá emisemi výfukových plynů vznikajícími při provozu vozidel. V práci jsou popsány jednotlivé normy, které udávají maximální možný obsah škodlivých látek obsažených ve výfukových plynech vyráběných vozidel. V dalších kapitolách jsou popsány možnosti užití biopaliv a směsných paliv a jejich přínos v oblasti snižování emisí výfukových plynů.

V praktické části je řešeno spalování biopaliv v určitých poměrech a porovnání jednotlivých výfukových emisí vzniklých jejich spalováním. Tyto hodnoty jsou porovnány s hodnotami výfukových emisí vzniklých při spalování konvenčních automobilových paliv pro vznětové a pro zážehové motory.

Klíčová slova

etanol, emise, biopalivo, E85, MEŘO, měření parametrů

Abstrakt

This diploma thesis deals with exhaust emissions from vehicle operation. The work describes standards that indicate the maximum possible content of harmful substances contained in the exhaust gases of vehicles. In other chapters there are described possibilities of using the biofuels and blended fuels and a benefit in terms of reducing exhaust emissions.

The practical part deals with combustion of biofuels in certain proportions and comparison of individual exhaust emissions from their combustion. These values are compared with the exhaust emission values of combustion of conventional automotive fuels for diesel and spark ignition engines.

Key words

ethanol, emissions, biofuel, E85, MEŘO, measuring parameters

Obsah

Čestné prohlášení	3
Poděkování	4
Abstrakt	5
Klíčová slova	5
Abstrakt	5
Key words	5
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
1 Úvod	11
2 Cíle práce	13
2.1 Cíle teoretické části	13
2.2 Cíle praktické části	13
3 Emise motorových vozidel	14
3.1 Složení výfukových emisí	15
3.1.1 Oxid uhelnatý CO	15
3.1.2 Oxid uhličitý CO ₂	16
3.1.3 Oxid siřičitý (SO ₂)	16
3.1.4 Oxidy dusíku (NO _x)	16
3.1.5 Nespálené uhlovodíky (HC)	17
3.1.6 Pevné částice (PM)	17
3.1.7 Dusík	17
3.2 Emisní normy	17
3.2.1 Normy pro silniční vozidla	18
3.2.2	18
Normy pro nesilniční vozidla	18
3.3 Možnosti snižování výfukových emisí	21

4 Biopaliva	23
4.1 Biopaliva a legislativa.....	23
4.2 Rozdělení biopaliv	24
4.3 Biopaliva pro spalovací motory	25
4.3.1 Rostlinné oleje	25
4.3.2 Metylester mastných kyselin.....	29
4.3.3. Bionafta I. generace	30
4.3.4. Bionafta II. generace	31
4.3.5 Emulzní nafta.....	32
4.3.6 Bioetanol pro vznětové motory	33
4.3.7 Biopaliva pro zážehové motory	34
4.4 Obsah bioložek v palivech.....	37
5 Materiál a metody.....	40
5.1 Testovaný osobní automobil.....	40
5.1.1 Úprava automobilu	41
5.2 Testovaný traktor	42
5.3 Použité měřicí přístroje.....	44
5.3.1 Vozidlová zkušebna MEZ 4 VDM E120-D	44
5.3.2 Vířivý dynamometr VD 500	45
5.3.3 Zkušebna emisní analýzy Bosch ESA 3.250	46
5.3.4 Emisní zkušebna Infralit CL.....	48
5.3.5 Opacimetr Bosch RTM 430.....	49
5.3.6 Ostatní měrné hodnoty.....	49
5.4 Zpracování naměřených dat	49
5.4.1 Jmenovitá otáčková charakteristika motoru	49
5.4.2 Měření vnější otáčkové charakteristiky	50
6 Výsledky měření.....	52
6.1 Zážehový motor.....	52

6.1.1 Obsah CO.....	52
6.1.2 Obsah CO ₂	54
6.1.3 Obsah NO _x	55
6.1.4 Obsah kyslíku O ₂ ve výfukových plynech	56
6.1.5 Obsah nespálených uhlovodíků HC ve výfukových plynech.....	57
6.2 Vznětový motor	58
6.2.1 Obsah CO ₂ ve výfukových plynech.....	59
6.2.2 Obsah CO ve výfukových plynech.....	60
6.2.3 Obsah uhlovodíků C _x H _y ve výfukových plynech.....	62
6.2.4 Součinitel absorpce kouřivosti	63
6.2.5 Obsah O ₂ ve výfukových plynech.....	65
7 Diskuze.....	67
7.1 Osobní automobil	67
7.2 Traktor	68
8 Závěr.....	71
9 Seznam literatury	72

Seznam obrázků

Obr. 1- Emisní limity pro nesilniční stroje (publi.cz)	21
Obr. 2 - Zapojení palivové soustavy dvou-palivového systému (biom.cz)	26
Obr. 3 Píst motoru Elsbett (www.elsbett-museum.de)	28
Obr. 4 - Fiat Uno 1.0 Ie	40
Obr. 5 - John Deere 5080 RN	42
Obr. 6 - Schéma automobilové zkušebny (zkusebna.wz.cz)	45
Obr. 7 - Systém EMS (web2.mendelu.cz)	47
Obr. 8 - Obsah CO ve výfukových plynech	53
Obr. 9 - Obsah CO ₂ ve výfukových plynech	54
Obr. 10 Obsah NO _x ve výfukových plynech	55
Obr. 11 - Obsah kyslíku ve výfukových plynech	57
Obr. 12 - Obsah HC ve výfukových plynech	58
Obr. 13 - Obsah oxidu uhličitého ve výfukových plynech.....	60
Obr. 14 - Obsah CO ve výfukových plynech	61
Obr. 15 - Obsah C _x H _y ve výfukových plynech	63
Obr. 16 - Hodnota opacity výfukových plynů	64
Obr. 17 - Obsah kyslíku ve výfukových plynech	66

Seznam tabulek

Tab. 1- Zdroje emisí (tf.czu.cz/pexa, 2008)	14
Tab. 2 - Poměr složek ve výfukových plynech (tf.czu.cz/pexa, 2008).	15
Tab. 3 - Přehled limitů jednotlivých emisních norem Euro (www.publi.cz)	18
Tab. 4- Hodnoty emisních limitů Stage I (www.dieselnet.com)	19
Tab. 5- Hodnoty emisních limitů Stage II (www.dieselnet.com).....	19
Tab. 6 - Hodnoty emisních limitů Stage IIIA (www.dieselnet.com).....	20
Tab. 7 - Hodnoty emisních limitů Stage IIIB (www.dieselnet.com).....	20
Tab. 8 - Hodnoty emisních limitů Stage IV (www.dieselnet.com)	20
Tab. 9 - Vlastnosti motorové nafty a rostlinných olejů (Matějovský, 2004)	25
Tab. 10 – Porovnání jednotlivých složek výfukových plynů nafty a řepkového oleje (Matějovský, 2005)	
Tab. 11 - Porovnání parametrů nafty MEŘO (Matějovský, 2005).....	30
Tab. 12- Porovnání emisí MEŘO a motorová nafta (Matějovský, 2005)	31
Tab. 13- Porovnání výhod a nevýhod při použití bionafty (tf.czu.cz)	32
Tab. 14 - Vlastnosti motorové nafty a bioetanolu (Laurin, 2009)	34
Tab. 15- Vlastnosti benzínu a bioetanolu (Matějovský, 2005).....	35
Tab. 16 – Mezní hodnoty motorové nafty podle ČSN EN 590 (Matějovský, 2005)	38
Tab. 17- Parametry traktoru JohnDeere	43
Tab. 18- Technická data vozidlové zkušebny (zkusebna.wz.cz).....	44
Tab. 19- parametry vířivého dynamometru (P. Sedlák, V. Podlipný, 2001).....	46
Tab. 20 - Obsah CO ve výfukových plynech	53
Tab. 21 - Obsah CO ₂ ve výfukových plynech	54
Tab. 22 - Obsah NO _x ve výfukových plynech.....	55
Tab. 23 - Obsah O ₂ ve výfukových plynech.....	56
Tab. 24 - Obsah HC ve výfukových plynech	57
Tab. 25 - Obsah CO ₂ ve výfukových plynech	59
Tab. 26 - Obsah CO ve výfukových plynech	60
Tab. 27 - Obsah C _x H _y ve výfukových plynech.....	62
Tab. 28 - Hodnoty opacity výfukových plynů.....	63
Tab. 29 - Obsah kyslíku ve výfukových plynech	65

1 Úvod

První motory pro pohon automobilů byly zkonstruovány pro pohon na biopaliva. Rudolf Diesel představil v roce 1898 v Paříži motor, který spaloval olej z burských oříšků. Později se stal akcionářem ropné společnosti. I proto se jeho vývoj obrátil jiným směrem.

Rostlinný olej se používal až do roku 1920. Henry Ford se zaměřil na vývoj motoru na etanol vyráběný v té době z kukuřice. Objevení nových nalezišť ropy a rozvoj techniky pro její těžbu znamenalo utlumení biopaliv a přechod na kapalná paliva vyráběná z ropy.

Biopaliva se však stále používala. Ve většině případů se jednalo o směsná paliva. V meziválečném období, přesněji od roku 1922 se v Československu jako palivo pro zážehové motory používalo palivo nazvané Dynalkol. Jednalo se o směs 50 % kvasného lihu, 30 % benzenu a 20 % benzínu. Po dobrých zkušenostech se směsným palivem byl vydán zákon č. 85 Sb. z roku 1932, který ukládal přimíchávat kvasný lín do benzínu a to v množství 20 %. Díky tomu byla vyřešena každoroční nadprodukce zemědělských plodin.

Směsná paliva se v Československu používala až do roku 1950. V tomto roce byly zákonem č. 63/1950 Sb. zrušeny zákony a vyhlášky upravující přimíchávání lihu do paliva. Zároveň vznikly nové normy a vyhlášky, které upravovaly oblast výroby a použití lihu v ČR.

Další rozmach biopaliv v období dvou ropných krizí a to nejprve v letech 1973 – 1974 kdy si chtěly arabské státy pomocí ropy prosadit svou politickou vůli. Později v letech 1978 – 1979 v důsledku Irácké revoluce. Především ve Spojených státech si uvědomovali jejich závislost na zdrojích paliva z těchto států. Začaly proto podporovat výzkum v oblasti výroby a použití bionafty a bioetanolu.

V naší zemi jsme po celou dobu odebírali ropu ze Sovětského svazu a chemické závody vyráběly dvojnásobek produkce v celé ČR. Proto nebyl důvod klást důraz na vývoj biopaliv. Teprve v devadesátých letech znovu vyvstal problém ohromné nadprodukce obilovin. To vedlo k úvahám o návratu k meziválečnému období a povinném používání směsných paliv. Tento projekt se začal připravovat v roce 1996. Později byl však tento projekt zastaven.

Po celou dobu však nikdo nevěnoval pozornost vlastnostem biopaliv, zejména z pohledu ekologie. Dnes je situace zcela jiná a snižování emisí výfukových plynů je stále skloňované téma, zároveň s hledáním optimální náhrady, která by mohla nahradit stávající

paliva vyrobená z ropy. V tomto případě se přímo nabízejí biopaliva, která jsou vyrobena z obnovitelných zdrojů.

V případě snižování emisní zátěže jsou postupně zaváděny nové a přísnější emisní normy, které platí pro právě vyrobené modely automobilů. Maximální přípustné exhalace výfukových plynů musí být dosažena při použití paliva, pro které je automobil určen. To nutí výrobce automobilů k zavádění stále novějších a účinnějších metod vedoucí k jejich snižování.

2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je popsání jednotlivých složek výfukových emisí vznikajících činností spalovacích motorů a možnosti jejich snižování. Tato práce je zaměřena na biopaliva, jejichž substitucí lze snížit emise výfukových plynů.

2.1 Cíle teoretické části

Cílem teoretické části je popsat jednotlivé druhy emisí výfukových plynů produkovaných spalovacími motory. Dále vypracovat přehled možností pro jejich snižování v oblasti použití biopaliv.

2.2 Cíle praktické části

Cílem praktické části bude posouzení vlivu biopaliv na produkci výfukových plynů u zážehových a vznětových motorů. V závěru budou zhodnoceny výsledky získané měřením výfukových zplodin, vyvozeny závěry a doporučení pro využití biopaliv v praxi.

3 Emise motorových vozidel

Emise motorových vozidel lze rozdělit podle původu na vzniklé ze spalovacích procesů a nevzniklé ze spalovacích procesů. Mezi druhou skupinu lze zařadit především pevné částice vznikající otěrem brzdových částí při brzdění, opotřebením pneumatik. Do nespalovacího procesu patří hlukové emise. Hluk z automobilové dopravy se skládá ze tří složek:

- **aerodynamický hluk** – je způsoben vozidlem, při jeho pohybu ve vzduchu
- **hluk motoru**
- **hluk pneumatik** – vznikající kontaktem pneumatik s vozovkou

„Hluk z motoru převažuje při nižších rychlostech vozidel – do 30 km/h u osobních automobilů, do 50 km/h u nákladních. Při vyšších rychlostech dominuje hluk pneumatik, přičemž aerodynamický hluk roste současně s rychlostí“ (hluk. EPS.cz, 2007)

Pro emise celkového hluku z vozidel platí v EU limit 74dB pro osobní automobil, 80dB pro nákladní.

Mezi hlavní emise vznikající spalováním jsou emise výfukových plynů. Jsou to tuhé, kapalné nebo plynné látky, které jsou obsažené ve výfukovém plynu a vycházejí ze znečišťujícího zdroje do ovzduší.

Výfukové emise se měří přímo u zdroje znečištění, kdežto imise v jeho okolí. Emise, které se dostaly do styku s životním prostředím, nazýváme imise. Mohou se kumulovat v půdě, vodě či v organismech. V praxi jsou imisemi například těžké kovy nebo jiné znečišťující látky, které se ukládají v životním prostředí, například podél silnic nebo v potravním řetězci.

Emise vznikající při jízdě motorového vozidla lze rozdělit do tří základních zdrojů. Ty jsou popsány v tabulce č. 1 (tf.czu.cz/pexa, 2008)

Tab. 1- Zdroje emisí (tf.czu.cz/pexa, 2008)

Zdroj vzniku emisí	Velikost zastoupení %
Kliková skříň	20 %
Palivová nádrž	18 – 20
Výfukové plyny	60 – 62

3.1 Složení výfukových emisí

Ve spalovacím motoru dochází k nedokonalému spalování paliva. Následkem toho vznikají chemickými reakcemi škodlivé látky v plynném, kapalném i pevném stavu. Množství a složení škodlivých látek obsažených ve výfukových plynech je ovlivněno směšovacími poměry paliva se vzduchem λ .

Jednotlivé složky emisí se dají zjednodušeně rozdělit na škodlivé a neškodlivé. Mezi neškodlivé složky lze zařadit N_2 , H_2O , O_2 , CO_2 . Především CO_2 , který je obsažen volně v přírodě je však ve větší míře škodlivý, protože zmiňovaný plyn nemá přímý vliv na přírodu kolem nás, ale patří do skupiny plynů způsobujících vznik a postupné zvětšování ozónové díry. Mezi škodlivé patří CO , NO_x , HC a pevné částice. V následující tabulce č. 2 jsou popsány jednotlivé složky a jejich podíl v emisích zážehového a vznětového motoru (tf.czu.cz/pexa, 2008).

Tab. 2 - Poměr složek ve výfukových plynech (tf.czu.cz/pexa, 2008).

Zážehový motor			Vznětový motor		
Složka	obsah	škodlivost	složka	Obsah	škodlivost
N_2	72,3 %	neškodlivé	N_2	76 %	neškodlivé
H_2O	12,7 %		H_2O	7 %	
CO_2	12,3 %		CO_2	7 %	
O_2	0,7 %		O_2	9,7 %	
CO	0,85 %	škodlivé	CO	0,05 %	škodlivé
NO_x	0,085 %		SO_2	0,02 %	
HC	0,05 %		HC	0,03 %	
Pevné částice	0,006 %		Pevné částice	0,05 %	

Z tabulky je zřejmé, že výfukové emise zážehových motorů jsou bohatší na dusík (N_2), vodou (H_2O), oxid uhličitý (CO_2) a obsahem nespálené uhlovodíky (HC). Emise vznětových motorů naopak vykazují vyšší hodnoty kyslíku (O_2), oxidu dusíku (NO_x), pevných částic a navíc zde lze naměřit oxid siřičitý (SO_2). V následující kapitole budou podrobněji uvedeny jednotlivé položky.

3.1.1 Oxid uhelnatý CO

Oxid uhelnatý (CO) je bezbarvý, hořlavý plyn bez chuti a bez zápachu. CO vzniká nedokonalým spalováním všech uhlíkatých materiálů. Vyskytuje se zejména v průmyslových procesech a v dopravě. Ve spalovacím motoru je jeho tvorba patrná při

spalování chudé směsi ($\lambda > 1$). Toxicita CO závisí na množství a době expozice a je spojena především se vznikem karboxyhemoglobinu, který není schopen vázat kyslík jako hemoglobin.

3.1.2 Oxid uhličitý CO₂

Oxid uhličitý (CO₂) je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, který je běžnou součástí zemské atmosféry (0,04 %). Mezi nejvýznamnější zdroje oxidu uhličitého patří jakékoliv spalování uhlíkatých látek (dopravy, průmysl, vytápění). Oproti CO je oxid uhličitý příčinou dokonalého spalování. V atmosféře hovoříme o oxidu uhličitém jako o tzv. skleníkovém plynu. Vznik oxidu při spalování je přímo závislé na spotřebě paliva. Jeho. Emisní normy EURO tento plyn v emisních normách nikterak neregulují.

3.1.3 Oxid siřičitý (SO₂)

Oxid siřičitý je bezbarvý štiplavě páchnoucí jedovatý plyn. Vzniká spalováním paliva s obsahem síry. Množství oxidu siřičitého ve výfukových plynech není omezeno, legislativou, ale normami Evropské unie. Dříve obsahovala velké hodnoty síry motorová nafta. V dnešních palivech se již objevuje ve velmi malém množství. Hodnoty síry jsou vyšší u motorové nafty než u benzínu.

3.1.4 Oxidy dusíku (NO_x)

Hovoříme li o oxidech dusíku, jedná se především o oxid dusičitý (NO₂) a oxid dusnatý (NO). První jmenovaný (NO₂) je červenohnědý štiplavý plyn. V případě oxidu dusnatého (NO) jde o bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Emise oxidů dusíku vznikají při spalování i ušlechtilých paliv a biomasy. Emise oxidů dusíku mají navíc v dnešní době rostoucí charakter.

V motorových vozidlech dochází oxidaci vzdušného dusíku (N₂) při vysokých teplotách hoření, a proto zde dochází ke vzniku oxidů dusíku. Některé oxidy dusíku jsou zdraví škodlivé! Opatření vedoucí ke snižování spotřeby paliva mohou vést ke zvýšení podílu oxidů dusíku ve výfukových plynech, neboť účinnější spalování vede k vyšším teplotám spalování.

3.1.5 Nespálené uhlovodíky (HC)

Mezi uhlovodíky jsou zahrnuty nespálené uhlovodíky z uhlíkatých paliv. Při spalování uhlík díky termochemickým reakcím oxiduje a vznikají uhlovodíky. Mezi nejvýznamnější uhlovodíky patří alkany, alkoholy, aldehydy, ketony a aromatické uhlovodíky. Stejně jako oxid uhelnatý vznikají uhlovodíky při nedokonalém spalování. Při jejich úniku do okolí tvoří uhlovodíky přízemní ozon a smog.

3.1.6 Pevné částice (PM)

Mezi pevné částice jsou zařazeny částice pevného a kapalného skupenství velikosti od několika nanometrů až do 0,5 mm, které zůstávají po určitou dobu v ovzduší. Označení PM pochází z anglického jazyka Particulate matter (částice). Množství, fyzikální a chemické vlastnosti částic v ovzduší jsou závislé na jejich zdrojích, mechanismu vzniku, vzdálenosti od zdrojů a meteorologických podmínkách.

3.1.7 Dusík

Bezbarvý, nejedovatý, nehořlavý plyn. Při reakci s kyslíkem (O_2) a vznikají oxidy dusíku (NO_x).

U benzínů se pro zvýšení oktanového čísla dříve využívalo přídavku olova. V souvislosti se zavedením katalyzátorů se jeho využití omezilo, od roku 2000 následoval úplný zákaz jeho použití. Jeho mazací vlastnosti byly nahrazeny aditivy

3.2 Emisní normy

Pro zajištění postupného omezování škodlivin jsou stanoveny emisní normy, které musí splňovat motory uváděné v období platnosti dané normy na trh. Emisní normy lze rozdělit podle oblasti platnosti (Evropa, USA...). Další rozdělení norem spočívá v určení druhu převážného provozu daného stroje, nebo vozidla a to na silniční vozidla a nesilniční vozidla. Mezi nesilniční vozidla patří traktory, pojízdné pracovní stroje, ale i kolejové stroje.

3.2.1 Normy pro silniční vozidla

Pro silniční motorová vozidla je v rámci Evropské unie obecně závazná norma Euro, která stanovuje limitní hodnoty škodlivin výfukových plynů zážehových a vznětových motorů. Normy stanoví limity oxidu uhelnatého CO, oxidů dusíku NO_x, uhlovodíků HC a pevných částic PM v závislosti hmotnosti škodliviny na ujeté vzdálenosti. Norma nestanovuje limitní hodnoty pro CO₂ a sirné sloučeniny.

Limity škodlivin se vztahují na vozidla, která jsou uvedena nově na trh a platí po celou dobu jejich životnosti. I když po dobu provozu vozidla začnou platit přísnější emisní normy, pro dané vozidlo platí normy, pro které bylo při výrobě konstruované.

Normy jsou platné od roku 1992, kdy vstoupila v úplatnost první z nich pod názvem Euro I. Postupně následovali další zpřísnující normy. Normy pro osobní automobily a lehké užitkové automobily jsou číslovány arabskými číslicemi, normy pro těžké nákladní automobily a autobusy římskými číslicemi. Nejnovější norma vstoupila v platnost od 1. Zář 2014 a jedná se Euro VI. „V tabulce č. 3 jsou uvedeny limitní hodnoty pro jednotlivé emisní normy Euro“ (publi.cz/book, 2015).

Tab. 3 - Přehled limitů jednotlivých emisních norem Euro (www.publi.cz)

Rok/norma		CO (g/km)		NO _x (g/km)		HC+ NO _x (g/km)		HC (g/km)	PM (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

Benzinové motory, Naftové motory
*0,90 pro motory s přímým vstřikováním paliva
**0,10 pro motory s přímým paliva

3.2.2 Normy pro nesilniční vozidla

Normy pro nesilniční vozidla lze rozdělit podle územní platnosti na evropské a s platností v USA. Dále potom podle jednotlivých etap jejich zavádění.

Stage I, Stage II

V roce 1997 byla zavedena směrnicí 97/68/ES a to 16. 12. 1997 norma, která jako první stanovila limitní normy škodlivin výfukových plynů pro nesilniční vozidla. Do této kategorie byla zařazena široká škála strojů, především průmyslová vrtná zařízení, kompresory, stavební stroje a zařízení na údržbu silnic. Zemědělské a lesnické traktory musely plnit stejné emisní normy, ale měly různé lhůty pro provedení (směrnice 2000/25/ES). Tato evropská norma byla označena jako „Stage I“. Oproti předchozím normám jsou tyto počítány v gramech na kilowatthodinu [g/kWh].

Dne 9.12. 2002 byla přijata směrnice 2002/88/ES, která změnila směrnici 97/68/ES v novele přibýly emisní předpisy pro malé benzínové motory do výkonu 19 kW užívané pro pohon účelových strojů. Normy „Stage II, rozšířením předchozí normy. V novém předpisu jsou určeny limity i pro motory pracující při konstantních otáčkách. Hodnoty emisí motorů pro normy Stage I a Stage II, jsou uvedeny v tabulkách 4 a 5.

Tab. 4- Hodnoty emisních limitů Stage I (www.dieselnet.com)

Netto výkon P [kW]	Platnost	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PM [g/kWh]
$130 \leq P \leq 560$	1999/01	5,0	1,3	9,2	0,54
$75 \leq P < 130$	1999/01	5,0	1,3	9,2	0,70
$37 \leq P < 75$	1999/04	6,5	1,3	9,2	0,85

Tab. 5- Hodnoty emisních limitů Stage II (www.dieselnet.com)

Netto výkon P [kW]	Platnost	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PM [g/kWh]
$130 \leq P \leq 560$	2002/01	3,5	1,0	6,0	0,2
$75 \leq P < 130$	2003/01	5,0	1,0	6,0	0,3
$37 \leq P < 75$	2004/01	5,0	1,3	7,0	0,4
$18 \leq P < 37$	2001/01	5,5	1,5	8,0	0,8

Stage III, Stage IV

Emisní předpisy Stage III/IV pro stroje byly přijaty dne 21. 4. 2004 směrnicí 2004/26/EC. Pro zemědělské a lesnické traktory začaly tyto normy platit přijetím směrnice 2005/13/ES 21.2 2005. V roce 2010 byly přijaty nové směrnice. Směrnice 2010/26/EU, uvádí technické podrobnosti o testování a schválení motorů Stage IIIB a Stage IV. Směrnice 2010/ 22/ EU mění předchozí právní předpisy vztahující se na zemědělské a lesnické traktory.

Předpisy Stage III, jsou dále rozděleny na Stage IIIA a Stage IIIB a byly postupně zaváděny od roku 2006 do roku 2013. Norma Stage IV vstoupila v platnost v roce 2014. Právní úprava pro Stage III/IV se vztahuje pouze na nová vozidla, zařízení a na náhradní motory pro použití v již provozovaných zařízeních. Výjimkou jsou motory pro pohon v oblasti železnic a vnitrozemských vodních cest.,*Hodnoty emisí motorů pro normy STAGE III a STAGE IV jsou uvedeny v tabulkách 6, 7 a 8*“ (publi.cz/book, 2015).

Tab. 6 - Hodnoty emisních limitů Stage IIIA (www.dieselnet.com)

Netto výkon P [kW]	Platnost	CO [g/kWh]	NO _x + HC[g/kWh]	PM [g/kWh]
130 ≤ P ≤ 560	2006/01	3,5	4,0	0,2
75 ≤ P < 130	2007/01	5,0	4,0	0,3
37 ≤ P < 75	2008/01	5,0	4,7	0,4
18 ≤ P < 37	2007/01	5,5	7,5	0,6

Tab. 7 - Hodnoty emisních limitů Stage IIIB (www.dieselnet.com)

Netto výkon P [kW]	Platnost	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PM [g/kWh]
130 ≤ P ≤ 560	2011/01	3,5	0,19	2,0	0,025
	2012/01	5,0	0,19	3,3	0,025
37 ≤ P < 75	2012/01	5,0	0,19	3,3	0,025
18 ≤ P < 37	2013/01	5,0		4,7	0,025

Tab. 8 - Hodnoty emisních limitů Stage IV (www.dieselnet.com)

Netto výkon P [kW]	Platnost	CO [g/kWh]	NO _x	HC[g/kWh]	PM [g/kWh]
130 ≤ P ≤ 560	2014/01	3,5	0,19	0,4	0,025
56 ≤ P < 130	2014/10	5,0	0,19	0,4	0,025

V případech již dříve zmiňovaných amerických norem se jedná o emisní normy Tier. Nejnovější nese označení stejně jako evropská číslo IV. Hodnoty normy Tier IV jsou shodné s evropskými. „Na obrázku č. 1 jsou znázorněny jednotlivé etapy platnosti emisních norem pro nesilniční vozidla“ (publi.cz/book, 2015).

kW	hp	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0 - 7	0 - 10	V EU nepodléhá emisním limitům														
8 - 18	11 - 24	V EU nepodléhá emisním limitům														
19 - 36	25 - 49															
37 - 55	50 - 74															
56 - 74	75 - 99	EPA Tier 1 EU Stage I														
75 - 129	100 - 174															
130 - 559	175 - 749															
≥ 560	≥ 750	V EU nepodléhá emisním limitům														

Obr. 1- Emisní limity pro nesilniční stroje (publi.cz)

3.3 Možnosti snižování výfukových emisí

Jednotlivé způsoby lze rozdělit do dvou základních skupin a to na aktivní, které upravují samotné spalování paliva, a pasivní, kde se jedná o fyzikální a chemickou redukci již vzniklých zplodin.

Mezi zásadní předpoklady, které ovlivňují proces spalování, patří hmotnostní poměr směsi. Jedná se o poměr mezi hmotností paliva a spalovacího vzduchu. Tento vztah se nazývá stechiometrický poměr a jeho velikost se liší podle druhu motoru. Označujeme ho λ . Jeho složení přímo ovlivňuje výkon motoru, spotřebu paliva a zároveň pozdější strukturu výfukových plynů.

„Aby bylo možno snížit obsah paliva ve vzduchu zároveň zachovat výkon motoru, je třeba zajistit kvalitnější spalování. Toho lze dosáhnout kvalitnějším promísením jednotlivých molekul paliva se vzduchem“ (Vlk, 2004). Jednotlivé systémy se liší podle typu motoru.

Dalším možným způsobem je použití jiných druhů paliva. Základní skupina jsou fosilní paliva, jejichž spalováním vzniká, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole velké množství tzv. skleníkových plynů, především CO_2 . Právě tento důvod je uváděn pro zavádění nových druhů paliv, tzv. biopaliv, které jsou „uhlíkově stabilní“.

Uhlíkovou stabilitu lze popsat, jako stav, kdy se při spalování do ovzduší dostane pouze uhlík, který byl z ovzduší rostlinou již dříve odebrán.

Biopaliva jsou dle definice vzniklá z obnovitelných zdrojů, Proto zde lze hovořit o koloběhu uhlíku, který se v přírodě nachází, zatím co v případě spalování fosilních paliv vznikají uhlíkaté sloučeniny nad rámec množství, které se běžně v přírodě nachází.

Jako druhé jmenované způsoby jsou pasivní, tedy omezení spalin, které již spalováním vznikly. Do této skupiny patří řízené třicestné katalyzátory použité u zážehových motorů a filtry pevných částic DPF (Diesel Particulate Filter). U všech motorů jsou použity EGR ventily (Exhaust Gas Recirculation), které slouží k zpětnému nasávání části výfukových plynů a tím snížení obsahu kyslíku a snižování teploty při spalování paliva. Proto dochází ke snižování vzniku NO_x .

U nákladních automobilů jsou použity vedle již zmiňovaných technologií systémy SCR (Selective Catalytic Reduction). Jedná se o vstřikování vodního roztoku syntetické močoviny do výfuku, před katalyzátor výfukových plynů. V něm se kapalina mísí s výfukovými plyny a dochází k chemickým reakcím, při nichž vzniká nejprve amoniak (NH_3) a oxid uhličitý (CO_2). Poté amoniak reaguje s oxidy dusíku (NO_x) a dochází k chemické přeměně na dusík a vodní páru.

4 Biopaliva

Podle základních definicí se jedná o látky, které jsou vyrobeny z obnovitelných zdrojů. To je také zásadní rozdíl proti fosilním palivům, které pochází z látek, jejichž objem je omezen (Ropa, zemní plyn). Jako obnovitelnými zdroji energie (OZE) jsou uváděny energie větru a slunečního záření, geotermální energie, energie vody, půdy, vzduchu, biomasy, skládkového plynu, kalového plynu a bioplynu.

4.1 Biopaliva a legislativa

Již v úvodu byly popsány první zákony pro upravující výrobu a používání biopaliv. Zároveň jsou popsány důvody vzniku těchto nařízení. Ty se od dnešních podstatně liší. Zatímco v meziválečném období a posléze ještě krátce po roce 1989 byly důvody pro využití biopaliv pouze hospodářské a ekonomické, dnes je použití biopaliv zakotveno v zákonech z důvodů ekologických.

Přijímání legislativních norem v případě biopaliv dnes probíhá na úrovni celoevropských norem, poté je implementováno do národních zákonů jednotlivých států.

Nejnovějšími závaznými dokumenty v této oblasti jsou Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. 4. 2009 o podpoře obnovitelných zdrojů. Dalším závazným dokumentem vycházejícím z evropského parlamentu o této problematice je Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/30/ES ze dne 23. 2. 2009 o specifikaci benzínu, motorové nafty a plynových olejů, zavedení mechanismu pro sledování a snížení emisí skleníkových plynů. Posledním dokumentem souvisejícím s biopalivy je poněkud staršího data. Jedná se o Směrnici Rady 1999/32/ES o specifikaci paliva používaného plavidly vnitrozemské plavby (www.epravo.cz). *„Implementace požadavků a principů uvedených v evropských směrnících do české legislativy se netýká pouze jednoho zákona, ale celé řady v působnosti různých ministerstev. To má za následek roztržičnost a určitou nejednotnost legislativy, názvoslovné problémy, neúplnost a dohadování mezi ministerstvy o správném výkladu jednotlivých ustanovení a licitaci, kam ta, která otázka patří“* (www.ropa.cz, 2016).

V českých zákonných normách se jedná o:

Zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší

Nařízení vlády č. 446/2011 Sb. o kritériích udržitelnosti biopaliv

Zákon č. 311/2006 Sb. o pohonných hmotách v platném znění

Prováděcí vyhláška č. 133/2010 Sb. o jakosti a evidenci pohonných hmot

Zákon č. 353/2003 Sb. o spotřebních daních

Na základě uvedených dokumentů byl vypracován tzv. „*Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie*“ (www.ropa.cz, 2016). Jedná se rozsáhlý materiál, který zahrnuje celou řadu oblastí v oblasti energetiky, zemědělství, dopravy a výroby paliva a biopaliv.

4.2 Rozdělení biopaliv

Biopaliva lze rozdělit několika možnými způsoby. Mezi základní patří rozdělení podle skupenství na plynná, kapalná a pevná. Nejčastěji se však lze setkat s rozdělením podle vstupních surovin použitých k výrobě. Podle toho lze rozdělit jednotlivé druhy na tzv. generace biopaliv.

❖ Biopaliva I. generace- je vyráběna ze zemědělských produktů obsahujících cukr, škrob a olej. Plodiny jsou pěstované na zemědělské půdě za účelem výroby biopaliv. Negativně tím konkurují plodinám potravinářským. Mezi biopaliva I. generace patří metylester řepkového oleje (MEŘO) a bioetanol vyrobený např. z obilí, cukrové řepy a kukuřice.

❖ Biopaliva II. generace- je založena na nepotravinářských plodinách, případně na nepoživatelných částech potravinářských plodin. Jejich celulóza se ale těžko štěpí na jednoduché molekuly. Nejčastěji se vyskytujícím palivem je bioplyn. Pro jeho výrobu je spotřebována biologicky rozložitelná hmota.

❖ Biopaliva III. generace- jsou označovány látky získávané pomocí mikroorganismů a použitelné jako palivo buď přímo, nebo jen s mírnými úpravami. Jednou možností je využití řas, které produkují kapičky oleje, jež mohou být poměrně snadno přeměněny na palivo. Výnos na jeden hektar může být až 30 x vyšší než při použití nejrentabilnějších energetických rostlin. Předpokládá se, že s využitím genetických modifikací bude možno efektivitu surovin pro výrobu biopaliv ještě dále zvýšit. Většímu rozšíření však prozatím brání vysoké náklady na výrobu.

4.3 Biopaliva pro spalovací motory

Stále nejpoužívanější biopaliva pro spalovací motory jsou biopaliva I. generace. Biopaliva II. generace jsou využívány častěji pro výrobu bioplynu v bioplynových stanicích. III. generace biopaliv je pro svou vysokou nákladnost při výrobě pro masivní použití v dopravě nevhodná.

4.3.1 Rostlinné oleje

Jsou získávány lisováním semen olejnin. V Evropě je k tomuto účelu používán především řepkový olej. V tropickém a subtropickém pásmu potom najde své využití palmový olej.

V tabulce 9. Je uvedeno porovnání jednotlivých vlastností motorové nafty a rostlinných olejů.

Tab. 9 - Vlastnosti motorové nafty a rostlinných olejů (Matějovský, 2004)

parametr		olej					Motorová nafta
		řepkový	slunečnicový	lněný	sójový	podzemnicový	
Měrná hmotnost	$g \cdot cm^3$	0,92	0,927	0,935	0,934	0,925	0,855
Bod vzplanutí	$^{\circ}C$	317	316		330	333	>55
Bod tuhnutí (zákalu)	$^{\circ}C$	0÷-2	-16÷ -18	-18÷ -27	-8÷ -18	-2÷ -3	0÷-2
Kinematická viskozita (20 $^{\circ}C$)	$mm^2 \cdot s^{-1}$	97,7	65,8	51	63,5	84,3	3÷ 8
Spalné teplo	$MJ \cdot kg^{-1}$	40,56	39,81	39,51	39,73	39,99	45,02

V případě porovnání spalného tepla lze sledovat srovnatelné údaje, ale ostatní parametry, jako jsou viskozita a bod vzplanutí však dokazují, že není možné použití rostlinných olejů v běžném vznětovém motoru, bez jeho úprav.

V případě viskozity lze problém vyřešit ohřevem oleje a úpravou vstřikovacích trysek s většími otvory. V tomto případě však vzniká problém s nedokonalým rozstříkáním paliva a jeho nízké odpařivosti. „To vede k tvorbě karbonu, který ve velmi krátké době 50 až 100 provozních hodin, u motorů s přímým vstřikem paliva, znehyní první, případně i druhý pístní kroužek a dojde k zadření motoru“ (Vlk 2004).

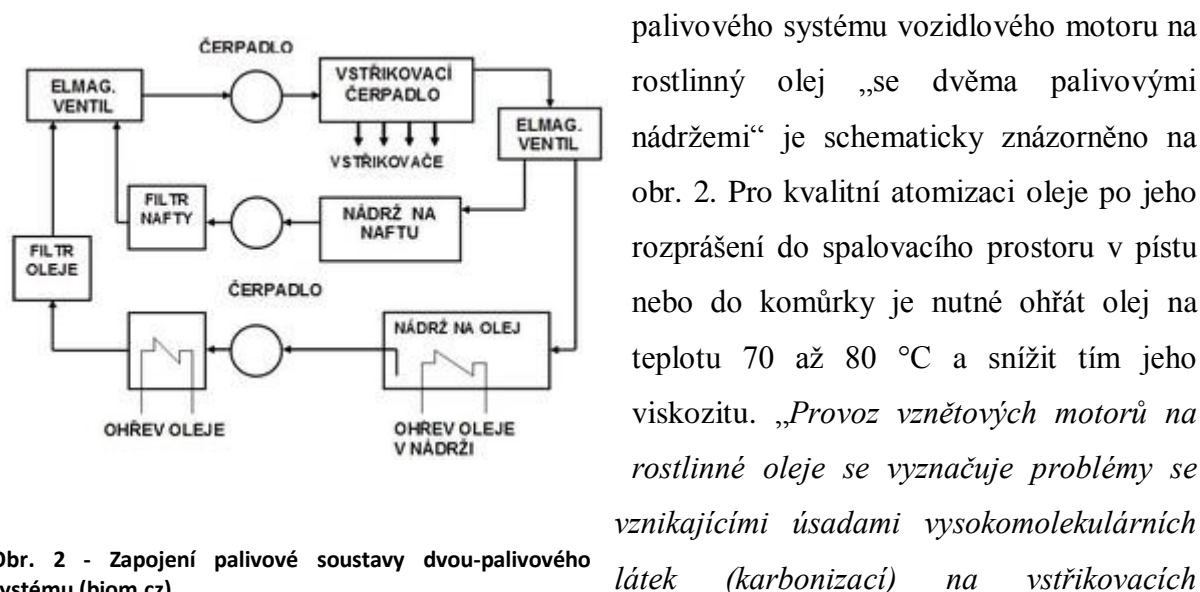
I přesto lze provozovat motorové vozidlo na tento druh paliva, pokud jsou provedeny úpravy na jednotlivých částech automobilu. V případě nízkotlaké části palivové soustavy lze modifikaci rozdělit na jednopalivový, nebo dvoupalivový systém.

Jednopalivový systém

Reprezentuje nejjednodušší variantu přestavby na rostlinný olej. Jedná se o instalaci předeřevu paliva, zvětšení průtočného průřezu potrubí a často také elektrického ohřevu bloku motoru.

Dvoupalivový systém

Nejčastěji používaným systémem je spalování motorové nafty do ohřátí motoru na provozní teplotu, poté je přepnut přívod paliva z motorové nafty na olej. Uspořádání dvou



Obr. 2 - Zapojení palivové soustavy dvou-palivového systému (biom.cz)

palivového systému vozidlového motoru na rostlinný olej „se dvěma palivovými nádržemi“ je schematicky znázorněno na obr. 2. Pro kvalitní atomizaci oleje po jeho rozprášení do spalovacího prostoru v pístu nebo do komůrky je nutné ohřát olej na teplotu 70 až 80 °C a snížit tím jeho viskozitu. „Provoz vznětových motorů na rostlinné oleje se vyznačuje problémy se vznikajícími úsadami vysokomolekulárních látek (karbonizací) na vstřikovacích

tryskách, pístech, ventilech a dalších plochách ve válci motoru. Úsady způsobují zhoršení výkonových parametrů a mohou vést i k poškození motoru. Rostlinný olej za vyšších teplot polymeruje a tvoří shluky polotuhých látek, které mohou ucpávat palivový systém“. (Vojtíšek, 2010). Pro předcházení provozním problémům, které by tuhé usazeniny v palivovém systému mohly způsobit, bývá před zastavením motoru palivový systém plněn opět motorovou naftou. Tím je usnadněno i spuštění motoru za nižších teplot.

Spalovací prostor vznětového motoru

Především u motorů osobních se poměrně dlouhou dobu používalo konstrukce děleného spalovacího prostoru. Tato konstrukce spočívá v rozprášení paliva tzv. předkomůrce, která je umístěna v hlavě motoru. Poté následuje vznícení směsi paliva se vzduchem. „*Při spalování dochází k nárůstu tlaku, který způsobuje proudění částečně shořelých podílů do hlavního spalovacího prostoru s intenzivně zviřeným vzduchem, kde pokračuje proces hoření. Do vedlejšího spalovacího prostoru (komůrky), vstříkujeme celý objem paliva, při nižším vstřikovacím tlaku a je zapotřebí dosáhnout vyšší teploty v komůrce. Tím se odpaří dostatečné množství paliva pro jeho vznícení“* (Macek a Suk 1996).

Výhodou nepřímého vstřikování je především měkčí a tišší chod motoru. Z hlediska konstrukce je palivo vstřikováno poměrně nízkým tlakem, čímž vznikají menší nároky na celý palivový systém. Nevýhodou systému je především vyšší měrná spotřeba paliva a s tím související problémy s nedosažením potřebných emisních norem.

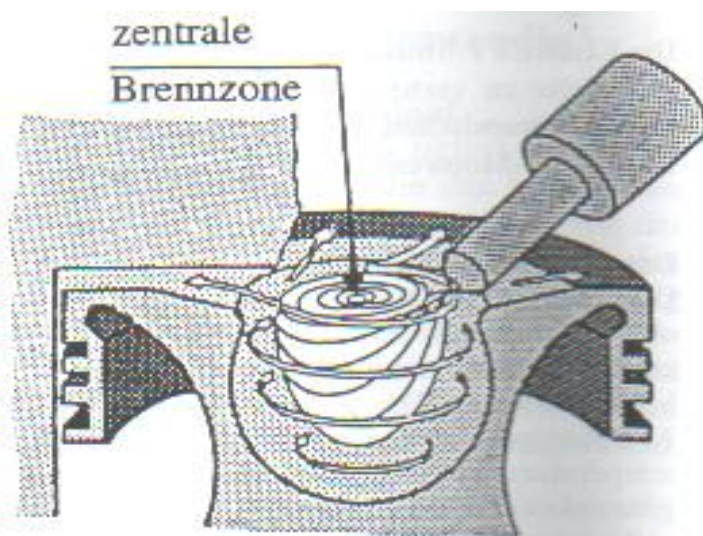
„*Řepkový olej nedosahuje takových parametrů jako motorová nafta. Základním problémem je vysoké povrchové napětí a tudíž tvorba velkých kapek oleje, vysoká destilační teplota, neboli nízká odpařitelnost oleje a malé cetanové číslo, tedy delší prodleva vznětu oleje“* (Vlk, 2006). Z těchto důvodů je výhodnější použití děleného spalovacího prostoru pro paliva na bázi rostlinných olejů. Ve vířivé předkomůrce se soustředí teplo. To umožňuje lepší snadnější vznícení směsi oleje se vzduchem i v případě nedostatečného rozprášení paliva. Jak již bylo popsáno, tato konstrukce se v současných motorech již nevyskytuje.

Motor Elsbett

V případě tohoto motoru se jedná o upravenou hlavu válců, kde vstřikovací tryska není umístěna kolmo k pístu, jak je zvykem u motorů s přímým vstřikem paliva, ale v úhlu

tak, aby vstříkovaný olej proudil do dna pístu, kde je vytvořena vířivá komora. Zároveň jsou upraveny sací kanály pro přívod vzduchu, které umožňují přívod vzduchu přímo do komory. V komůrce vysokou rychlostí rotuje nasátý vzduch. Při pohybu pístu směrem do horní úvratě, zahřátý vzduch tlačěn pomocí víru do středu. Uvnitř spalovacího prostoru tak vzniká centrální horká zóna, která je obklopena relativně chladným vzduchem. „*Tím se sníží odvod tepla a ve středu spalovacího prostoru se dosáhne vysoké teploty pro odpaření kapek rostlinného (řepkového) oleje vstříkovaného do spalovacího prostoru tangenciálně jednotvorovou nebo čepovou tryskou*“ (Laurin a Holubec 2008).

Písty nejsou vyrobeny z hliníku, stejně jako v běžných motorech, ale ocel. Ocel může mít mnohem tenčí stěnu než hliník, a proto je dosaženo téměř stejné hmotnosti. To má tedy



Obr. 3 Píst motoru Elsbett (www.elsbett-museum.de)

tu výhodu, že píst má stejnou materiální roztažnost jako blok motoru a hlava válců, které jsou také vyrobeny z oceli. Montážní vůle jsou tedy při studeném motoru stejné jako při ohřátí na provozní teplotu (teplota asi 90°C).

Další výhodou této konstrukce je absence vzniku trhlin v hlavě válců, případně v pístech, které je patrné u

konvenčních motorů, které vzniká přílišným nerovnoměrným ohříváním jednotlivých dílů. Nedojde k žádnému více tepla trhliny v hlavě nebo v pístu, stejně jako v konvenčních motorech (zvláště u přeplňovaných motorů), stále časté.

Další možností je použití děleného pístu, kde vrchní část je z materiálu Ferrotherm, odolávající teplotě až 700 °C. Spodní část pístu je z lehkých hliníkových slitin. Obě dvě části pístu jsou spojeny kloubem. „*Pístní skupina se chladí za pomoci ostříku mazacího oleje*“ (Laurin a Holubec 2008).

Motor se vyznačuje poměrně vysokou účinností (40 %) a nízkým odvodem tepla (14–16 %). Motor může spalovat rostlinné, rybí, fritovací oleje, ale i motorovou naftu.

Tab. 10 – Porovnání jednotlivých složek výfukových plynů nafty a řepkového oleje (Matějovský, 2005)

	CO	HC	NO _x	HC + NO _x	PM
Motorová nafta	1,38	0,49	3,37	3,86	0,33
Palivový řepkový olej	1,35	0,17	3,54	3,71	0,24
Řepkový olej vs. Nafta	-2 %	-65 %	+5 %	-4 %	-29 %

4.3.2 Metylester mastných kyselin

V předchozí části bylo popsáno, jakým způsobem lze používat jako palivo čisté neupravené oleje. Vyřešení všech problémů je však poměrně nákladné. Spalováním olejů navíc není dosaženo takových výkonů, jako v případě použití motorové nafty. Proto je mnohem výhodnější upravit oleje takovým způsobem, aby je bylo možno použít jako palivo v konvenčních neupravených motorech. „*Snahou je vytvořit palivo, které se svými parametry, jako je viskozita, filtrovatelnost, čerpatelnost, cetanové číslo, biologická stabilita bude co nejvíce přibližovat motorové naftě*“ (Vlk, 2006). Pro tyto účely je nejlépe vhodný tzv. trans-esterifikovaný rostlinný olej případně živočišné tuky, které jsou chemicky změněny na metylester masných kyselin, označován zkratkou FAME (*Fatty acid methyl ester*). V České republice je nejčastěji používán metylester řepkového oleje (MEŘO). „*V zahraničí se tento produkt označuje zkratkou RME (Rapeseed Metyl Ester)*“ (Vlk, 2006).

Charakteristické vlastnosti metylesteru řepkového oleje (MEŘO)

MEŘO je čistá nažloutlá netoxická kapalina mísitelná s motorovou naftou v jakémkoliv poměru. Neobsahuje těžké kovy ani žádné látky, které by škodily zdraví, je agresivní vůči běžným nátěrům a pryžím.

Jako vstupní surovina pro výrobu MEŘO se používá řepkový olej a menší množství metanolu. Při spalování MEŘO k významnému snížení emisí nespálených uhlovodíků, oproti spalování motorové nafty. Oproti motorové naftě neobsahují rostlinné oleje žádnou síru, a proto při jejich spalování nedochází ke vzniku oxidu síry SO_x, které ve styku se vzdušnou vlhkostí vytváří kyseliny a jsou příčinou tzv. kyselých dešťů.

Při spalování MEŘO dochází k oxidaci uhlíku, který byl obsažen v rostlinách. Vznikem CO₂ při spalování biopaliva dochází k přírodnímu koloběhu. Není zatěžováno životní prostředí nárůstem obsahu CO₂ v atmosféře.

Úprava řepkového oleje na MEŘO se vytvoří takové palivo, které se svými parametry přibližuje motorové naftě (viz tab. 11).

Tab. 11 - Porovnání parametrů nafty MEŘO (Matějovský, 2005)

Parametr	Jednotka	Metylester řepkového olej	Motorová nafta
Hustota (15 °C)	kg.m ⁻³	860 – 900	820 – 845
Výhřevnost	MJ.kg ⁻¹	min. 37,9	min. 41,9
	MJ.l ⁻¹	32,59 – 34,11	34,36 – 35,41
Kinematická viskozita (40 °C)	mm ² .s ⁻¹	3,5 – 5,0	2,0 – 4,5
Cetanové číslo	-	min. 51	min. 51
Obsah síry	mg.kg ⁻¹	max. 10	0,035
Filtrovatelnost CFPP (nejnižší teplota, kdy palivo v celém objemu protéká přes definovaný filtr)	°C	0 až-20	0 až-20

4.3.3. Bionafta I. generace

MEŘO, které je popisováno jako bionafta I. generace se používá např. v Německu, Rakousku nebo Švýcarsku. V České Republice se toto palivo běžně nepoužívá

Použití paliva MEŘO přinášelo při spalování v naftovém motoru řadu problémů. Vznikaly látky pryskyřičnaté povahy, kaly a další množství nerozpustných látek v motorovém oleji. Toto bylo důsledkem vyšších nákladů spojených s předčasnou výměnou

oleje v motoru. Tyto a řada dalších problémů vedly k zavedení bionafty II. generace. V tabulce č. 12 jsou uvedeny hodnoty emisí.

Tab. 12- Porovnání emisí MEŘO a motorová nafta (Matějovský, 2005)

Sledovaná hodnota	Motorová nafta	MEŘO
CO (g/hod)	62	56
CH _x (g/hod)	43	31
NO _x (g/hod)	223	241
SO ₂ (%)	0,15	0,002
Kouřivost (stupnice BOSCH)	0,49	0,26

4.3.4. Bionafta II. generace

Bionafta II. generace, nebo také směsná motorová nafta (SMN 30), případně se můžeme setkat s označení B30 je směs MEŘO s motorovou naftou. Poměr naředění se pohybuje kolem 31 % MEŘO + aditiva a 69 % motorová nafta. „Výhodou směsné motorové nafty je, že má prakticky shodné vlastnosti s motorovou naftou“ (EUROPECON, 2014). Další směs používaná v České republice je SMN 5, který obsahuje 2 – 5 % MEŘO. Zbýlý podíl směsi, jak již bylo řečeno, tvoří motorová nafta, která musí být v dostatečné míře zbavena síry a aromátů, aby se zachovala dobrá biologická rozložitelnost výsledné směsi. V bionaftě jsou díky tomu zachovány vlastnosti majoritně zastoupené motorové nafty. Směsná nafta je však šetrnější vůči životnímu prostředí.

V naftě přítomné MEŘO svými příznivými mazacími a „čisticími“ účinky přispívá k bezproblémovému chodu a k prodlužování životnosti motoru a palivové soustavy. Jeho přítomnost však s sebou přináší i nedostatky – v běžných podmínkách je potřeba počítat s poklesem výkonu motoru (maximálně do 2 %) a s mírným vzrůstem spotřeby paliva (zhruba o 3 %).

Problematická je však přítomnost vody nad povolený limit (maximálně 500 mg/kg), k tomu dochází díky dobrému vázání bionafty s vodou. V tomto případě může docházet k výskytu mikroorganismů v bionaftě, zvyšování její kyselosti a k tvorbě kalů, které mohou ucpávat palivové filtry. Přítomností vody dochází dále ke korozi celého palivového systému, převážně vstřikovačů a vstřikovacích, případně vysokotlakých čerpadel. Případné výhody a nevýhody použití bionafty je také ovlivněn stavem motoru a palivového systému daného

automobilu. V tabulce č. 13 jsou shrnuty podle výhody a nevýhody při použití bionafty v novém a starém motoru.

Tab. 13- Porovnání výhod a nevýhod při použití bionafty (tf.czu.cz)

Výhody	Nevýhody
Nový motor	
udržuje čistý palivový systém nízké emise – menší zátěž katalyzátoru vysoká mazací schopnost – nižší opotřebování vstřikovacího čerpadla bod tuhnutí snížen pod hranici-30 °C zvýšené cetanové číslo (46–56) snižuje obsah karbonu v motorovém oleji delší interval výměny palivového filtru, prakticky je interval nekonečný, protože bionafta neobsahuje téměř žádné nečistoty	schopnost vázat se s vodou, bionafta zhoustne, je nefiltrovatelná a "nemaže" časem se rozkládá – oxiduje, motor nesmí dlouho stát údajně "želatinizuje" motorový olej, údajně se zkracuje interval výměny oleje hlučnější chod v mrazech Starý motor
Starý motor	
bionafta je detergentem, rozpouští usazeniny v palivové soustavě – čistí	vlivem detergentu starých agregátů může dojít k "ucpání" palivové soustavy a následné disfunkci – nutná výměna filtrů vlivem detergentu rovněž dochází k usazení karbonu v motorovém oleji nutné odvodnění palivové soustavy a nádrže paliva, protože bionafta reaguje s vodou

4.3.5 Emulzní nafta

Zajímavou možností snížení emisí výfukových plynů je použití tzv. emulzní nafty. Jedná se o palivo, kde emulze tvoří 85 % motorové nafty, 13 % vody a 2 % dalších přísad - převážně emulgačních činidel, která zajišťují velmi malou velikost kapek rozptýlené vody.

Takový provoz vykazuje významné snížení emisních hodnot u tuhých částic (až 80 %) a oxidu dusíku (až o 30 %) vzhledem k emisím vznikajícím při spalování klasické nafty. V důsledku snížení teploty plamene a možnosti menšího přebytku vzduchu potřebného pro spalování dochází k poklesu obsahu oxidů dusíku ve výfukových plynech a ke snížení kouřivosti. Vozidla mohou být provozována na běžnou motorovou naftu i na tuto emulzi. S použitím emulzní nafty mají velké zkušenosti obzvláště ve Francii.

Problém je však v zabezpečení stability vzniklé emulze při skladování – tento problém se řeší různými emulgátory (směs alkoholů). „*Náklady na výrobu emulzní nafty jsou vyšší a při nezměněném seřazení palivové soustavy motoru je i její spotřeba vyšší*“ (Vlk, 2004).

4.3.6 Bioetanol pro vznětové motory

„Bioetanol je v podstatě etanol, tedy (C_2H_5OH), vyrobený technologií alkoholového kvašení z biomasy, převážně z plodin obsahujících větší množství buď škrobu (brambory, kukuřice, obilí) nebo sacharidů (cukrová řepa, cukrová třtina). U plodin, které obsahují sacharidy, se fermentace (kvašení) provádí přímo. U plodin obsahujících větší množství škrobu se tento škrob musí nejprve enzymaticky přeměnit na cukry a poté fermentuje“ (www.bioethanole 85.cz, 2010)

V porovnání s naftou má bioetanol menší výhřevnost, nižší cetanové číslo a zároveň velmi malou mazací schopnost. Cetanové číslo i mazací vlastnosti lze upravit použitím vhodných aditiv. Tím lze palivo uzpůsobit potřebám vznětového motoru. Vzhledem k nižší výhřevnosti biopaliva se optimalizují výkonové parametry motoru zvýšením dávky paliva.

Bioetanol bez přísad zvyšujících vznětlivost lze použít u motorů, které jsou vybaveny dvou palivovým systémem popsaným dříve.

Použití dvoupalcového systému v tomto případě zahrnuje tyto možnosti úprav:

- vstřikování směsi nafty s bioetanolem do spalovacího prostoru
- vstřikování nafty a bioetanolu pomocí dvou vstřikovacích čerpadel - jedno čerpadlo vstřikuje naftu, druhé vstřikuje bioetanol
- nasávání směsi bioetanolu se vzduchem a vstřikování nafty do válce

Uvedené způsoby jsou, však vyžadují značné technické problémy, jsou technicky náročné a finančně nákladné. Z tohoto důvodu nenalezly širší praktické uplatnění.

Již zmíněné nepříznivé vlastnosti bioetanolu, nízké cetanové číslo označující vznětlivost, malou mazací schopnost, ale také korozní agresivitu, lze poměrně jednoduše ovlivnit přísadami na bázi organických dusičnanů a dusitanů, které se do bioetanolu

přidávají podle doporučení výrobce v množství 4 až 10 %. Vznětový motor na bioetanolové palivo je v podstatě stejné konstrukce, jako naftový motor, poněvadž vlastnosti bioetanolu jsou, až na nízkou výhřevnost, upraveny tak, aby byly blízké naftě. Původní naftový motor musí být přizpůsoben provozu na bioetanolové palivo předimenzováním palivové soustavy. Bioetanol vyžaduje úpravu předstříku paliva než nafta.

„Měření výfukových škodlivin při testech podle předpisu EHK 49 provedená na TU v Liberci u vznětových motorů přizpůsobených pro provoz na bioetanol ukázala, že v porovnání s emisemi při provozu na naftu dochází ke snížení obsahu částic, snížení obsahu oxidů dusíku, ale ke zvýšení obsahu oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků“ (Laurin, 2009). V tabulce č. 14 uvedeny parametry motorové nafty a bioetanolu.

Tab. 14 - Vlastnosti motorové nafty a bioetanolu (Laurin, 2009)

	Nafta	Bioetanol
Hustota (při 15 °C) kg.m ⁻³	~830	794
Výhřevnost kWh.kg ⁻¹	11,8	7,44
Hmot. podíl kyslíku%	< 0,6	34,7
Oktanové číslo VM	-	108
Cetanové číslo	> 51	7

Bioetanol pro vznětové motory nemá dosud příliš široké uplatnění. V Evropě je používán převážně ve Švédsku. Městské autobusy, Ve Stockholmu je provozováno více než 200 městských autobusů s motory na bioetanol, které vyrábí firma SCANIA. Další autobusy jezdí v dalších přibližně 205 v jiných městech.

4.3.7 Biopaliva pro zážehové motory

Jako biopalivo pro vznětové motory se etanol a bioetanol. Jeho použití je popsán v následujících kapitolách.

Bioetanol pro zážehové motory

V palivech pro zážehové motory lze bioetanol uplatnit několika následujícími způsoby:

- Náhrada benzínu palivem s vysokým obsahem bioetanolu pro speciálně přizpůsobené zážehové motory. Např. palivo označované E85 obsahuje 85 % etanolu a 15 % benzínu. Toto palivo vyžaduje vyšší kompresní poměr motoru - až 15 a úpravy palivového systému původního benzinového motoru.

- Motory pro "Flexible Fuel Vehicles" (FFV) mohou být provozovány jak na benzin, tak na bioetanolové palivo s různým podílem bioetanolu - až do 85 %. Pomocí kyslíkové sondy umístěné ve výfukovém potrubí získává řídicí jednotka hodnoty koncentrace zbytkového kyslíku ve výfukových plynech. Díky tomu lze dynamicky, případně upravovat předstih atd.. FFV dodává řada výrobců automobilů, např. VW, Fiat, Renault, Volvo, Saab, Ford. V Evropě je palivo E85 nejvíce používáno ve Švédsku, kde je v provozu více než 16 tisíc vozidel Ford Focus FFV a počet plnicích stanic s palivem E85 je vyšší než 250.

. Tento způsob náhrady je již několik let používán ve Francii a ve Španělsku, kde rafinerie ETBE vyrábějí.

Bioetanol přidáný do benzínu v max. množství zhruba do 20 % jako kyslíkatá složka současně zvyšující oktanové číslo nevyžaduje žádné přizpůsobení benzinového motoru. Přidání bioetanolu do benzínu může přinést problémy způsobené citlivostí bioetanolu na vodu, tomu lze bránit vhodnou přísadou.

V tabulce č. 15 jsou uvedeny vybrané vlastnosti etanolu a jsou porovnány se stejnými vlastnostmi bezolovnatého benzínu.

Tab. 15- Vlastnosti benzínu a bioetanolu (Matějovský, 2005)

	Benzin	Bioetanol
Hustota (při 15 °C) kg.m ⁻³	~750	794
Výhřevnost kWh.kg ⁻¹	12	7,44
Hmot. podíl kyslíku%	< 2,7	34,7
Oktanové číslo VM	91...100	108

Směsi benzínu E95 a etanolu

Jako nejčastější možností použití etanolu a je jejich aplikace ve směsích.

Palivo E5

Dnes je etanol přidáván do bezolovnatého benzínu a to ve výši 5 %. Směsné poměry popsány v ČSN EN 228. Norma popisuje maximální poměr vody i maximální hranici kyselosti. Palivo v tomto poměru lze spalovat ve všech zážehových motorech, bez nutnosti konstrukčních úprav.

Použitím směsného paliva dochází ke snížení výkonu motoru, při zvýšení spotřeby paliva. Tyto změny ve statistice výkonu a spotřeby jsou však zanedbatelné, v odborné literatuře se uvádí o 1,5 % zvýšení spotřeby paliva a stejné obdobné snížení výkonu. Stále častěji je dnes skloňován název E10, kde by se zvýšilo množství přidávaného etanolu až na 10 %.

Možnost mísení etanolu s bezolovnatým benzínem E95 bez jakéhokoliv zásahu do konstrukce motoru se podle různých autorů liší, tento poměr se pohybuje v rozmezí 15 – 30 %. Tuto hranici samozřejmě nelze přesně stanovit. Především lze rozdělit tuto hranici podle způsobu dopravy paliva a samotného řízení dopravy a zapalování. U moderních motorů, kde je palivo dopraveno pro každý válec zvlášť a jeho množství je řízeno řídicí jednotkou, které dostává údaje od kyslíkového snímače (lambda sonda) a od mnoha dalších senzorů, se poměr etanolu může zvýšit.

Naopak u konstrukčně starších motorů, které nejsou řízeny dynamicky, je při vyšším poměru etanolu nutný zásah do konstrukce.

Palivo E 85

Palivo E85 je směs, která se skládá z 85 % ethanolu a z 15 % naturalu 95. Tento poměr lze dle různých sezónních poměrů měnit, ale minimální podíl ethanolu musí být 70 %. Změna poměru paliv probíhá z důvodu vyššího výparného tepla. „*Výhřevnost E85 při 25° C je 28,94 MJ.kg⁻¹ a benzínu 42 – 45 MJ.kg⁻¹*“ (Polcar, Čupera, Sedlák, 2014). Díky této vlastnosti paliva lze dosáhnout ochlazení směsi dodávané do jednotlivých válců a zvýšení výkonu motoru. Na druhou stranu jsou však zhoršeny studené starty v zimním období.

Nízkoprocentní přimíchávání bioethanolu do cca 10 % neznámá při spalování v motoru téměř žádný problém, a není tedy potřeba žádná úprava motoru. Při vyšších poměrech směsi nelze bez úprav spalovat v běžných motorech s ohledem na nižší

výhřevnost etanolu. V současné době jsou vysokoprocentní etanolové směsi využívány ve vozidlech FFV (Flexi Fuel Vehicle). Tato vozidla mohou být provozovány jak na běžný benzin, palivo E85, tak i na libovolnou směs benzínu s palivem E85. Palivo je možné spalovat i v běžných vozidlech, ale je třeba provést úpravy, které jsou odvislé podle typu motoru. „Pro to, aby bylo možné spalovat vysokoobjemové směsi ethanolu s benzinem v konvenčních vozidlech se zážehovým motorem je nutná úprava vstřikovaného množství paliva do válce motoru, resp. Směšovacího poměru paliva a vzduchu.“ (Polcar, Čupera, Sedlák, 2014).

4.4 Obsah bioložek v palivech

Přidávání bioložek v palivech je v České republice uzákoněno od roku 2005, kdy byla tato povinnost dána vyhláškou. Jednalo se o uvedení do praxe nařízení evropské komise. Zatím nejnovějším právním předpisem v našem právním řádu je zákon 201/2012 Sb. Jedná se o zákon o ochraně ovzduší a vstoupil v platnost 1. 9. 2012.

V paragrafu 19, odstavci 1 je uvedeno: „Osoba uvádějící motorové benziny nebo motorovou naftu do volného daňového oběhu na daňovém území České republiky pro dopravní účely nebo osoba, která dodává na daňové území České republiky pro dopravní účely motorové benziny nebo motorovou naftu uvedené do volného daňového oběhu v jiném členském státě Evropské unie (dále jen „dodavatel pohonných hmot“), je povinna zajistit, aby v těchto pohonných hmotách, které uvádí do volného daňového oběhu na daňovém území České republiky pro dopravní účely za kalendářní rok nebo které byly uvedeny do volného daňového oběhu v jiném členském státě Evropské unie a jsou dodávány na daňové území České republiky pro dopravní účely za kalendářní rok, bylo obsaženo i minimální množství biopaliva podle jiného právního předpisu upravujícího pohonné hmoty

a) ve výši 4,1 % objemových z celkového množství motorových benzinů přimíchaných do motorových benzinů,

b) ve výši 6,0 % objemových z celkového množství motorové nafty přimíchaných do motorové nafty“ (Zákonyprolidi.cz, 2016).

V zákoně se tedy nehovoří o přimíchávání bioložky do každého litru paliva, ale je zde dána jistá volnost. Prodejci jsou povinni dodržet stanovené množství za celý kalendářní rok.

Zatímco zákon udává minimální množství obsažené v celkovém množství paliva uvedené na trh za celý kalendářní rok, v případě českých státních norem, konkrétně ČSN

EN 590 je naopak jasně daný maximální možný poměr obsažený v motorové naftě. V případě bezolovnatého benzínu jsou mezní hodnoty uvedeny v normě ČSN EN 1601 vydanou 1. 9. 2014. V tabulce č. 16 jsou uvedeny vlastnosti motorové nafty, které jsou obsahem zmiňované normy.

Tab. 16 – Mezní hodnoty motorové nafty podle ČSN EN 590 (Matějovský, 2005)

Vlastnost	Jednotky	Min.	Max.
Cetanové číslo		51	–
Cetanový index		46	–
Hustota při 15 °C	kg/m ³	820	845
Polycyklické aromatické uhlovodíky	% (m/m)	–	8
Obsah síry	mg/kg	–	10
Bod vzplanutí	°C	> 55	–
Karbonizační zbytek (vztaženo na 10 % destilačního zbytku)	% (m/m)	–	0,3
Obsah popela	% (m/m)	–	0,01
Obsah vody	mg/kg	–	200
Celkový obsah nečistot	mg/kg	–	24
Korozivní působení na měď (3 h při 50 °C)	stupeň koroze	třída 1	
Obsah methylesterů mastných kyselin (FAME)	% (V/V)	–	7
Oxidační stabilita	g/m ³	–	25
	h	20	–
Mazivost, korigovaný průměr oděrové plochy (wsd 1,4) při 60 °C	µm	–	460
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	2	4,5
Destilační zkouška			
Při 250 °C predestiluje	% (V/V)	85	< 65
Při 350 °C predestiluje	% (V/V)		
95 % (V/V) predestiluje při	°C		360

Norma tedy udává maximální možné množství bioložek, které mohou být obsaženy v palivu. Tím jsou okleštěny možnosti prodejců při míchání tak, aby bylo palivo po celý rok v podobném poměru. Zároveň jsou normou popsány maximální množství vody a obsah nečistot, tedy složky, které lze přisuzovat právě obsahu biosložek především u starého nespotřebovaného paliva.

Poměr biopaliv je často řešen na půdě evropské komise. Již od roku 2003 byl vydán plán, podle kterého měl být poměr biosložek v palivech 10 %. Tato hodnota se diskutovala pro nadměrné výrobní náklady a zároveň vzniklé emise výfukových plynů při výrobě biopaliv. Nakonec se ustálila hodnota, které má být docíleno 7 % poměru biosložek v palivech.

5 Materiál a metody

Pro dosažení výše zmíněných cílů práce bylo provedeno měření v laboratořích Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity v Brně. V laboratořích lze měřit provozní parametry motorových vozidel. Laboratoře jsou tvořeny zkušebnami pro traktory, automobily, popřípadě užitkové automobily a nákladní automobily.

Pro zjištění vlivu biopaliv na složení výfukových emisí bylo využito osobního automobilu se zážehovým motorem a traktoru se vznětovým motorem.

Pro měření parametrů zážehového motoru byl zvolen osobní automobil Fiat Uno 1,0 Ie. Pro měření parametrů vznětového motoru byl vybrán traktor John Deere 5080 RN.

5.1 Testovaný osobní automobil

Pro měření zážehového motoru bylo zvoleno vozidlo Fiat Uno 1,0 Ie, viz obr. 4. Motor byl nepřepřínovaný, s jednobodovým vstřikováním paliva. Jedná se o typ BOSCH Mono-Jetronic. Regulace bohatosti směsi byla měřena kyslíkovým snímačem (lambdasondou) a výfuk byl opatřen třicestným katalyzátorem.

Pro spalování směsného paliva byl automobil upraven tak, aby bylo možno s touto úpravou automobil použít oba druhy měřených paliv. Podrobnější úpravy jsou popsány v následujících kapitolách.



Obr. 4 - Fiat Uno 1.0 Ie

V tabulce č. 17 jsou popsány jednotlivé parametry motoru testovaného automobilu.

Tab. 17- Technická data automobilu FIAT UNO 1,0 le

Výrobce	FIAT SA Torino Itálie
Rok výroby	1991
Proběh	130 000 km
Typ motoru	FIRE- OHC
Počet válců	4
Zdvihový objem	999 cm ³
Jmenovitý výkon	33 kW při 5250 min ⁻¹
Maximální točivý moment	74 Nm při 3250 min ⁻¹
Vrtání	70,4 mm
Zdvih	64,9 mm
Stupeň komprese	9,0
Palivo	Natural 95
Chlazení	kapalinové
Vstřikovací systém	BOSCH, Mono - Jetronic
Emisní norma	EHK č. 83.02 B

5.1.1 Úprava automobilu

Pro přestavbu byl zvolen způsob, který je nenáročný a především u testovaného motoru nevyžaduje žádný zásah do jeho konstrukce. Byl zvolen jednopalivový systém, který spočívá ve vyřazení stávající palivové soustavy a její nahrazení jinou palivovou nádrží.

Nová nádrž byla vyrobena z ocelového plechu. Ve spodní části byla opatřena vypouštěcím ventilem. Její objem činil 12 l. Do nádrže bylo nainstalováno palivové čerpadlo se sacím košem. Bylo zvoleno dvoustupňové odstředivé čerpadlo, které je schopno dosahovat tlaku 0,2 MPa a průtoku přibližně 1700 cm³ paliva za minutu.

Od něj bylo nainstalováno nové palivové vedení. Jedná se o pryžové potrubí o průměru 6 mm, určeno pro dopravu ropných látek. Před napojením potrubí na vstřikovací systém byl nainstalován palivový filtr. Součástí instalace bylo navedení zpětného vedení paliva do nádrže.

Původní palivová soustava byla vyřazena z provozu a na vstříkovač byla připojena nová soustava. Po instalaci bylo třeba otestovat, jakým způsobem bude reagovat řídicí jednotka na nové palivo a popřípadě změnit její nastavení. To se nakonec ukázalo jako bezpředmětné.

5.2 Testovaný traktor

Traktor zvolený na testování vznětového motoru pochází z produkce americké značky John Deere. Jedná se o model John Deere 5080 RN viz obr. 5.



Obr. 5 - John Deere 5080 RN

Traktor je osazen přeplňovaným motorem s mezichladičem plnicího vzduchu. Systém vstřikování paliva je Common Rail. Stroj byl vyroben v roce 2009 a splňuje emisní normu

Stage IIIA .rok výroby 2009. Traktor měl odpracováno 64 hodin. Technické parametry traktoru jsou uvedeny v tab. 17.

Tab. 17- Parametry traktoru JohnDeere

Výrobce	John Deere
Rok výroby	2009
Proběh	64 Mh
Motor	
Model	Powertech M
Výkon	64 kW
Maximální točivý moment	334 Nm
Jmenovité otáčky	2300 min ⁻¹
Počet válců	4
Objem motoru	4525
Chlazení motoru	kapalinové
Plnění motoru	Vysokotlaké Common Rail s elektronicky řízenými vstřikovači
Vstřikovací systém	Turbokompresorem bez regulace plnicího tlaku s mezichladičem pro plnicí vzduch
Emisní norma	Stage IIIA
Spojka	
Typ	PermaClutch II, vícelamelová olejem chlazená, průměr lamel 225 mm
Převodovka	
Typ	PowerQuad Plus, 4 ^o násobič, 4 ^o stupněv hlavní převodovce, 2 ^o redukce
Počet převodových stupňů	32 vpřed/ 32 vzad
Pohon pojezdu	4K4
Zadní vývodový hřídel	
Spojka vývodového hřídele	Vícelamelová, elektrohydraulicky ovládána, olejem chlazená
Otáčky motoru při 540/540E hřídel	2097/1701 min ⁻¹

5.3 Použité měřicí přístroje

Jak již bylo uvedeno, měření probíhalo v, laboratořích Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity v Brně. Pro měření parametrů vznětového motoru byla použita traktorová zkušebna. Měření probíhalo přes vývodový hřídel za pomoci vířivého dynamometru VD 500. Měření probíhalo dle metodiky OECD, která stanovuje podmínky pro měření parametrů traktorových motorů přes vývodový hřídel.

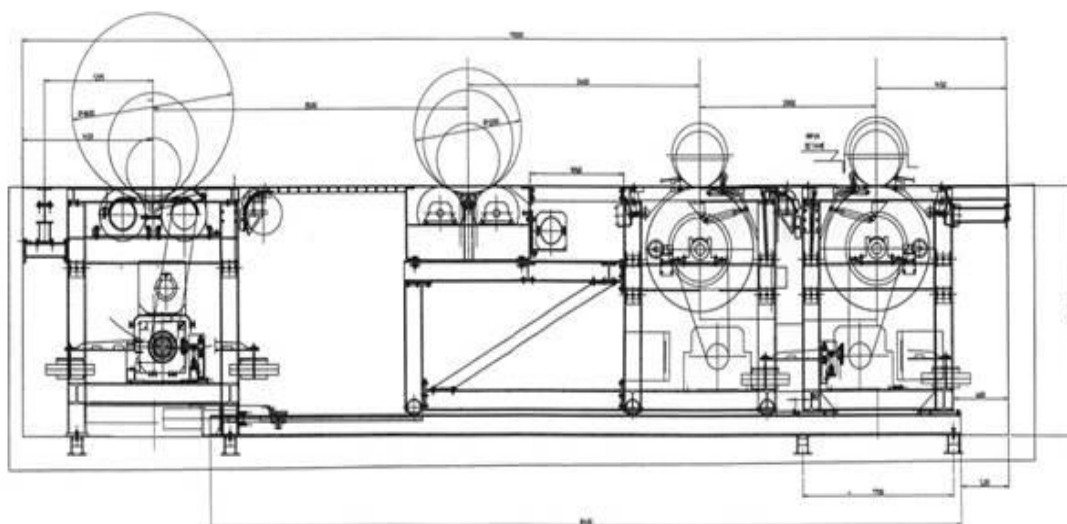
Pro měření parametrů zážehového motoru byla použita vozidlová zkušebna MEZ 4 VDM E120-D

5.3.1 Vozidlová zkušebna MEZ 4 VDM E120-D

Pro měření parametrů zážehového motoru byla použita vozidlová zkušebna MEZ 4 VDM E120-D, jejíž parametry jsou popsány v tabulce č. 18.

Tab. 18- Technická data vozidlové zkušebny (zkusebna.wz.cz)

Maximální zkušební rychlost [kmh^{-1}]	200
Maximální výkon na nápravu [kW]	240
Maximální hmotnost na nápravu [kg]	2000
Průměr válců [mm]	1200
Šířka válců [mm]	600
Vzdálenost mezi válci [mm]	900
Povrch válců	zdrsnění RAA 1,6
Setrvačná hmotnost válců na nápravu [kg]	1130
Minimální rozvor [mm]	2000
Maximální rozvor [mm]	3500
Zatížitelnost krytí v místě jízdy [kg]	2000
Zatížitelnost krytí v místě chůze [kg]	500
Tlak vzduchu [bar]	4
Rozsah měření rychlosti [kmh^{-1}]	0-200
Rozsah měření sil [kN]	$4 \times \pm 5$
Přesnost měření rychlosti [kmh^{-1}]	$\pm 0,01$
Přesnost měření sil [%]	$\pm 0,25$
Přesnost regulace rychlosti [%]	$\pm 0,1$
Přesnost regulace sil [%]	$\pm 0,5$



Obr. 6 - Schéma automobilové zkušebny (zkusebna.wz.cz)

Automobilová zkušebna pochází z produkce české firmy MEZSERVIS spol. s r.o. Vsetín. Do laboratoří MENDELU byla nainstalována v roce 2000. Je vybavena čtyřmi nezávisle řízenými elektrickými dynamometry, na které se přenáší tahová síla z každého kola prostřednictvím párových válců o průměru 1200 mm přes planetové převodovky a ozubené řemeny. Schéma této vozidlové zkušebny je na obr. 6.

Vozidlová zkušebna má rozvor stavitelný od minima 2000 mm. Maximální měřitelná tahová síla je 200 kN a tahový výkon na kolech 420 kW. Tyto parametry jsou dosažitelné v rozsahu rychlostí 0 – 200 km/h. Charakter povrchu měřících válců se blíží svými adhezními vlastnostmi betonové vozovce. *“Celkově může být z této části traktorové zkušebny snímáno 95 veličin s uvedenou frekvencí a v reálném čase zaznamenáváno. Stejně je zaznamenáváno resp. počítáno z přídatných měření dalších 52 veličin, například 9x teplotní údaje, 8x tlakové údaje, spotřeba paliva, otáčky motoru, barometrický tlak, kouřivost nebo emise u zážehových motorů apod.”* (P.Sedlák, V.Podlipný, 2001).

5.3.2 Vířivý dynamometr VD 500

Tak jako v prvním případě, i tento měřicí přístroj je výrobkem firmy MEZSERVIS spol. s r.o. Vsetín. Dynamometr je možné přistavit do osy traktorové zkušebny a připojit přes kloubový hřídel na vývodový hřídel traktoru.

Vířivý dynamometr využívá pro vytvoření brzdných účinků vířivé proudy uzavřené nakrátko v tělese magnetického obvodu. Ocelový rotor má tvar ozubeného kola. Budicí cívkou protéká stejnosměrný proud, jenž budí v magnetickém obvodu magnetický tok.

Rotor se otáčí v magnetickém poli statoru a vlivem střídání zubů a mezer rotoru se mění magnetický odpor magnetického obvodu. Tím se zároveň mění i magnetický tok, jehož změna způsobuje indukci napětí v magnetickém obvodu. Proto začnou obvodem protékat vířivé proudy.

Působením vířivých proudů se vytvoří brzdny moment. Jeho velikost lze upravovat změnou proudu v budící cívce. Energie vířivých proudů je dána energií, která je dodána zkoušenou pohonnou jednotkou, a mění se v tělese magnetického obvodu vířivé brzdy na teplo. K odvodu tohoto tepla musí být vířivá brzda vybavena účinným chladicím systémem (PTO). „Měřené a počítané veličiny tj otáčky, točivý moment, výkon motoru na PTO jsou opět zaznamenávány s frekvencí 18 Hz. Všechna použitá čidla jsou cejchována a pocházejí z produkce firem s certifikátem norem řady ISO 9000“ (P. Sedlák, V. Podlipný, 2001). Parametry vířivého dynamometru jsou uvedeny v tabulce č. 19.

Tab. 19- parametry vířivého dynamometru (P. Sedlák, V. Podlipný, 2001)

Typ dynamometru	Jednotka	V 500		
Otáčky	[min ⁻¹]	150	1500	3000
Moment	[Nm]	254	3184	1592
Výkon	[kW]	4	500	500
Zatížení	[-]	trvalé		
Chlazení	[-]	vodní		

5.3.3 Zkušebna emisní analýzy Bosch ESA 3.250

Tímto přístrojem byly měřeny výfukové emise osobního automobilu.

Přístroje Bosch ESA byla vyvinuta pro pracoviště určena pro měření emisí. Součástí přístroje je diagnostické rozhraní, které slouží k diagnostice a základnímu seřízení motoru.

ESA je systém, který se skládá z jednotlivých modulů a lze jej seskládat podle požadovaných funkcí. Jako základní moduly jsou ve většině případů použity sestavy pro měření emisí výfukových plynů vznětových motorů (ESA 3.110), zážehových motorů (ESA 3.140), případně kombinované měření zážehových i vznětových motorů (ESA 3.250). Přístroj umožňuje měření emisí motorů poháněných alternativními palivy jako LPG, CNG, metanol a další. V tomto případě je „součinitel lambda je vypočítán podle zvoleného druhu paliva (pouze v některých verzích analyzátoru)“ (Čupera, 2016).

Přístroj umožňuje měření mnoha dalších parametrů, jako jsou měření otáček, teploty oleje, zároveň je zde umožněno měření předstihu, dynamického předstřiku pomocí stroboskopické lampy. Podle funkcí nabízených řídicí jednotkou motoru je umožněno monitorování mnoha dalších parametrů (např. napětí lambda sondy, doba vstřiku). Další možností je funkce multimetru.

ESA kromě měření plynných emisí, případně kouřivosti, umožňuje provádět i jednoduché funkce motortesteru. Díky přístroji lze změřit předstih a dynamický předvstřik pomocí stroboskopické lampy případně snímače HÚ, úhel sepnutí má možnost zobrazit i signály (např. napětí lambda sondy, doba vstřiku,...) a nabízí i funkci multimetru.

„Součástí softwaru ESA je databanka předepsaných hodnot některých vozidel a databanka zákazníků. Databanku předepsaných hodnot ostatních vozidel lze doplnit jako zvláštní výbavu. Tiskne protokoly o měření emisí se všemi náležitostmi, automaticky čísluje protokoly, hlídá platnost osvědčení techniků, zajišťuje vedení evidence kontrolních nálepek, osvědčení a vypracovává pravidelná hlášení. Emisní systémová analýza je určena nejen pro úřední měření emisí, ale také pro diagnostiku a základní seřízení motoru. Jedná se o modulárně řešený systém, ve kterém je modul analyzátoru ETT 8.70/ETT 8.71, opacimetru RTM 430 i měřicí modul MTM plus řízen počítačem“ (Čupera, 2016).



Obr. 7 - Systém EMS (web2.mendelu.cz)

Na obrázku č. 7 je EMS. Jednotlivé modely jsou označeny:

- 1/ monitor,
- 2/ dálkové ovládání,
- 3/ inkoustová tiskárna,
- 4/ měřicí modul MTM Plus,
- 5/ modul opacimetru RTM 430,
- 6/ klávesnice,
- 7/ PC modul,
- 8/ modul analyzátoru ETT 008.70-1,
- 9/ dílenský vozík.

5.3.4 Emisní zkušebna Infralit CL

Pro měření složek výfukových plynů vznětového motoru traktoru byl použit čtyřsložkový infraanalyzátor Infralit CL od výrobce Saxon – Junkalor. V samotném přístroji byly provedeny úpravy v plynné cestě, které plynuli z použití přístroje pro specifické měření pouze výfukových emisí vznětových motorů.

V případě plného zatížení motoru dosahuje teplota emisí příliš vysoké teploty. Proto je nutné výfukové plyny chladit v externím chladiči s kondenzační komorou. Komoru je nutné po každém měření vypustit, i když nebyl v průběhu měření žádný kondenzát v chladiči, ani v celém vedení. Pevné částice z výfukových plynů byly zachyceny na papírové vložce filtru. Interní měřicí systém slouží k vyhodnocení tlakové poměrů v potrubí a slouží jako spolehlivý snímač limitního zanesení filtru. Zpracování výstupních údajů analyzátoru probíhalo na externím PC v prostředí LabVIEW a a dále distribuováno po síti Ethernetu.

Měřicí rozsah přístroje:

CO: 0 – 10 % (rozlišení 0,001%)

CO₂: 0 – 20 % (rozlišení 0,01%)

HC: 0 – 2500 ppm (rozlišení 1 ppm)

Lambda: 0 – 9,999 (Brettschneider bez respektování No_x)

5.3.5 Opacimetr Bosch RTM 430

U vznětového motoru traktoru posloužil pro měření kouřivosti (opacity) modul opacimetru Bosch RTM 430. Měřené výfukové plyny bylo třeba ochladit na maximální přípustnou teplotu na odběrové sondě v hodnotě 250 °C. Ochlazení probíhalo v měděném chladiči tak, aby byla respektována světlost a délka celého vedení vzorku. Data získána z modulu jsou zpracována pomocí systémové analýzy ESA 3.250, odkud jsou odeslána do serveru zkušebny.

Technické parametry přístroje:

Měřicí rozsah kouřivosti: 0 – 100 % (rozlišení 0,1 %)

Součinitel absorpce k: 0 – 10 m⁻¹ (rozlišení 0,01 m⁻¹)

5.3.6 Ostatní měrné hodnoty

U zážehového motoru byly měřeny otáčky motoru a to pomocí analyzátoru 3.250, který byl spojen se serverem zkušebny. Analyzátor byl připojen na zapalovací soustavu motoru. Odtud jsou generovány napěťové impulsy, podle kterých jsou vypočítány otáčky motoru.

V případě vznětového motoru se jedná o podstatně mladší stroj, který je vybaven sběrnici CAN-BUS. Díky tomu lze z motorové řídicí jednotky sledovat otáčky motoru, zatížení motoru, teplotu oleje, teplotu chladicí kapaliny, teplotu paliva a další hodnoty. Výsledky měření byly posílány po síti Ethernetu do serveru zkušebny.

5.4 Zpracování naměřených dat

Pro potřeby diplomové práce proběhlo měření u osobního automobilu pouze vnější otáčkové charakteristiky, u traktoru bylo využito pouze jmenovité otáčkové charakteristiky.

5.4.1 Jmenovitá otáčková charakteristika motoru

Pro vytvoření jmenovité charakteristiky testovaného traktoru proběhlo patnáctibodové měření otáčkové charakteristiky. Každé měření se zahájilo po ustálení teplot a tlaků provozních náplní motoru dle zásad doporučených výrobcem.

Pro měření byla nastavena plná dodávka paliva, vypnuta klimatizace a zapnut pohon zadního vývodového hřídele. Teplota paliva se pohybovala v rozmezí 50,4 až 70,4 °C. Tato hodnota byla snímána pomocí sběrnice CAN-BUS.

5.4.2 Měření vnější otáčkové charakteristiky

Automobil se zážehovým motorem byl podroben měření na válcovém dynamometru. Bylo třeba provést kalibrační zkoušku.

5.4.2.1. Měření a kalibrační zkoušky

Kalibrační zkouška závislosti rychlosti vozidla na otáčkách motoru

Při této kalibraci je zjištěna závislost rychlosti vozidla při jednotlivých rychlostních stupních na otáčkách motoru.

Kalibrace statické zkoušky výkonu

Jedná se o zjištění závislosti velikosti pasivních odporů na rychlosti vozidla. Pro stanovení přesného výkonu motoru je nutné znát množství energie, která se zmaří trakčním vedením. Jízdní odpory se měří na každém kole hnací nápravy zvlášť. Kalibrace byla provedena na válcové vozidlové zkušebně, na které bylo posléze prováděno měření.

Dynamické měření výkonu

Při dynamickém měření jsou krátkodobě zatíženy kola na hnací nápravě odporem válců zkušebny. Tento odpor je přenášen přes stator na měřicí zařízení. Výhodou této metody je možnost měření krouticího momentu v celém rozsahu otáček motoru. Výkon motoru lze vypočítat stejně jako v předchozím případě podle rovnice uvedené později.

Za nevýhody tohoto měření lze označit nemožnost měření emisí. Dále lze uvažovat o nepřesnosti měření a to z důvodu velice krátké doby, po kterou měření probíhá. Po tuto krátkou dobu nedojde ke stabilizaci vnitřních teplot motoru, což může ovlivnit výkonovou křivku motoru.

Statické měření výkonu motoru

Dynamometr je nastaven na konkrétní rychlost a podle toho jsou nastaveny přesné otáčky motoru. Měření probíhá ve dvou fázích. V první je třeba ustálit motor na stabilní hodnoty otáček. Ve druhé části dochází k samotnému měření. Každé měření probíhá alespoň třikrát, aby bylo možné dostatečně eliminovat chyby při měření. Výkon motoru se vypočte podle rovnice pod odstavcem. Při měření vnější otáčkové charakteristiky musí být škrticí klapka naplno otevřena.

$$P_e = \frac{M_t \cdot \pi \cdot n}{30000} \quad [kW]$$

kde:

- $M_t \Rightarrow$ točivý moment [Nm]
- $n \Rightarrow$ otáčky motoru [min^{-1}]

6 Výsledky měření

V této kapitole jsou uvedeny naměřené hodnoty. Jednotlivé údaje jsou rozděleny podle měření na zážehový a vznětový motor.

6.1 Zážehový motor

U zážehového motoru byly porovnávány parametry při spalování naturalu N95, o kterém lze hovořit jako o palivu E4. Dále jsou to směsná paliva E 30 a E 85. Při zkoušce byly měřeny tyto hodnoty:

- obsah CO [%]
- obsah CO₂ [%]
- obsah NO_x [ppm]
- obsah HC [ppm]
- obsah O₂ [%]
- točivý moment [Nm]

Při měření emisí výfukových plynů byl měřen točivý moment motoru M_t [Nm]. Z naměřených hodnot byl vypočítán výkon motoru P_e [kW]. Jak vyplívá z naměřených hodnot, velikost točivého momentu M_t se téměř nezměnila v celém rozsahu otáček. Řídící jednotka motoru automaticky upravuje směs paliva a to konkrétně zvýšení jeho množství v souvislosti s větším množstvím etanolu obsaženým ve směsném palivu. Biopalivo obsahuje větší množství kyslíku, proto i ve výfukových plynech je obsažen větší poměr zbytkového kyslíku. Tento poměr snímá kyslíkový snímač a řídící jednotka upravuje stechiometrický poměr.

6.1.1 Obsah CO

Obsah CO ve výfukových plynech byl měřen při statické zkoušce a to na všechny uvedené druhy paliv. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v jednotkách procent. Tyto data jsou udány v tabulce č. 20. Graficky jsou údaje znázorněny v obrázku č. 8.

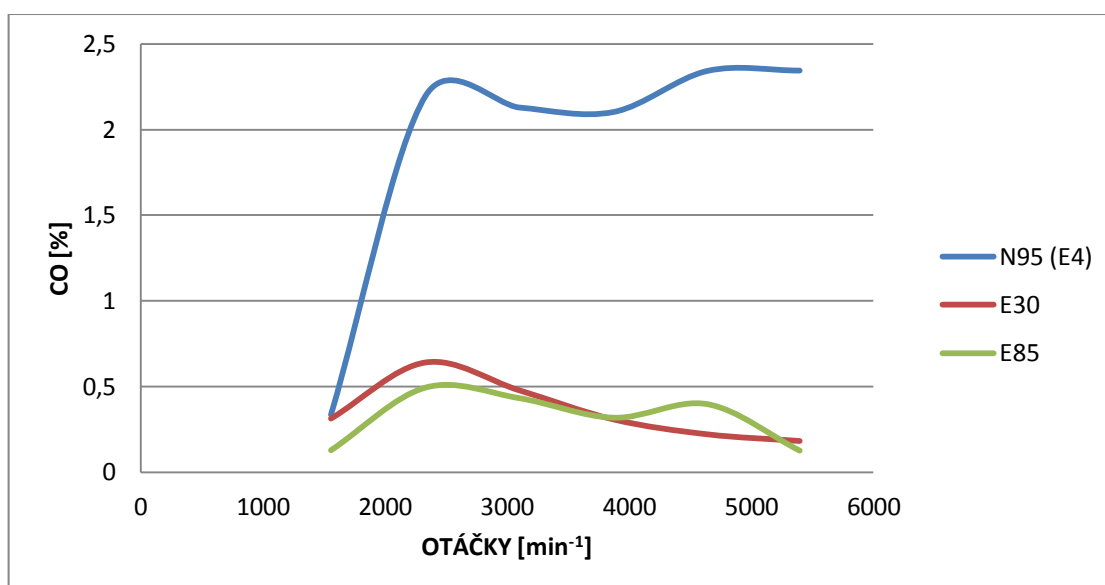
Jak z tabulky a z grafu vyplívá obsah, CO při spalování směsných paliv o vyšším procentu bioložky etanolu prudce klesl oproti spalování paliva N95 (E4).

Tento rozdíl je však patrný pouze porovnání směsného paliva a N95 (E4). To je způsobeno lepším prohořením směsi díky většímu obsahu kyslíku v etanolu. Díky tomuto faktu docházelo k přiblížení součinitele vzduchu λ k optimální hodnotě 1 a palivo se lépe spalovalo.

V porovnání obou směsných paliv je potom tento rozdíl jen velmi malý. Hodnoty se u směsných paliv pohybovaly v rozmezí 0,64 až 0,13 %.

Tab. 20 - Obsah CO ve výfukových plynech

OTÁČKY [min^{-1}]	CO [%] N95 (E4)	CO [%] E30	CO [%] E85
1555	0,333	0,313	0,129
2330	2,196	0,641	0,495
3100	2,128	0,478	0,433
3872	2,102	0,308	0,319
4641	2,342	0,221	0,398
5397	2,344	0,182	0,127



Obr. 8 - Obsah CO ve výfukových plynech

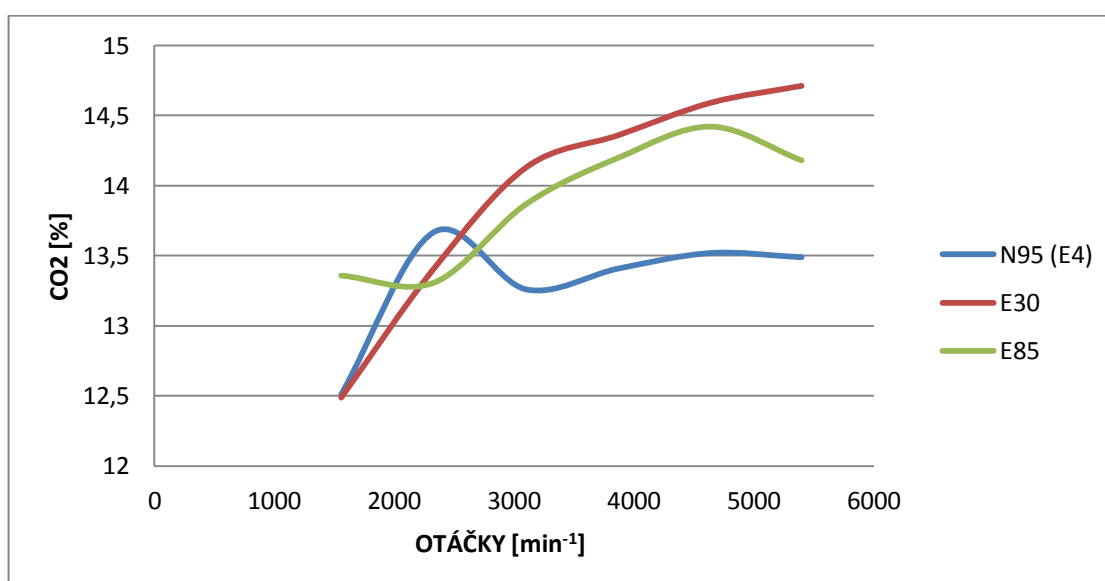
6.1.2 Obsah CO₂

Měření obsahu oxidů dusíku CO₂ probíhalo statickou metodou. Naměřené hodnoty, které jsou měřeny v jednotkách procent, jsou uvedeny v tabulce č. 22 a graficky znázorněny na obrázku č. 10.

Tab. 21 - Obsah CO₂ ve výfukových plynech

OTÁČKY [min ⁻¹]	CO ₂ [%] N95 (E4)	CO ₂ [%] E30	CO ₂ [%] E85
1555	12,51	12,49	13,36
2330	13,67	13,41	13,31
3100	13,26	14,13	13,87
3872	13,41	14,36	14,2
4641	13,52	14,59	14,42
5397	13,49	14,71	14,18

Z grafu je patrná podobná hodnota paliva N945 (E4) a E30 při otáčkách 1500 [min⁻¹]. Při navýšení otáček se již hodnota CO₂ u směsných paliv podstatně zvyšují. Jak již bylo dříve popsáno, řídicí jednotka zvýší dávku paliva. Zároveň dochází u etanolu k lepšímu prohoření směsi, a proto dochází ke vzniku většího množství CO₂ namísto CO.



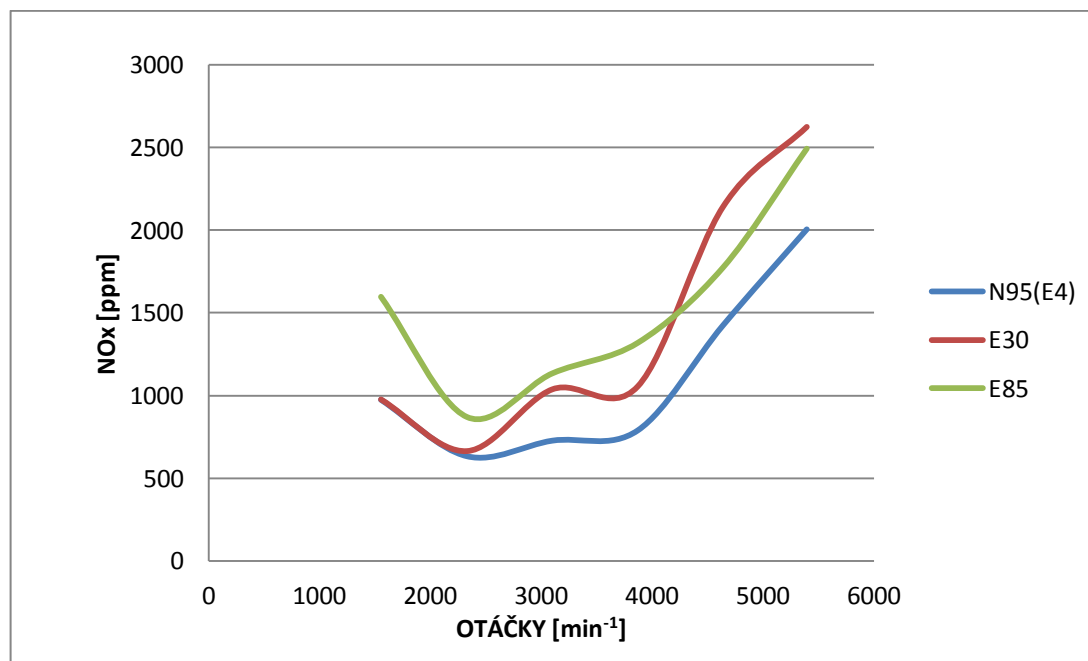
Obr. 9 - Obsah CO₂ ve výfukových plynech

6.1.3 Obsah NO_x

Měření obsahu oxidů dusíku NO_x probíhalo statickou metodou. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v jednotkách ppm (0,0001 %). V tabulce č. 22 jsou popsána naměřená data a graficky jsou znázorněny v obrázku č. 9.

Tab. 22 - Obsah NO_x ve výfukových plynech

OTÁČKY [min ⁻¹]	NO _x [ppm] N95 (E4)	NO _x [ppm] E30	NO _x [ppm] E85
1555	974	975	1596
2330	633	662	870
3100	727	1036	1133
3872	789	1054	1318
4641	1424	2142	1773
5397	2004	2626	2491



Obr. 10 Obsah NO_x ve výfukových plynech

Obsah oxidů dusíku je spjat s obsahem kyslíku. Díky přebytku kyslíku v etanolu se proto předpokládalo prudké navýšení obsahu NO_x ve výfukových plynech. V tomto případě však zasáhla elektronika motoru a automaticky byla zvýšena dávka paliva. Obsah NO_x byl proto zvýšený, ale pouze v malé míře. Celkově se však nedá objektivně hovořit o objektivní závislosti obsahu oxidů dusíku, neboť jejich vznik je závislý na mnoha dalších faktorech jako jsou teplota spalování a jiné.

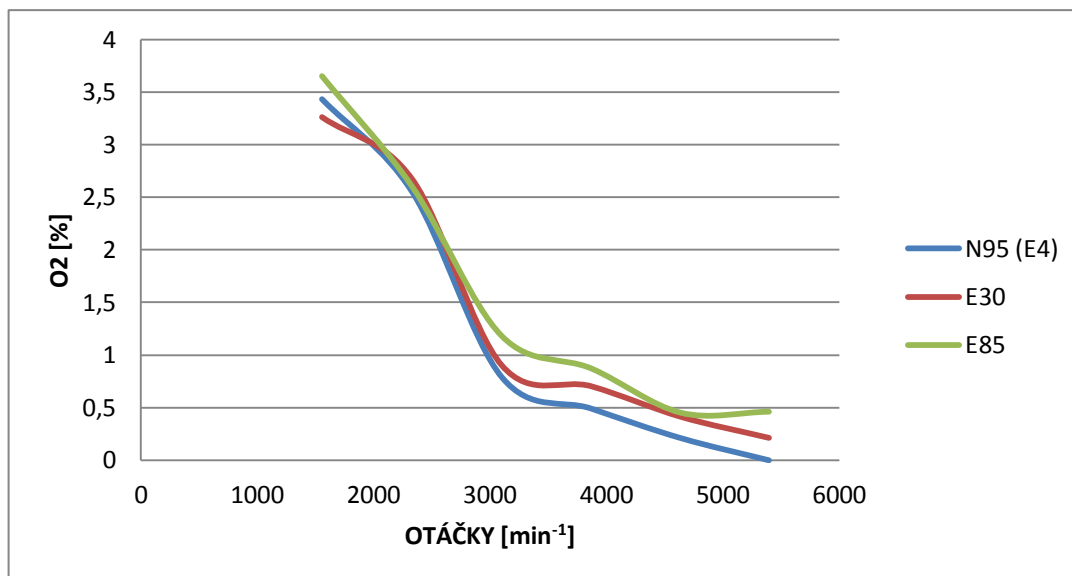
6.1.4 Obsah kyslíku O_2 ve výfukových plynech

Další měřenou hodnotou byl obsah zbytkového kyslíku ve výfukových plynech, který je udán v %. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 23 a graficky znázorněny na obrázku č. 11.

Tab. 23 - Obsah O_2 ve výfukových plynech

OTÁČKY [min^{-1}]	O_2 [%] N95 (E4)	O_2 [%] E30	O_2 [%] E85
1555	3,43	3,26	3,65
2330	2,55	2,67	2,6
3100	0,79	0,9	1,18
3872	0,49	0,7	0,87
4641	0,21	0,41	0,45
5397	0	0,21	0,46

Se zvyšujícím se obsahem etanolu v palivu lze předpokládat přímo úměrné zvyšování hodnot součinitele lambda. V grafu č. 4 jsou tyto lze pozorovat zvýšení hodnot λ , při zvyšujícím se poměrem etanolu v palivu však tyto hodnoty téměř nestoupily. Důvodem tohoto stavu je řízení motoru řídicí jednotkou, která má za úkol mimo jiné dávkovat palivo tak, aby se hodnota součinitele λ blížila 1.



Obr. 11 - Obsah kyslíku ve výfukových plynech

6.1.5 Obsah nespálených uhlovodíků HC ve výfukových plynech

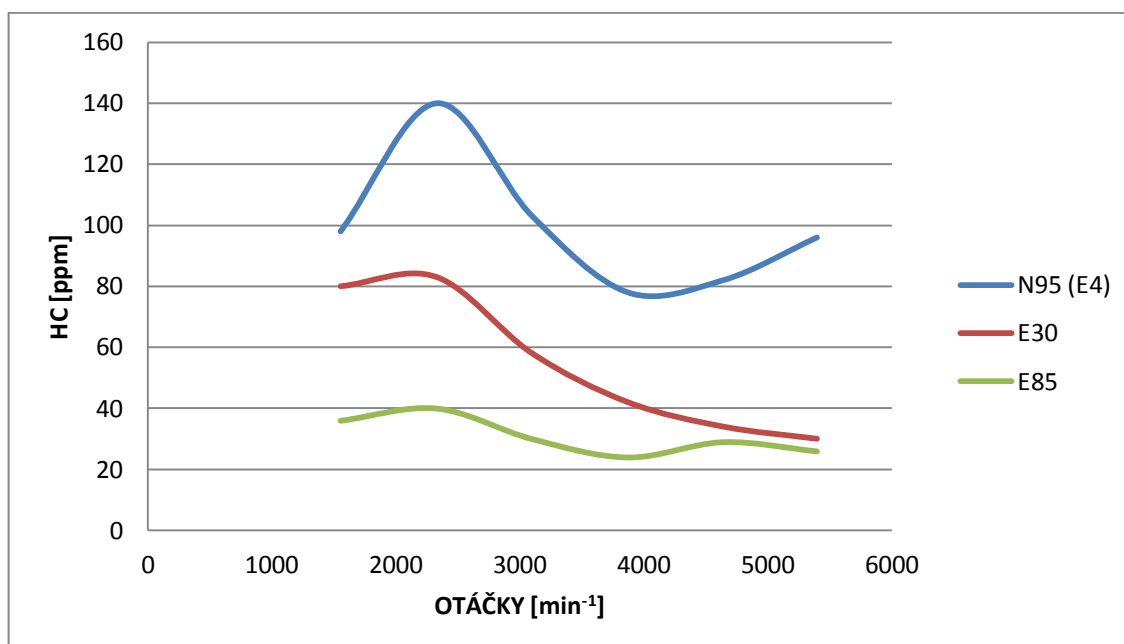
Obsah nespálených uhlovodíků HC v jednotkách ppm (0,0001 %) je měřen za třicestným katalyzátorem a jeho měření probíhá opět na při statické zkoušce. Naměřené hodnoty jsou popsány v tabulce č. 24 a graficky znázorněny na obrázku č. 12.

Tab. 24 - Obsah HC ve výfukových plynech

OTÁČKY [min ⁻¹]	HC [ppm] N95 (E4)	HC [ppm] E30	HC [ppm] E85
1555	98	80	36
2330	140	83	40
3100	103	58	30
3872	78	42	24
4641	82	34	29
5397	96	30	26

Obsah nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech výrazně klesal v závislosti na obsahu etanolu v palivu. I v tomto případě se jedná o lepší prohoření paliva, vlivem vyššího

obsahu kyslíku v etanolu. Vznik uhlovodíků je spojen s nízkou teplotou hoření, proto lze předpokládat vyšší teplotu hoření směsi vzduchu a biopaliva.



Obr. 12 - Obsah HC ve výfukových plynech

6.2 Vznětový motor

U vznětového motoru byly porovnávány emise výfukových plynů při spalování motorové nafty, směsné motorové nafty B30 (30 % MEŘO) a biopaliva MEŘO. V tomto případě byly hodnoceny parametry:

- obsah CO_2 [%]
- obsah CO [%]
- obsah C_xH_y [ppm]
- opacita [$1/m$]
- obsah O_2 [%]
- točivý moment [Nm]

Pro použití paliva je jedno z důležitých parametrů změna točivého momentu. Lze předpokládat jisté snížení při použití biopaliva, pokud by však byl tento rozdíl větší, mohlo by to ve skutečném provozu znamenat jízdu v jiném otáčkovém režimu, což by vedlo ke zvýšení spotřeby paliva a tím i zvýšení emisí při jízdě.

Rozdíl točivého momentu je znatelný především při nižších otáčkách. Hodnoty se postupně stabilizují a od cca 2100 min.⁻¹ se točivý moment u všech paliv téměř shoduje. Je to dáno nižší výhřevností biopaliva (37,5 MJ) oproti výhřevnosti motorové nafty (42,5 MJ). Při vyšších otáčkách se tento rozdíl minimalizuje díky kvalitnějšímu prohoření biopaliva vlivem většího obsahu kyslíku v palivu.

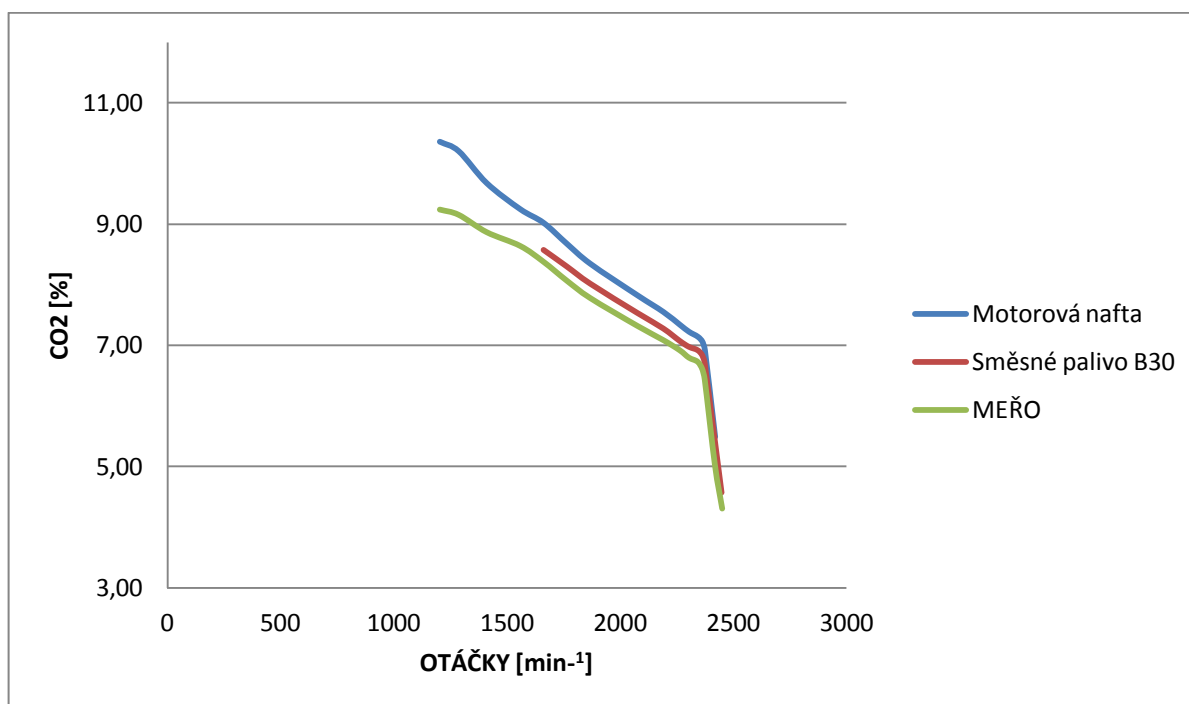
6.2.1 Obsah CO₂ ve výfukových plynech

Měření CO₂ bylo provedeno pro jednotlivá paliva v podobných otáčkových režimech. Obsah CO₂ je udáván v procentních bodech. Naměřené údaje jsou uvedeny v tabulce č. 25. Graficky jsou znázorněny na obrázku č. 13.

Tab. 25 - Obsah CO₂ ve výfukových plynech

OTÁČKY [min ⁻¹]	Nafta CO ₂ [%]	OTÁČKY [min ⁻¹]	B 30 CO ₂ [%]	OTÁČKY [min ⁻¹]	MEŘO CO ₂ [%]
2420	5,49	2450	4,57	2452	4,30
2375	6,92	2375	6,71	2420	5,03
2365	7,05	2365	6,84	2375	6,43
2344	7,14	2344	6,92	2365	6,60
2305	7,22	2305	6,98	2344	6,73
2265	7,34	2265	7,07	2305	6,80
2192	7,55	2193	7,28	2265	6,92
2077	7,83	2077	7,53	2192	7,09
1870	8,35	1870	8,01	2076	7,33
1766	8,68	1766	8,29	1869	7,78
1663	9,02	1663	8,57	1766	8,07
1560	9,25	1560	8,86	1662	8,38
1412	9,68	1412	9,26	1560	8,64
1289	10,21	1289	9,68	1412	8,87
1205	10,36	1205	9,80	1288	9,16
				1205	9,25

Z grafu je patrný rozdíl v obsahu CO₂ především v nižším otáčkovém režimu. Se zvyšujícími se otáčkami se naměřené hodnoty téměř sjednotily.



Obr. 13 - Obsah oxidu uhličitého ve výfukových plynech

6.2.2 Obsah CO ve výfukových plynech

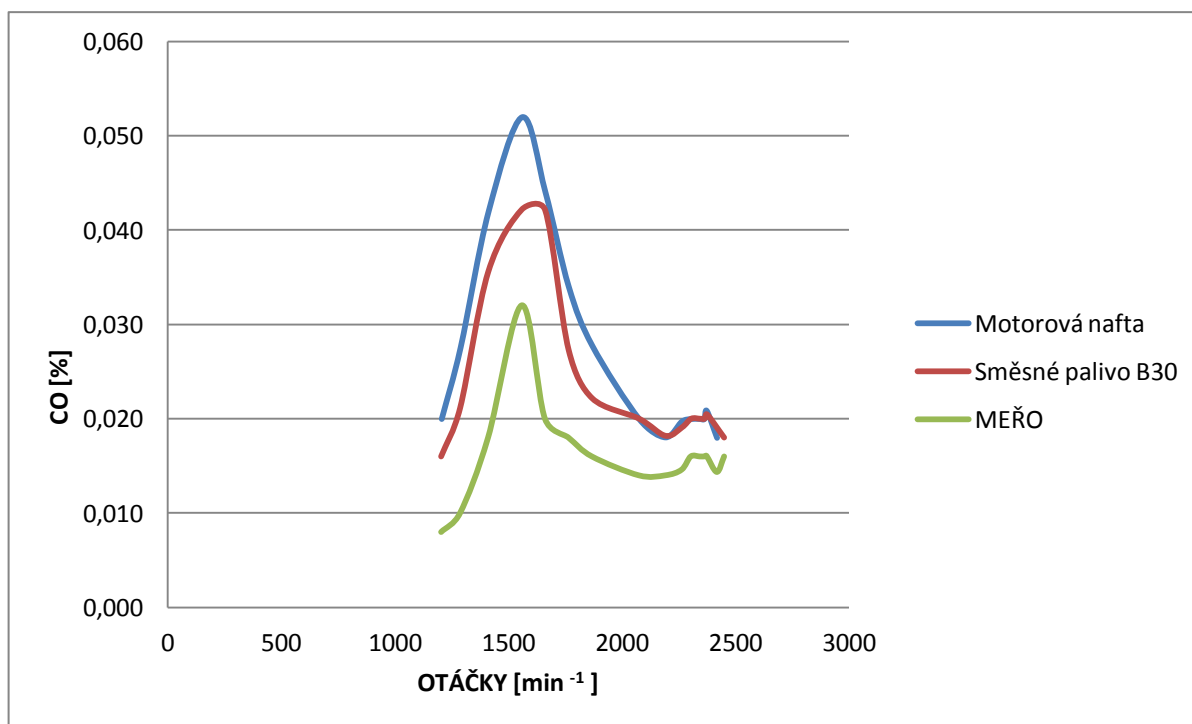
Měření obsahu CO probíhalo stejným způsobem jako předchozí jmenované. I tyto hodnoty jsou uvedeny v procentních bodech. Naměřená data jsou uvedena v tabulce č. 26 a graficky uspořádány na obrázku č. 14.

Tab. 26 - Obsah CO ve výfukových plynech

OTÁČKY [min ⁻¹]	Nafta CO [%]	OTÁČKY [min ⁻¹]	B30 CO [%]	OTÁČKY [min ⁻¹]	MEŘO CO [%]
2420	0,018	2450	0,018	2452	0,016
2375	0,021	2375	0,020	2420	0,014
2365	0,020	2365	0,020	2375	0,016
2344	0,020	2344	0,020	2365	0,016
2305	0,020	2305	0,020	2344	0,016
2265	0,020	2265	0,019	2305	0,016

2192	0,018	2193	0,018	2265	0,015
2077	0,020	2077	0,020	2192	0,014
1870	0,028	1870	0,022	2076	0,014
1766	0,034	1766	0,027	1869	0,016
1663	0,044	1663	0,042	1766	0,018
1560	0,052	1560	0,042	1662	0,020
1412	0,042	1412	0,036	1560	0,032
1289	0,028	1289	0,021	1412	0,018
1205	0,020	1205	0,016	1288	0,010
				1205	0,008

V případě obsahu CO je patrný rozdíl, kde se obsah snižuje v celé otáčkové charakteristice a to v závislosti na množství biopaliva. Oxid uhelnatý vzniká nedokonalým spalováním, díky vyššímu podílu kyslíku v biopalivu směs lépe prohoří a vznikne méně oxidu uhelnatého.



Obr. 14 - Obsah CO ve výfukových plynech

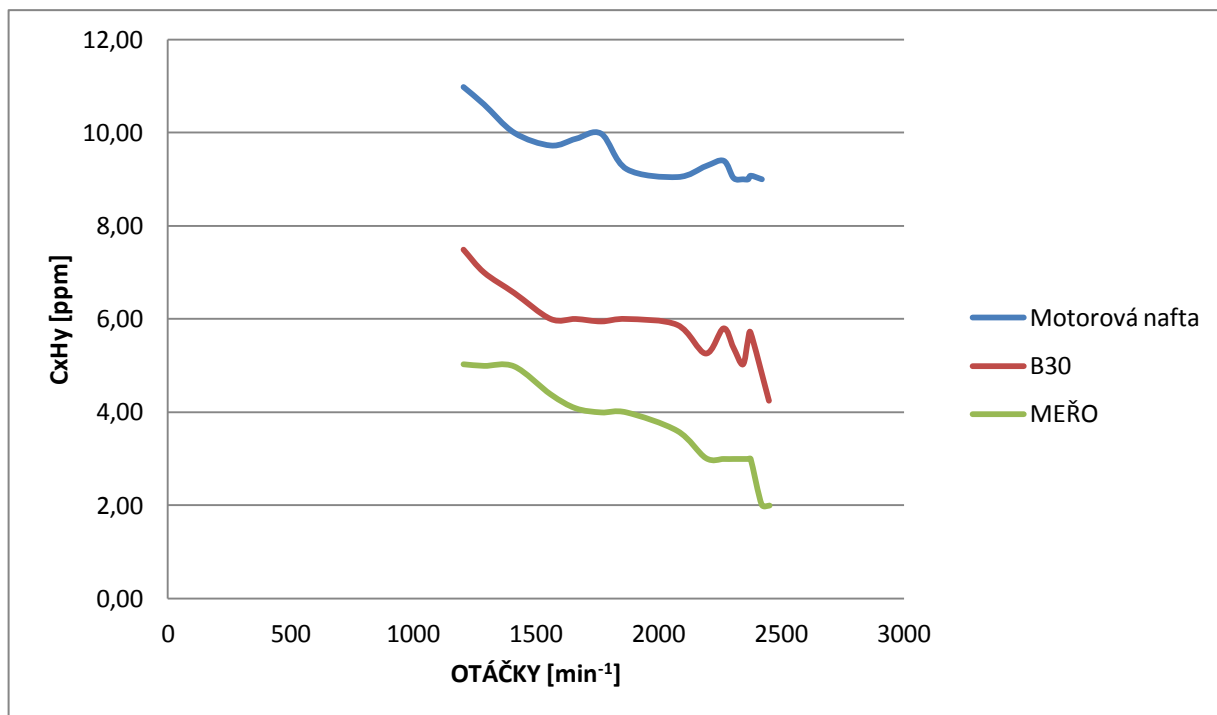
6.2.3 Obsah uhlovodíků C_xH_y ve výfukových plynech

Další sledovanou oblastí v hodnocení emisí vznětových motorů je obsah uhlovodíků. Jejich obsah je měřen v ppm (0,0001 %). Její složení je uvedeno v tabulce č. 27 a graficky znázorněno na obrázku č. 15.

Tab. 27 - Obsah C_xH_y ve výfukových plynech

OTÁČKY [min ⁻¹]	Nafta C _x H _y [ppm]	OTÁČKY [min ⁻¹]	C _x H _y [ppm]	OTÁČKY [min ⁻¹]	C _x H _y [ppm]
2420	9,00	2450	4,24	2452	2,00
2375	9,08	2375	5,71	2420	2,02
2365	9,00	2365	5,54	2375	3,00
2344	9,00	2344	5,02	2365	3,00
2305	9,03	2305	5,39	2344	3,00
2265	9,40	2265	5,80	2305	3,00
2192	9,28	2193	5,26	2265	3,00
2077	9,05	2077	5,87	2192	3,02
1870	9,22	1870	6,00	2076	3,60
1766	9,98	1766	5,95	1869	4,00
1663	9,87	1663	6,00	1766	4,00
1560	9,73	1560	6,00	1662	4,09
1412	10,00	1412	6,56	1560	4,39
1289	10,61	1289	7,00	1412	4,99
1205	10,99	1205	7,49	1288	5,00
				1205	5,03

Z grafu je patrná téměř přímá závislost obsahu uhlovodíků na obsahu biopaliv. Díky většímu obsahu kyslíku v biopalivu dochází ke kvalitnějšímu prohoření směsi. To má příznivý vliv na snižování obsahu C_xH_y ve výfukových plynech.



Obr. 15 - Obsah C_xH_y ve výfukových plynech

6.2.4 Součinitel absorpce kouřivosti

V technické praxi se častěji používá název, který je spojen s názvem měřicího přístroje, opacita, nebo také kouřivost. Hodnoty jsou uváděny jako součinitel opacit [1/m].

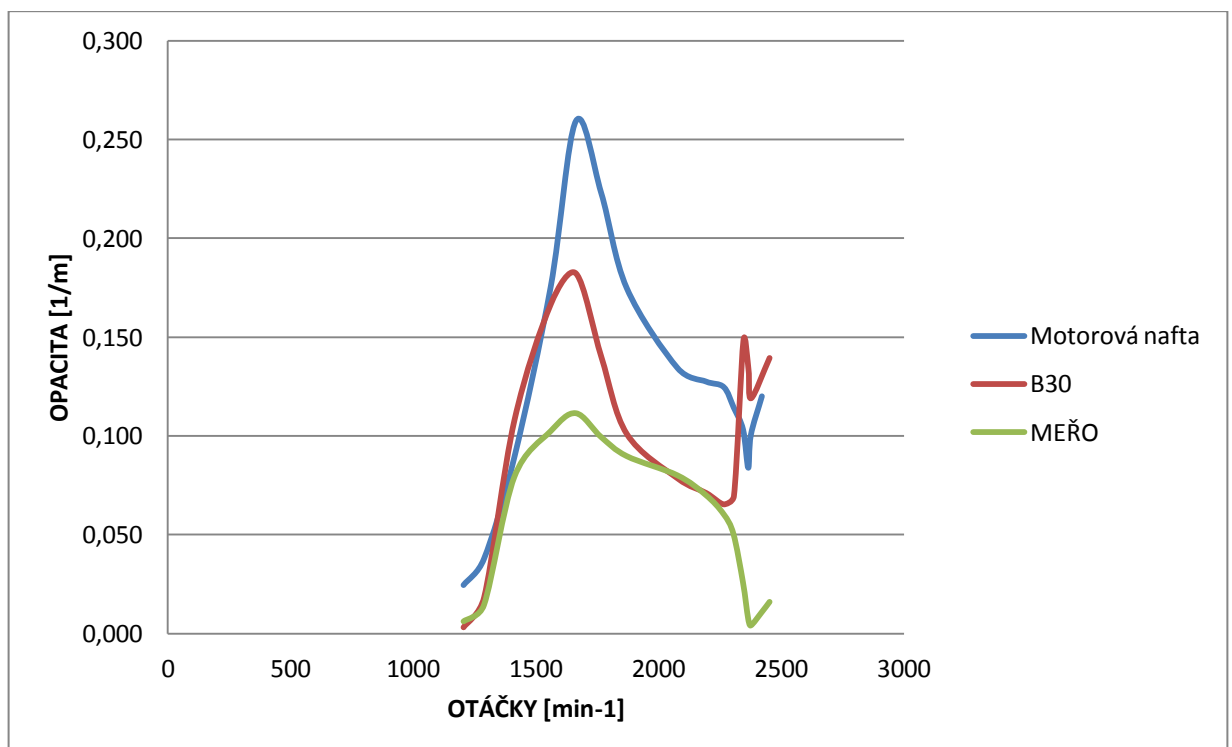
Tab. 28 - Hodnoty opacit výfukových plynů

OTÁČKY [min ⁻¹]	OPACITA [1/m]	OTÁČKY [min ⁻¹]	OPACITA [1/m]	OTÁČKY [min ⁻¹]	OPACITA [1/m]
2420	0,120	2450	0,139	2452	0,016
2375	0,100	2375	0,119	2420	0,011
2365	0,084	2365	0,133	2375	0,004
2344	0,103	2344	0,148	2365	0,008
2305	0,114	2305	0,070	2344	0,026
2265	0,125	2265	0,065	2305	0,050
2192	0,127	2193	0,071	2265	0,060
2077	0,134	2077	0,079	2192	0,070

1870	0,175	1870	0,101	2076	0,080
1766	0,223	1766	0,140	1869	0,090
1663	0,259	1663	0,182	1766	0,099
1560	0,175	1560	0,167	1662	0,111
1412	0,089	1412	0,108	1560	0,102
1289	0,038	1289	0,018	1412	0,079
1205	0,024	1205	0,003	1288	0,014
				1205	0,006

V nižších otáčkách jsou hodnoty kouřivosti téměř shodné u všech sledovaných paliv (viz tab. 28, obr. 16). Největší rozdíl opacity je při otáčkách 1766 min^{-1} , kdy je hodnota opacity nejvyšší v celém rozsahu otáček motoru. Zároveň se jedná o otáčky, při kterých bylo dosahováno maximálního točivého momentu. Proto je tento údaj velice přínosný.

U všech sledovaných paliv se hodnota opacity v otáčkách blížících se hodnotě 2400 min^{-1} zvyšuje, u paliva B30 se tato hodnota zvyšuje již v podstatně nižších otáčkách a hodnoty zvýšení jsou v porovnání s ostatními palivy natolik velké, že nelze předpokládat správné hodnoty bez poruchy.



Obr. 16 - Hodnota opacity výfukových plynů

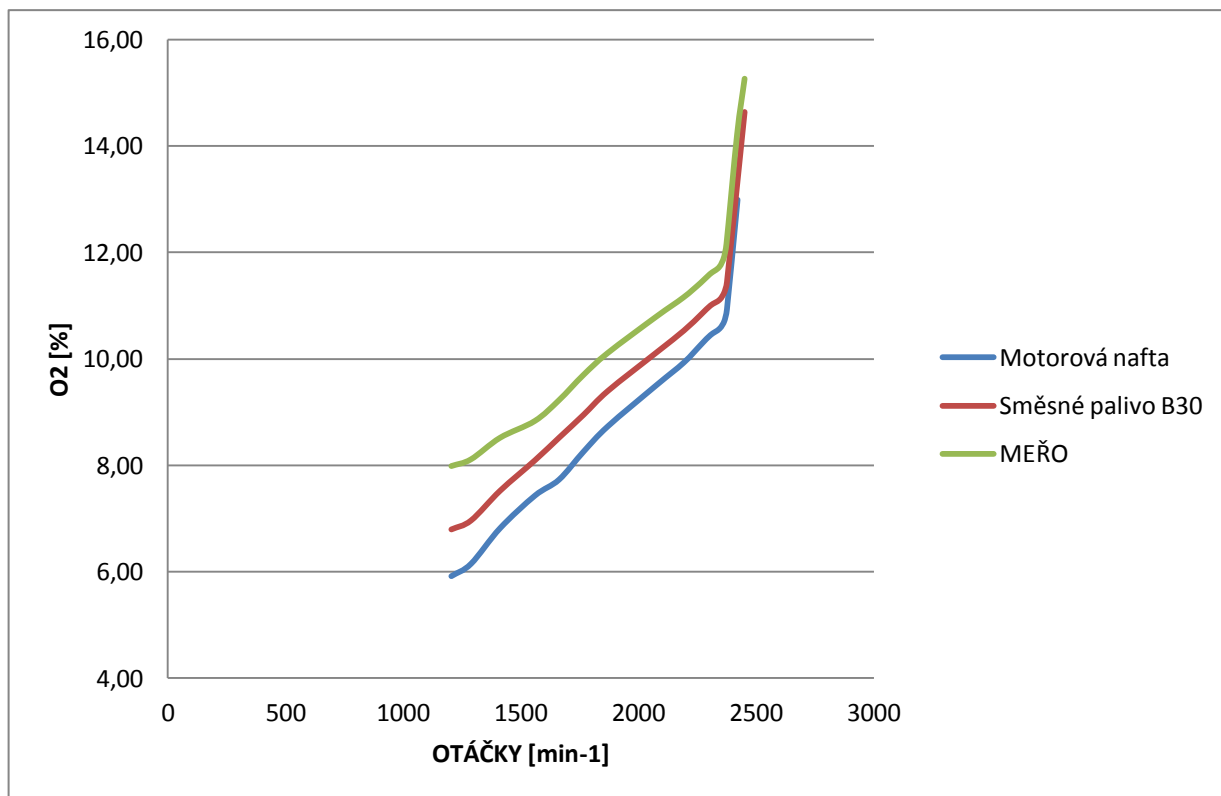
6.2.5 Obsah O₂ ve výfukových plynech

Pro výsledné emise výfukových plynů je důležitý obsah kyslíku v palivu. Ten ve výsledku ovlivňuje i obsah zbytkového kyslíku ve výfukových plynech. Jeho objem je uveden v tabulce č. 29 a na obrázku č. 17.

Tab. 29 - Obsah kyslíku ve výfukových plynech

OTÁČKY [min ⁻¹]	Nafta O ₂ [%]	OTÁČKY [min ⁻¹]	B30 O ₂ [%]	OTÁČKY [min ⁻¹]	MEŘO O ₂ [%]
2420	13,00	2450	14,64	2452	15,27
2375	10,94	2375	11,44	2420	14,22
2365	10,72	2365	11,25	2375	12,17
2344	10,57	2344	11,11	2365	11,91
2305	10,45	2305	11,00	2344	11,72
2265	10,27	2265	10,83	2305	11,60
2192	9,93	2193	10,53	2265	11,43
2077	9,51	2077	10,12	2192	11,16
1870	8,73	1870	9,39	2076	10,79
1766	8,26	1766	8,95	1869	10,11
1663	7,73	1663	8,52	1766	9,69
1560	7,43	1560	8,09	1662	9,22
1412	6,82	1412	7,52	1560	8,83
1289	6,15	1289	6,96	1412	8,52
1205	5,92	1205	6,79	1288	8,11
				1205	7,99

Při měření byl zjištěn rozdíl v obsahu zbytkového kyslíku především při volnoběžných otáčkách. Při zvyšujících otáčkách se rozdíly snižují. Při otáčkách 1205 min⁻¹ je rozdíl obsahu kyslíku 1 resp. 2 %. Při otáčkách 2420 resp. 2450 min⁻¹ je rozdíl v obsahu kyslíku 1,6 resp. 1,2 %.



Obr. 17 - Obsah kyslíku ve výfukových plynech

7 Diskuze

V praktické části diplomové práce byly měřeny a zpracovány data vznětového motoru traktoru John Deere 5080 RN a zážehového motoru osobního automobilu Fiat Uno 1,0 Ie. Vzhledem k rozdělení práce do dvou částí bude i diskuze rozdělena do dvou samostatných oddílů.

7.1 Osobní automobil

V případě osobního automobilu byly porovnávány emise výfukových plynů vznikajících při spalování konvenčního paliva Natural 95, které lze označit jako palivo E4 pro přídavek 4 - 5 % bioložky v jeho obsahu, dále byly použity směsná biopaliva E 30 a E85. Současně s emisemi výfukových plynů byl měřen točivý moment motoru a následně vypočten výkon motoru v jednotlivých otáčkách motoru.

Měření oxidu uhelnatého (CO) ve výfukových plynech ukázalo snížení jeho obsahu při navýšení obsahu bioložky nad stanovený minimální obsah daného zákonem. Z měření vyplynul rozdíl v hodnotách 70 % až 90 %. Jak již bylo v předchozích kapitolách popsáno, tento jev je způsoben lepším prohořením paliva z důvodu většího obsahu kyslíku v etanolu. Naopak lze z grafu pozorovat jen velmi malý rozdíl mezi směsnými palivy E 30 a E 85.

V případě obsahu oxidu uhličitého (CO₂) ve výfukových plynech se u směsných paliv s vyšším obsahem etanolu zvýšil a to o 5 až 7 %. Oxid uhličitý je plyn, který vzniká dokonalou oxidací uhlovodíkového paliva. Nárůst jeho obsahu souvisí s kvalitnějším prohořením paliva.

Dalším sledovaným parametrem byl obsah zbytkových uhlovodíků (HC). V případě Naturalu N 95 se jejich obsah při růstu otáček nejprve prudce zvýšil a to až do 2350 min⁻¹. Po překročení těchto otáček se začala hodnota obsahu uhlovodíků postupně snižovat.

V případě směsných paliv E 30a E 85 jsou naměřené hodnoty na mnohem nižší úrovni, a to až o 70 %. Celkově je průběh hodnot obsahu HC ve výfukových plynech u směsných paliv spíše klesající, při otáčkách převyšujících hodnotu 4500 min⁻¹ se hodnoty u obou paliv téměř sjednotily, zatímco v případě Naturalu N 95 začal obsah HC opět stoupat.

Při spalování vznikají dále oxidy dusíku NO_x , jejichž obsah úzce souvisí s obsahem kyslíku ve spalované směsi. Vzhledem k vysokému obsahu kyslíku v etanolu lze proto očekávat zvyšující se obsah těchto oxidů ve výfukových plynech.

Výsledky měření však naznačily zcela jiné hodnoty než původně očekávané. Měřené hodnoty byly u směsných paliv vyšší. V tomto případě lze konstatovat správnou funkci elektronického řízení motoru, kde je řídicí jednotka naprogramována takovým způsobem, aby mimo jiné udržovala hodnotu součinitele přebytku vzduchu λ na hodnotách blízcí sem optimální hodnotě 1. I z těchto výsledků je patrné zmiňované nastavení řídicí jednotky.

V případě použití paliv s rozdílným obsahem kyslíku v palivu se zvětší obsah zbytkového kyslíku ve výfukových plynech, který je snímán kyslíkovou sondou. Po vyhodnocení je řídicí jednotkou upravena dávka paliva tak, aby byl zachován potřebný poměr kyslíku ve výfukových plynech.

Posledním sledovaným parametrem a z něho vypočítaným údajem byl točivý moment M_t a výkon motoru P_e . Po prostudování naměřených hodnot lze hovořit o zcela minimálním rozdílu v hodnotách točivého momentu M_t a téměř identických údajů výkonu motoru P_e při použití všech tří druhů použitých paliv. Pouze v případě paliva E85 byl naměřen rozdíl v hodnotách při mezních otáčkách blízcí se 6000 min^{-1} .

I na těchto hodnotách lze sledovat dynamické řízení motoru pomocí elektronických řídicích systémů, kdy je ihned reagováno na změnu typu paliva a následné přizpůsobení dávky paliva přivedeného vstřikovací tryskou do spalovacího prostoru motoru. Pouze v mezních otáčkách u paliva E 85 toto neplatí. Předpokládá se, že bylo dosaženo mezní hodnoty maximální dávky paliva. V tomto případě by však bylo zapotřebí onu dávku ještě zvýšit.

7.2 Traktor

Při měření vznětového motoru byl zvolen traktor Johnn Deere 5080 RN. V tomto případě byly měřeny emisní limity výfukových plynů a točivý moment, podle kterého byl posléze vypočítán výkon motoru. Jako paliva pro porovnání byla zvolena motorová nafta, směsné palivo, MEŘO a směsné palivo B30.

Při porovnání obsahu oxidu uhličitého (CO_2) ve výfukových plynech lze pozorovat rozdílné hodnoty především v nízkých otáčkách motoru, se zvyšujícími otáčkami se hodnoty sjednotily. Rozdílné hodnoty v nižších otáčkách jsou způsobeny vyšší viskozitou a

vyšší teplotou odpařitelnosti biopaliva. Díky tomu se palivo hůře atomizuje a vzniklé kapičky se obtížněji odpařují. Celkově se obsah oxidu uhličitého s vyššími otáčkami snižuje. Je to dáno optimální dobou potřebnou k prohoření směsi paliva. Tuto závislost lze sledovat i u obsahu zbytkového kyslíku ve výfukových plynech. V tomto případě se jedná o téměř přesnou nepřímou úměru, kdy se s přibývajícím obsahem kyslíku zmenšuje obsah oxidu uhelnatého. Biopaliva obsahují větší množství kyslíku a proto i ve výfukových plynech je tento obsah větší. U obsahu oxidu uhelnatého (CO) je z grafu patrná závislost jeho množství ve výfukových plynech na obsahu bioložky v palivu. V metylester řepkového oleje (MEŘO) je obsaženo větší množství kyslíku, proto dochází k lepšímu prohoření paliva. Rozdíl v obsahu oxidu uhelnatého činil až při nejvyšším točivém momentu až 60 %.

Obsah uhlovodíků (C_xH_y) ve výfukových plynech je opět přímo závislý na obsahu biopaliva. Důvodem je jednak složení samotného paliva, ale především kvalitní spalování směsi, a teplota spalování. Uhlovodíky ve výfukových plynech vznikají při nižších teplotách hoření. Proto bylo nejméně uhlovodíků obsaženo ve výfukových plynech při použití paliva MEŘO a opět při nejvyšším točivém momentu motoru až o 60 %.

Emise, které jsou především u starších motorů přímo viditelné, je součinitel absorpce kouřivosti. Zdrojem kouřivosti nespálené palivo. Z toho je patrný důvod významného snížení součinitele absorpce kouřivosti u paliva B30, ale především u paliva MEŘO. V případě největšího nárůstu opacity byl naměřený rozdíl až 62 %.

Při hodnocení výkonu a točivého momentu zážehového motoru byl zmíněn nárůst dodávky paliva v závislosti na obsahu zbytkového kyslíku ve výfukových plynech, díky čemuž se hodnoty točivého momentu a výkonu motoru v celé otáčkové charakteristice téměř nemění. U vznětového motoru však takové řízení dodávky paliva neprobíhá. Proto lze sledovat pokles obou měřených hodnot u směsného paliva B30, ale především u paliva MEŘO. Příčinami tohoto poklesu jsou především vyšší viskozita biopaliva, díky čemuž se palivo hůře atomizuje a dále jeho vyšší teplota odpařitelnosti.

V roce 2010 uveřejnil Jan Hromádka odborný článek, ve kterém analyzuje měření a porovnání výfukových emisí při spalování motorové nafty a směsi motorové nafty s 5 % etanolu. Toto měření bylo provedeno na traktoru Zetor 7701. Jednalo se tedy o vznětový motor, který používá pro dávkování paliva klasické řadové vstřikovací čerpadlo. Toto palivo je pro běžnou spotřebu naprosto nevhodné pro svoji špatnou mísitelnost, jedná se však o velice zajímavé porovnání použití různých druhů paliv.

Při porovnání motorové nafty, B30 a MEŘA byl naměřen rozdíl točivého momentu až 4 % resp. 8 %. V porovnání motorové nafty a směsi s etanolem byl naměřen rozdíl pouze 2

– 3 %. Změna obsahu oxidu uhelnatého se u obou měření výrazně snížila při použití biopaliva. Stejně jako produkce HC, které bylo způsobeno u obou měření zapříčiněno zvýšeným obsahem kyslíku v biopalivu. Celkově však lze hovořit o příznivějších výsledcích naměřených hodnot při spalování paliva MEŘO, případně směsného paliva B30, než spalování směsi motorové nafty s etanolem. Jeho jediná výhoda potom spočívala v menším rozdílu v naměřeném točivém momentu. Je však nutné si uvědomit rozdíl v použitých traktorech. V případě vstřikovacího systému Common rail jsou vstřikovače jemnější. V případě klasického vstřikovacího systému lze odhadovat vstřikování většího množství paliva, neboť přimícháním etanolu se sníží viskozita směsného paliva. To může být důvodem poměrně malého rozdílu točivého momentu.

8 Závěr

Práce byla zaměřena na možnosti snižování emisí výfukových plynů, především s využitím biopaliv. V praktické části byla porovnávána běžná paliva, N 95 pro zážehový motor a motorové nafty pro vznětový motor. Jako biopaliva pro následné porovnání byla zvolena opět paliva, které jsou v určitém poměru dostupné k běžnému použití. Právě to byla jedna z podmínek při výběru vzorků paliv.

V obou případech bylo prokázáno podstatné snížení produkovaných výfukových emisí. V mnohých případech bylo dokázáno dostatečné snížení produkce nebezpečných látek při poměrně malém poměru biopaliv ve směsném palivu. Při stále se zpřísnujících emisních normách pro nově vyráběné automobily a pracovní stroje jsou právě směsná paliva jednou z cest vedoucích ke splnění těchto cílů.

Při měření jednotlivých parametrů osobního automobilu bylo dokázáno, jakým způsobem dokáže elektronika motoru rychle reagovat na změnu paliva v závislosti na obsahu kyslíku ve výfukových plynech.

Dnes se velmi často hovoří o využití biopaliv. Objevují se reakce, které biopaliva podporují, často se však objevují negativní reakce, které zpochybňují výrobu a využití biopaliv. Především se jedná o vysoké emise, které vznikají při pěstování a sklizni rostlin potřebných pro jejich výrobu. V této práci nebyla zmiňovaná problematika zkoumána, nicméně pouhý přídavek biosložky v klasických palivech znamená poměrně velký pokrok v omezení výfukových emisí.

9 Seznam literatury

1. **BAUER, F.** A kol. *Traktory a jejich využití*, Praha: Profi Press, 2013. ISBN 978-80-86726-52-6
2. **BIOM. CZ**, *Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85* [online]. 2010 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.bioethanole85.cz/prectete-si/zhodnoceni-ekologickeho-potencialu-paliva-e85>
3. **ČECH, J.** *Jak to je s palivem E85* [online]., 2014 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.club-honda.eu/clanek/jak-to-je-s-palivem-e85-aneb-debilizace-spolecnosti-pokracuje-56>
4. **ČUPERA, J.** Emisní systémová analýza. <Http://web2.mendelu.cz/> [online], 2016 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/esa.htm>
5. **ČUPERA, J.** Vozidlová zkušebna. <Http://web2.mendelu.cz/> [online]. 2003 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://zkusebna.wz.cz/>
6. **MATĚJOVSKÝ, Vladimír** *Automobilová paliva*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5
7. **DISELNET**, *Emission standards* [online]. 2013 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/standards/us/ld_ca.php
8. **EPS**, *Hluk z motorů a pneumatik* [online]. 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/hluk-z-motoru-a-pneumatik/>
9. **ELSBETT MUSEUM**, *Elsbett-Motor* [online]. 2001 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.elsbett-museum.de/funktionsweise/funktion.html>**ROPA**, *Biopalivo a biomasa* [online]. 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.ropa.cz/biopalivo-a-biomasa/>
10. **HROMÁDKO J.** *Využití etanolu ve vznětových motorech* [online]. 2010 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-etanolu-ve-vznetovych-motorech>

11. **KIZLINK, J.** *Biopaliva pro motorová vozidla: produkce, cena, legislativa* [online]., 2009 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz-kapalna-biopaliva/odborne-clanky/biopaliva-pro-motorova-vozidla-produkce-cena-legislativa>
12. **LAURIN, J.** *Rostlinné oleje jako motorová paliva* [online]. 2009 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/roslinne-oleje-jako-motorova-paliva>
13. **LAURIN, J.** *Uplatnění motorových biopaliv v dopravě v ČR* [online]. 2006 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3579-uplatneni-motorovych-biopaliv-v-doprave-v-cr>
14. **PEXA, P.** *P-Emise.pdf* [online]. České Budějovice, 2011 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://tf.czu.cz/~PEXA/Budejovice/Prednasky/P-Emise.pdf>
15. **POLCAR, A. ČUPERA, J. SEDLÁK, P.** Emise zážehového motoru při spalování paliva E85,... *Listy cukrovarnické a řepařské: odborný časopis pro obor cukrovka-cukr-líh*. 2014. sv. 130, č. 4, s. 149 -153. ISSN 1210-3306
16. **PUBLI, P.** *Palivové soustavy zážehových motorů se vstřikováním paliva* [online]. 2014 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/16.html>
17. **SEDLÁK, P. PODLIPNÝ, V.** *Vozidlové laboratoře ústavu základů techniky a automobilové dopravy MZLU v Brně* [online]. 2013 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/vozidlove-laboratore-ustavu-zakladu-techniky-a-automobilove-dopravy-mzlu-v-brne/>
18. **SEIDL, J.** *Emise výfukových plynů* [online]., 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu/>
19. **SVĚTVĚDY, S.** *Bionaftový pohon* [online]. 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://svetvedy.cz/bionaftovy-pohon/>

20. **SOUČEK, J.** *Výroba MEŘO z mastných kyselin* [online]. 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.soucek.pro/jiri/odborne-aktivity/podnikatelska-cinnost/vyroba-mero-z-mastnych-kyselin/>

21. **ŠPAČEK, R.** *Legislativní rámec a praxe v oblasti biopaliv v EU a USA* [online]. Berman Group a R. Špaček Consulting, 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.osel.cz/_files/6688_biopaliva%20v%20eu%20a%20usa.pdf

22. **VOJTÍŠEK, M.** *Jezdíme na rostlinný olej* [online], 2010 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/jezdime-na-rostliny-olej>

23. **VOJTÍŠEK M.** *Jezdíme na rostlinný olej* [online]., 2010 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/jezdime-na-rostlinny-olej>

24. **VLK, F.** *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno, 2004. ISBN 80-239-1602-5.

25. **ZÁKONYPROLIDI, Z.** *Zákon o ochraně ovzduší* [online]. 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201#cast4>