

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



**Porovnání řepkového a slunečnicového oleje
jako paliva**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Autor práce: Bc. David Podolský

Praha 2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. David Podolský

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Porovnání řepkového a slunečnicového oleje jako paliva

Název anglicky

Comparison of rapeseed and sunflower oils as engine fuels

Cíle práce

Cílem diplomové práce je porovnání řepkového a slunečnicového oleje při jejich použití jako paliva pro pohon spalovacích motorů. Porovnání bude realizováno na vznětovém přeplňovaném motoru se zaměřením na spotřebu paliva a emise během NRSC zatěžovacího cyklu.

Metodika

1. Úvod
2. Rozbor současného stavu (rostlinné oleje, problematika jejich spalování, porovnání s motorovou naftou)
3. Cíl a metodika práce
4. Výsledky (porovnání slunečnicového a řepkového oleje jako paliva pro spalovací motor během NRSC testu motoru)
5. Závěr

Doporučený rozsah práce

50-60

Klíčová slova

slunečnicový olej, řepkový olej, spalovací motor, spotřeba paliva, emise

Doporučené zdroje informací

HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
KAMEŠ, J. *Alternativní pohony automobilů*. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-127-6.
KAMEŠ, J. *Fosilní paliva : uhlí, ropa a zemní plyn*. Praha: [s.n.], 2012. ISBN 978-80-260-3499-5.
LINDER, J. – HALDERMAN, J D. *Automotive fuel and emissions control systems James D. Halderman, Jim Linder*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, 2006. ISBN 013110442.
Normy, periodika a firemní literatura

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 21. 12. 2016

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2018

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Porovnání řepkového a slunečnicového oleje jako paliva vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne

.....

Bc. David Podolský

V úvodu bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za odborné a také vstřícné vedení, poskytnuté rady a věcné připomínky při jejím zpracování. Rovněž děkuji České zemědělské univerzitě v Praze za poskytnutí měřících přístrojů a zařízení a možnosti naměřit experimentální část této práce. Dále bych rád poděkoval celému kolektivu, který se podílel na samotném měření experimentálních dat pro tuto diplomovou práci.

Abstrakt: Tato diplomová práce je zaměřena na porovnání řepkového a slunečnicového oleje při jejich použití jako paliva pro pohon spalovacích motorů. Teoretická rešerše práce se zabývá současnou problematikou biopaliv a jejich porovnáním s motorovou naftou. V experimentální části jsou uvedeny cíle a metodika práce, tedy postup měření i použité přístroje a zařízení. Výsledkem práce je porovnání testovaných paliv na základě spotřeby paliva a produkce emisí NO a CO₂ během NRSC testu motoru. Ze získaných dat vyplývá, že nejvhodnějším palivem pro pohon motoru traktoru Zetor Forterra 8641 je čistá motorová nafta s 5 obj. % řepkového oleje. U tohoto paliva byla zjištěna nejnižší spotřeba a produkce vybraných emisí.

Klíčová slova: slunečnicový olej, řepkový olej, spalovací motor, spotřeba paliva, emise

COMPARISON OF RAPESEED AND SUNFLOWER OILS AS ENGINE FUELS

Summary: This thesis is focused on a comparison of rapeseed and sunflower oils as engine fuels for combustion engines. The theoretical research deal with current problematics of biofuels and their comparison with diesel fuel. In the experimental part are presented aims and methodology of this thesis, namely the measurement procedure and the used equipment and devices. The result of this thesis is the comparison of tested fuels based on fuel consumption and production of NO and CO₂ emissions during the NRSC test of an engine. The obtained data suggest that the most suitable fuel for the engine of tractor Zetor Forterra 8641 is pure diesel fuel with 5 vol % of rapeseed oil. This fuel has been found to have the lowest consumption and production of selected emissions.

Key words: sunflower oil, rapeseed oil, combustion engine, fuel consumption, emissions

OBSAH

1	Úvod	1
2	Rozbor současného stavu	2
2.1	Princip funkce spalovacího motoru	2
2.2	Rozdělení spalovacích motorů.....	3
2.3	Palivová soustava vznětového motoru – Common Rail	5
2.3.1	Nároky na vlastnosti paliv pro vznětové motory	7
2.4	Porovnání fosilních a obnovitelných zdrojů energie	10
2.5	Biopaliva.....	11
2.5.1	Druhy biopaliv	12
2.5.2	Výroba syntetické motorové nafty.....	13
2.5.3	Legislativa biopaliv	14
2.6	Použití alternativních paliv	15
2.6.1	Bez potřeby úpravy spalovacího motoru	15
2.6.2	S potřebou úprav motorového vozidla.....	15
2.6.3	Se zásadní konstrukční změnou spalovacího motoru	16
2.6.4	Elsbettův duotermický motor	16
2.7	Rostlinné oleje – slunečnicový a řepkový	17
2.7.1	Řepka olejka (<i>Brassica napus L. convar. napus</i>)	17
2.7.2	Slunečnice roční (<i>Helianthus annuus L.</i>)	19
2.7.3	Výroba olejů	21
2.7.4	Výroba methylesterů olejů.....	22
2.7.5	Porovnání rostlinných olejů s motorovou naftou.....	24
2.7.6	Porovnání emisí u rostlinných olejů a motorové nafty	27
3	Cíl a metodika diplomové práce	29
3.1	Cíl práce.....	29
3.2	Metodika práce	29
3.2.1	Metodika analýzy vlivu paliva na jeho spotřebu a produkci emisí	29
3.2.2	Použité přístroje a zařízení.....	33
3.2.3	Výběr emisí pro porovnání použitých paliv	36
4	Výsledky	37

4.1	Čistá motorová nafta.....	37
4.2	Směs motorové nafty a řepkového oleje v poměru 95/5	39
4.3	Směs motorové nafty a řepkového oleje v poměru 80/20	41
4.4	Směs motorové nafty a slunečnicového oleje v poměru 95/5	43
4.5	Směs motorové nafty a slunečnicového oleje v poměru 80/20	45
4.6	Posouzení vlivu biosložek na spotřebu paliva a produkci emisí NO, CO ₂	47
4.6.1	Porovnání spotřeby paliva	47
4.6.2	Porovnání produkce emisí NO a CO ₂	48
4.6.3	Vnější otáčková charakteristika motoru	49
4.7	Ekonomické zhodnocení testovaných paliv.....	51
5	Závěr	55
6	Seznam použité literatury	57
7	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	60
8	Seznam obrázků.....	62
9	Seznam tabulek	63

1 ÚVOD

Faktem je, že v dnešní době neustále roste počet obyvatel na Zemi. Tato skutečnost s sebou přináší neustále se zvyšující kolektivní i individuální spotřebu energie. Při pohledu do historie je možné zjistit, že k získávání energie bylo využíváno převážně fosilních paliv. Od tohoto trendu se začalo postupně ustupovat hlavně kvůli tomu, že fosilních paliv začalo velmi rychle ubývat, a také kvůli tomu, že jejich používáním dochází k negativnímu ovlivňování životního prostředí. Lidstvo se tedy začalo stále více soustředit na získávání energie z obnovitelných zdrojů. Příkladem obnovitelného zdroje je biomasa, či energie získaná ze slunečního záření.

Spolu se zvyšujícím se počtem obyvatel se zvyšuje také kolektivní i individuální potřeba dopravy. Pro pohon motorových vozidel byla až do nedávna v drtivé většině využívána paliva vyrobená z ropy. Jelikož je ropa vyčerpátný a neobnovitelný zdroj, je potřeba zaměřovat se více na paliva obnovitelná, tedy biopaliva. Ta jsou vyráběna z obnovitelného zdroje energie, biomasy. Celosvětový význam v používání těchto paliv tkví především v neustálém snižování potřeby fosilních paliv. S tím přímo souvisí i snižování zátěže na životní prostředí. Mezi další výhody je možné zařadit fakt, že biomasa, tedy surovina pro výrobu biopaliv, je tuzemským zdrojem energie. Její pěstování zároveň napomáhá k zachování trvalého rozvoje zemědělství.

Zákonem je ustanoveno, že v České republice musí hodnota biosložky obsažené v palivu pro vznětové motory dosahovat minimálně 6 %. Biosložkami využívanými pro tyto účely jsou methylestery řepkového či slunečnicového oleje, které se vyrábí ze surových olejů procesem tzv. transesterifikace. Jedná se o dobře propracovanou technologii, která je známa již řadu let.

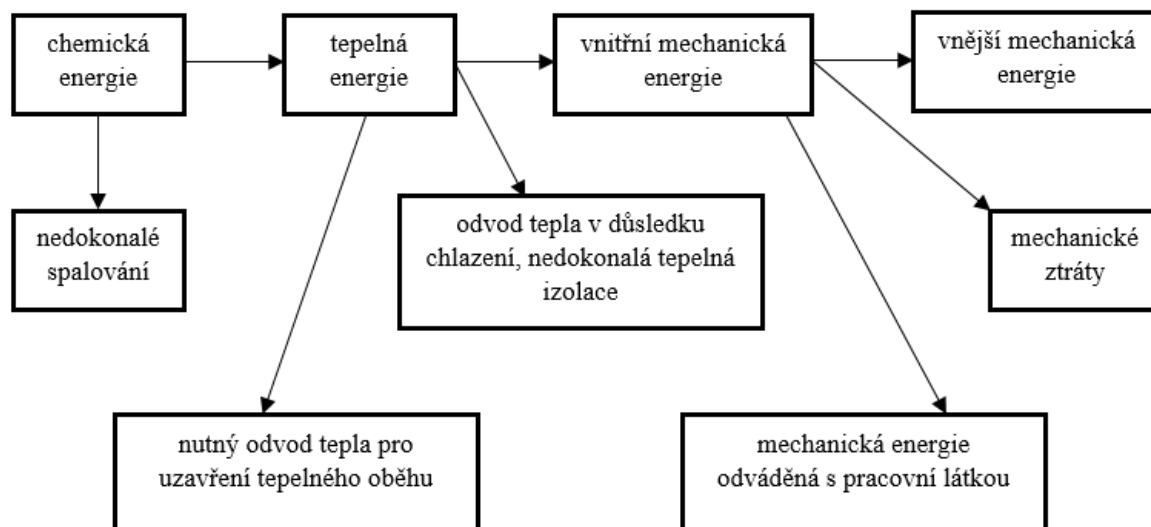
Tato diplomová práce se zabývá porovnáním řepkového a slunečnicového oleje při jejich použití jako paliva pro pohon spalovacích motorů. První část je věnována teoretické rešerši, která podrobně rozebírá současnou problematiku biopaliv, jejich výrobu, využití a porovnání s konvenčním palivem pro vznětové motory, motorovou naftou. Rovněž se zabývá příslušnou legislativou vztahující se k biopalivům. Experimentální část je zaměřena na porovnání dvou výše zmíněných olejů jako paliva pro vznětový přeplňovaný motor. Jako hodnotící parametry byly vybrány spotřeba paliva a vznikající emise v průběhu NRSC testu daného motoru.

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU

Tato kapitola je zaměřena na funkci spalovacích motorů, jejich rozdělení a palivovou soustavu vznětových spalovacích motorů – Common Rail. Další část je věnována biopalivům, konkrétně druhům biopaliv a jejich legislativě. Poté následuje část, která je zaměřena na rostlinné oleje, na jejich výrobu a také na výrobu methylesterů rostlinných olejů. V poslední části je nastíněno porovnání rostlinných olejů a motorové nafty jako paliva.

2.1 PRINCIP FUNKCE SPALOVACÍHO MOTORU

Spalovací motor je možné definovat jako tepelný stroj, který k zisku tepelné energie využívá spalování paliva a díky využití vhodného plynného média transformuje tepelnou energii na mechanickou práci. U pístových spalovacích motorů je energie plynného média využívána jako energie potenciální – tlak spalin. U spalovacích turbín je tato energie využívána jako energie kinetická – rychlost proudu spalin. Na Obr. 1 je zobrazen obecný postup přeměny chemické energie, která je obsažena v palivu, na mechanickou práci motoru [Hromádko *et al.*, 2011].



Obr. 1 Obecný postup přeměny energie ve spalovacím motoru.

Zdroj: upraveno z Hromádko *et al.*, 2011

2.2 ROZDĚLENÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Spalovací motory je možné rozdělit dle několika hledisek. Základní rozdělení spalovacích motorů je uvedeno v Tab. 1. Jelikož byla praktická část této práce měřena na spalovacím pístovém motoru, je v Tab. 2 uvedeno základní rozdělení těchto motorů a podrobnější popis motorů dělených podle počtu dob pracovního cyklu a podle způsobu zapálení směsi paliva se vzduchem.

Tab. 1 Základní rozdělení spalovacích motorů

Podle přeměny tepelné energie na mechanickou práci		
Pístové	Turbínové	Proudové
Podle způsobu přívodu tepelné energie		
Motory s vnějším spalováním		Motory s vnitřním spalováním

Zdroj: převzato z Hromádka et al., 2011

Tab. 2 Rozdělení pístových spalovacích motorů

Podle skupenství použitého paliva			
Plynové motory	Motory na kapalná paliva	Vícepalivové motory	Motory na tuhá paliva
Podle způsobu dopravy čerstvé náplně do válce motoru			
Motory s přirozeným sáním	Motory s vyplachováním		Motory přeplňované
Podle počtu dob pracovního cyklu			
Motory dvoudobé		Motory čtyřdobé	
Podle způsobu zapálení směsi paliva se vzduchem			
Motory zážehové		Motory vznětové	

Zdroj: převzato z Hromádka et al., 2011

Rozdělení motorů podle počtu dob pracovního cyklu

V motorových vozidlech jsou nejčastěji využívány pístové motory, které pracují v určitém cyklu. Během tohoto cyklu dochází k výměně a spálení směsi paliva se vzdušným kyslíkem, a to může probíhat ve dvou nebo čtyřech fázích. Podle toho v kolika fázích cyklus proběhne se motory dělí na čtyřdobé a dvoudobé [Ferenc, 2009].

a) Čtyřdobé motory

Pracovní cyklus u tohoto typu motorů probíhá nad pístem, a to během dvou otáček klikového hřídele. Skládá se ze čtyř navazujících částí, kterými jsou sání, komprese, expanze a výfuk.

Prostřednictvím ventilů, které jsou ovládány vačkovým hřídelem, dochází k výměně náplně válce [Vlk, 2003].

U čtyřdobých motorů se první doba nazývá sání. Píst koná pohyb z horní úvratě do dolní, otevřeným sacím ventilem je v případě zážehových motorů do prostoru nad píst nasávána výbušná směs, pokud se jedná o vznětové motory, tak je nasáván čistý vzduch. Při druhé době píst koná pohyb z dolní úvratě do horní, přičemž oba ventily jsou uzavřeny. Tím dochází ke stlačování směsi paliva, potažmo ke stlačování čistého vzduchu. Před horní úvratí, tak dojde buď k zážehu směsi nebo ke vstřiku paliva. Poté dojde k hoření směsi a píst koná pohyb od horní úvratě do dolní. Jedná se o třetí dobu, ve které je pístem konána užitečná práce. Poté následuje výfuk, kdy píst koná pohyb od dolní úvratě k horní a díky otevřenému výfukovému ventilu dochází z prostoru válce k vytlačování zplodin, které vznikly hořením. Po dokončení poslední, tedy čtvrté doby, následuje doba první a celý pracovní cyklus je znovu opakován [Hromádko *et al.*, 2011].

b) Dvoudobé motory

Tyto motory jsou charakteristické tím, že celý pracovní oběh motoru, tedy sání, komprese, expanze a výfuk, se uskuteční během dvou zdvihů pístu. To znamená během jedné otáčky klikového hřídele motoru. Pracovní cyklus může probíhat nad pístem nebo pod pístem. Díky kanálu, který je ve stěně válce, dochází k výměně obsahu válce. Tento kanál je uvolňován či uzavírán pístem [Vlk, 2003].

Píst se nachází v dolní úvratě. Horní hrana pístu odkrývá přepouštěcí kanál, kterým je přiváděna předem stlačená směs paliva a vzduchu, popřípadě vzduch, z klikové skříně nad píst. Pohybem pístu z dolní úvratě do horní úvratě dojde k zakrytí přepouštěcího a výfukového kanálu. Tím dochází ve válci ke stlačování směsi, popřípadě vzduchu. Při tomto pohybu dochází v klikové skříně k podtlaku. Poté, co je odkryt sací kanál dolní hranou pístu, dochází k nasátí směsi, respektive vzduchu do prostoru klikové skříně. Před horní úvratí je směs zažehnuta jiskrou, popřípadě dochází ke vstřiku a vznícení paliva. Díky hoření dochází k nárůstu tlaku ve válci a píst je tlačěn k dolní úvratě. Při tomto pohybu dochází nejprve k zakrytí sacího kanálu spodní hranou pístu, tudíž je směs, popřípadě vzduch, v klikové skříně stlačován. Díky dalšímu pohybu dojde k odkrytí výfukového kanálu horní hranou pístu a vzniklé zplodiny opouští válec. Poté dochází k odkrytí přepouštěcího kanálu a směs, popřípadě vzduch, který je stlačený v klikové skříně vstupuje nad píst a svým pohybem vytlačuje do výfukového kanálu zbytky

vzniklé hořením. Dochází k postupnému zakrytí výfukového i přepouštěcího kanálu pístem a následuje opakování celého pracovního cyklu [Hromádko *et al.*, 2011].

Rozdělení motorů podle způsobu zapálení směsi paliva se vzduchem

a) Zážehové motory

K zažehnutí směsi paliva se vzduchem dochází pomocí vnějšího zdroje. Tímto zdrojem může být například elektrická jiskra. Směs je tvořena buď vně válců – v karburátoru – nebo vstřikováním paliva [Vlk, 2003]. Mezi paliva pro tyto motory se řadí plynná paliva, líh, benzín. Omezení kompresního poměru ε je dáno teplotou vznícení směsi paliva se vzduchem. Hromádko *et al.* [2011] uvádějí, že $\varepsilon_{max}=11,5$. Tlak, který lze naměřit na konci komprese, se pohybuje v rozmezí 0,8–1,5 MPa. Na konci komprese je teplota v rozmezí 400–600°C. Zážehové motory mohou mít pracovní cyklus čtyřdobý i dvoudobý [Hromádko *et al.*, 2011].

b) Vznětové motory

Tyto motory jsou charakteristické stlačováním vzduchu a následným vstřikováním paliva do válce motoru pod vysokým tlakem. Zápalná směs je tvořena ve válci. Vlivem vysoké kompresní teploty dochází k samočinnému zapálení směsi [Vlk, 2003]. Pro to, aby bylo dosaženo potřebné teploty pro vznícení, je potřeba použít velký kompresní poměr. Jeho hodnotu udávají Hromádko *et al.* [2011] jako $\varepsilon_{min}=12$. Kompresní poměr, který je běžně používán u motorů s přímým vstřikem je $\varepsilon=17$. Na konci komprese je tlak 3,0–5,5 MPa a teplota se pohybuje v rozmezí 700–900°C [Hromádko *et al.*, 2011].

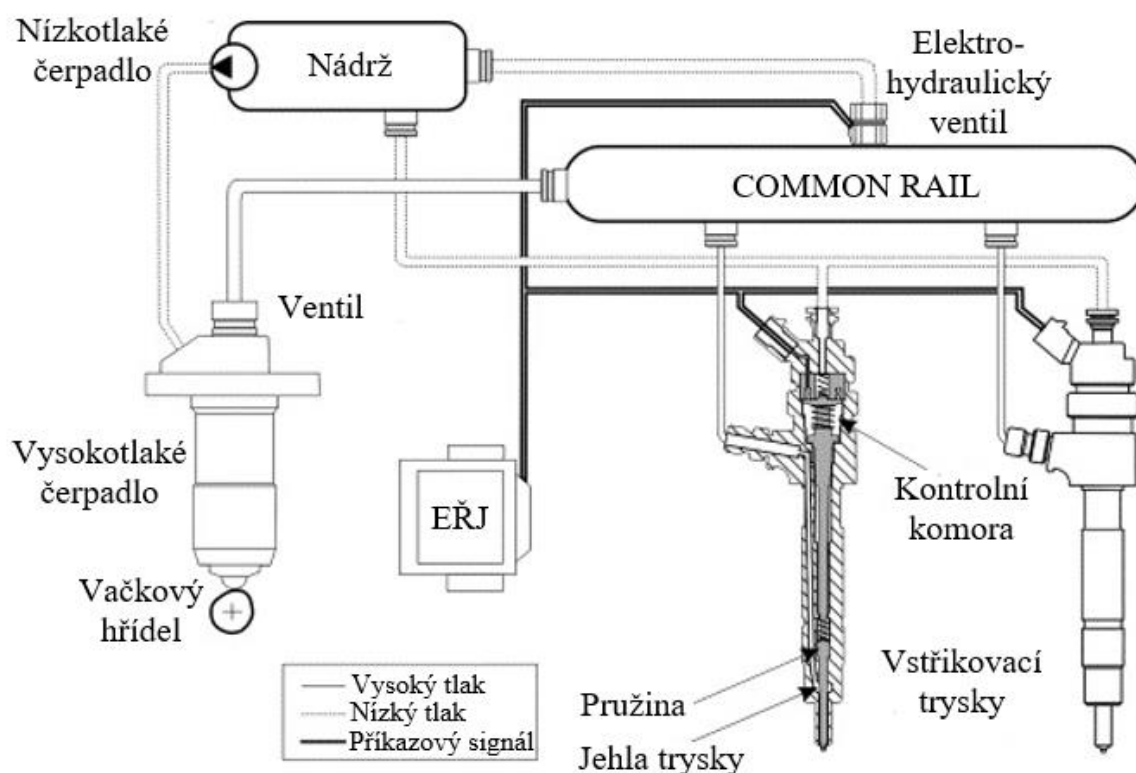
2.3 PALIVOVÁ SOUSTAVA VZNĚTOVÉHO MOTORU – COMMON RAIL

V minulých letech bylo vynakládáno velké úsilí v oblasti snižování emisí u vznětových motorů. K nejdůležitějším faktorům se řadí přesné řízení procesu vstřikování paliva. Vstřikovací palivový systém musí splňovat tyto požadavky:

- vysokotlaká schopnost
- flexibilní řízení časování
- regulace vstřikovacího tlaku
- řízení vstřikování

Vysoký tlak vstřikování napomáhá ke zmenšení velikosti kapek paliva a k lepšímu spalování. To má za následek snížení emisí kouře. Naproti tomu nízký vstřikovací tlak je požadován při volnoběhu motoru pro snížení hluku a také ve chvíli velmi nízkého rozsahu zatížení. Stanovení optimálního vstřikovacího tlaku tedy závisí na zatížení a rychlosti motoru. Bylo zjištěno, že v oblasti spotřeby paliva je možné docílit lepších výsledků pomocí zvýšení vstřikovacího tlaku. V počáteční fázi vstřiku by mělo být palivo vstřikováno nízkým tlakem a v pozdějších fázích by mělo docházet ke vstřikování při vysokém tlaku. Systém pro vstřikování paliva by pro splnění těchto požadavků měl disponovat širokou ovladatelností tlaku. Optimalizace vstřiku paliva je důležitá z pohledu regulace emisí oxidů dusíku a pevných částic [Kegl *et al.*, 2008].

Použitím vstřikovacího systému Common Rail je u vznětových motorů umožněno zlepšení jejich výkonu a snížení hluku, spotřeby paliva a škodlivých emisí. Na Obr. 2 je uvedeno schéma vstřikovacího palivového systému Common Rail. Mezi hlavní části tohoto vstřikovacího systému je možné zařadit palivovou nádrž, nízkotlaké čerpadlo, vysokotlaké čerpadlo, elektronickou řídicí jednotku, common rail a vstřikovací trysky [Lino *et al.*, 2007].



Obr. 2 Schéma palivového systému Common Rail.

Zdroj: upraveno z Lino *et al.*, 2007

V případě systému Common Rail se jedná o vstříkovací systém s tlakovým zásobníkem, což znamená, že je u tohoto systému k dispozici kontinuální tlak paliva. Vytváření tlaku a vstříkování paliva je oddělené. Vznik vstříkovacího tlaku je nezávislý na otáčkách motoru. Dodávka paliva je zabezpečována podávacím čerpadlem, které je zabudované do vysokotlakého čerpadla. To pohání hnací hřídel. Řídící jednotka elektromagnetickým způsobem ovládá dávkovací ventil. Úkolem rozdělovače paliva je akumulace paliva pod vysokým tlakem a tlumení kolísání tlaku. Ke kolísání tlaku dochází například pracovními pohyby ve vysokotlakém prostoru vysokotlakého čerpadla, nebo na vstříkovacích tryskách. Konstrukce rozdělovače Common Rail je navržena tak, aby měl dostatečný objem a kolísání tlaku bylo omezeno na minimum. Ze zásobníku je palivo dodávána pomocí vstříkovacího vedení k jednotlivým vstříkovacím tryskám [Vlk, 2003].

2.3.1 Nároky na vlastnosti paliv pro vznětové motory

Motorová nafta

Požadavky na motorovou naftu jsou určovány normou ČSN EN 590+A1:2018. Tato norma je platná pro motorové nafty, které jsou používány v motorových vozidlech se vznětovými motory určenými pro provoz s motorovou naftou, která může obsahovat až 7,0 % (V/V) methylesterů mastných kyselin (fatty acid methyl ester, FAME). Datum účinnosti této normy je od 1.2.2018. Požadavky a metody zkoušení jednotlivých vlastností motorové nafty shrnuje Tab. 3.

Tab. 3 Obecné požadavky a metody zkoušení pro motorovou naftu

Vlastnost	Jednotka	Mezní hodnoty		Metoda zkoušení
		min.	max.	
Cetanové číslo		51,0	-	EN ISO 5165 EN 15195 EN 16144 EN 16715
Cetanový index		46,0		EN ISO 4264
Hustota při 15°C	kg.m ⁻³	820,0	845,0	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Polycyklické aromatické uhlovodíky	% (m/m)	-	8,0	EN 12916
Obsah síry	mg.kg ⁻¹	-	10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884 EN ISO 13032
Obsah manganu	ml.l ⁻¹	-	2,0	EN 16576
Bod vzplanutí	°C	nad 55,0	-	EN ISO 2719

Tab. 3 Obecné požadavky a metody zkoušení pro motorovou naftu (pokračování)

Vlastnost	Jednotka	Mezní hodnoty		Metoda zkoušení
		min.	max.	
Karbonizační zbytek (vztaženo na 10 % destilačního zbytku)	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Obsah popela	% (m/m)	-	0,01	EN ISO 6245
Obsah vody	% (m/m)	-	0,020	EN ISO 12937
Celkový obsah nečistot	mg.kg ⁻¹	-	24	EN 12662
Korozivní působení na měď (3 h při 50°C)	stupeň koroze	třída 1		EN ISO 2160
Obsah methylesterů mastných kyselin	% (V/V)	-	7,0	EN 14078
Oxidační stabilita	g.m ³	-	25	EN ISO 12205
	h	20	-	EN 15751
Mazivost, průměr oděrové plochy (wsd ^{NP4} 1,4) při 60°C	μm	-	460	EN ISO 12156-1
Viskozita při 40°C	mm ² .s ⁻¹	2,000	4,50	EN ISO 3104
Destilační zkouška při 250°C predestiluje při 350°C predestiluje 95 % (V/V) predestiluje při	% (V/V)	85	<65	EN ISO 3405
				EN ISO 3924
			360	

Pozn.: % (m/m) a % (V/V) vyjadřují hmotnostní zlomek, respektive objemový zlomek

Zdroj: převzato z ČSN EN 590+A1

Směsná motorová nafta

Požadavky na kvalitu směsné motorové nafty, která obsahuje minimálně 30 % (V/V) methylesterů mastných kyselin, jsou určovány normou ČSN 65 6508. Směsná motorová nafta je určena k pohonu motorových vozidel se vznětovými motory, které jsou pro tento druh paliva určeny technickou dokumentací. Požadavky a metody zkoušení jednotlivých vlastností směsné motorové nafty shrnuje Tab. 4.

Tab. 4 Obecné požadavky a metody zkoušení pro směsnou motorovou naftu

Vlastnost	Jednotka	Mezní hodnoty		Metoda zkoušení
		min.	max.	
Obsah FAME	% (V/V)	30,0		ČSN EN 14078
Cetanové číslo		51,0	-	ČSN EN ISO 5165
				ČSN EN 15195
Hustota při 15°C	kg.m ⁻³	820,0	860,0	ČSN EN ISO 3675
				ČSN EN ISO 12185

Tab. 4 Obecné požadavky a metody zkoušení pro směsnou motorovou naftu (pokračování)

Vlastnost	Jednotka	Mezní hodnoty		Metoda zkoušení
		min.	max.	
Destilační zkouška při 250°C predestiluje	% (V/V)	85	<65	ČSN EN ISO 3405
při 350°C predestiluje	% (V/V)			
95 % (V/V) predestiluje při	°C	360		
Polycyklické aromatické uhlovodíky	% (m/m)	-	5,6	ČSN EN 12916
Cetanový index		46,0	-	ČSN EN ISO 4264
Obsah síry	mg.kg ⁻¹		10,0	ČSN EN ISO 20846 ČSN EN ISO 20884
Bod vzplanutí	°C	nad 55,0	-	ČSN EN ISO 2719
Karbonizační zbytek (vztaženo na 10 % destilačního zbytku)	% (m/m)	-	0,30	ČSN EN ISO 10370 ČSN ISO 6615
Obsah popela	% (m/m)	-	0,01	ČSN EN ISO 6245
Celkový obsah nečistot	mg.kg ⁻¹	-	24	ČSN EN 12662
Korozivní působení na měď (3 h při 50°C)	stupeň koroze		třída 1	ČSN EN ISO 2160
Oxidační stabilita	h	20	-	ČSN EN 15751
Mazivost, průměr oděrové plochy (wsd ^c 1,4) při 60°C	µm	-	460	ČSN EN ISO 12156-1
Viskozita při 40°C	mm ² .s ⁻¹	2,00	4,50	ČSN EN ISO 3104
Číslo kyselosti	mgKOH.g ⁻¹		0,20	ČSN EN 14104
Bod zákalu (Cloud point)	°C		-8	ČSN EN 23015

Pozn.: % (m/m) a % (V/V) vyjadřují hmotnostní zlomek, respektive objemový zlomek

Zdroj: převzato z ČSN 65 6508

Methylestery mastných kyselin

Norma ČSN EN 14214+A1 je evropská norma, která určuje požadavky a metody zkoušení pro prodávané a dodávané methylestery mastných kyselin, které jsou používány buď ve 100% koncentraci jako motorové palivo do vznětových motorů či palivo pro vytápění, nebo v souladu s požadavky EN 590 jako příměs do motorového paliva pro vznětové motory a paliva pro vytápění. Jako palivo ve 100% koncentraci jsou použitelné pro motorová vozidla se vznětovými motory, které jsou přímo konstruovány nebo dodatečně upraveny pro provoz na 100% FAME. Požadavky a metody zkoušení dílčích vlastností FAME shrnuje Tab. 5.

Tab. 5 Obecné požadavky a metody zkoušení pro FAME

Vlastnost	Jednotka	Mezní hodnoty		Metoda zkoušení
		min.	max.	
Obsah methylesterů mastných kyselin	% (m/m)	96,5	-	EN 14103
Hustota při 15°C	kg.m ⁻³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozita při 40°C	mm ² .s ⁻¹	3,50	5,00	EN ISO 3104
Bod vzplanutí	°C	101	-	EN ISO 2719 EN ISO 3679
Cetanové číslo		51,0	-	EN ISO 5165
Koroze na mědi (3 h při 50°C)	korozní stupeň		třída 1	EN ISO 2160
Oxidační stabilita (při 110°C)	h	8,0	-	EN 14112 EN 15751
Číslo kyselosti	mgKOH.g ⁻¹	-	0,50	EN 14104
Jodové číslo	g jod.100g ⁻¹	-	120	EN 14111 EN 16300
Methylester kyseliny linolenové	% (m/m)	-	12,0	EN 14103
Methylestery s více nenasycenými vazbami (≥ 4 dvojnásobné vazby)	% (m/m)	-	1,00	EN 15779

Pozn.: % (m/m) a % (V/V) hmotnostní zlomek, resp. objemový zlomek materiálu

Zdroj: převzato z ČSN EN 14214+A1

2.4 POROVNÁNÍ FOSILNÍCH A OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE

V současné době je společnost závislá na několika zdrojích energie. Nejvýznamnějším zdrojem je ropa, jejíž naleziště se často vyskytují v politicky nestabilních zemích a regionech. Světová energetická rada uvádí, že naprostá většina energetických potřeb je kryta z fosilních zdrojů. Je nutné říci, že využívání fosilních zdrojů má řadu škodlivých účinků na životní prostředí. Mezi tyto účinky je možné zařadit skleníkové plyny, znečištění ovzduší, kyselé deště. Fosilní zdroje energie patří mezi ty, které jsou neobnovitelné, tudíž jednoho dne dojde k jejich celkovému vyčerpání. Při současném tempu spotřeby fosilních zdrojů je odhadováno, že dojde například k vyčerpání ropy do 50 let, k vyčerpání uhlí do 200 let. Díky tomuto faktu je nutné hledat obnovitelné zdroje energie, které budou v zásadě nevyčerpatelné. Mezi známé obnovitelné zdroje lze zařadit solární energii, větrnou energii, geotermální energii a v neposlední řadě také energii, která pochází s obnovitelných surovin, jako je biomasa. Mezinárodní energetická

agentura uvádí, že bioenergií je možné nasytit až 50 % světových energetických potřeb ve 21. století.

Zemědělské plodiny jako například kukuřici, pšenici a další obiloviny, cukrovou třtinu, tapioku i brambory je možné zpracovávat v biorařinériích, kde z nich lze získat poměrně čisté uhlovodíkové suroviny, které jsou využívány jako primární surovina ve většině fermentačních procesů. Těmito fermentačními procesy je možné vyrábět například biopaliva.

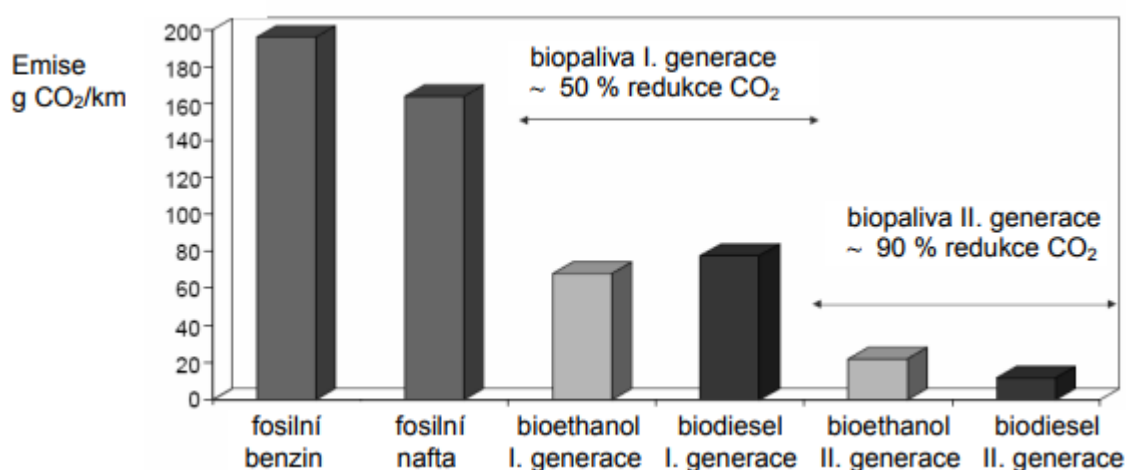
Olejnata semena, mezi která patří například sójové boby, řepková semena nebo palmová semena, mohou být zpracována na oleje. Tyto oleje je možné dalšími procesy přeměnit na bionaftu. Vedlejší produkty či odpady ze zemědělské produkce jako sláma a otruby jsou tzv. lignocelulózní materiály, které je již také možné efektivní cestou přeměnit na bioplyn. Ten je poté možné využít pro výrobu tepla nebo elektrické energie [Soetaert a Vandamme, 2009].

2.5 BIOPALIVA

Podle Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) biopaliva jsou: „*Paliva vyrobená přímo nebo nepřímo z biomasy*“ [Saladini *et al.*, 2016]. Dále podle Nařízení vlády č. 352/2002 Sb.: „*je pojem biomasa definován jako rostlinný materiál, který lze použít jako palivo pro účely využití jeho energetického obsahu, pokud pochází ze zemědělství, lesnictví, nebo z potravinářského průmyslu, z výroby surové buničiny a z výroby papíru z buničiny, ze zpracování korku, ze zpracování dřeva s výjimkou dřevního odpadu, který obsahuje halogenované organické sloučeniny nebo těžké kovy v důsledku ošetření látkami na ochranu dřeva nebo nátěrovými hmotami, a dřevní odpad pocházející ze stavebnictví.*“

Biopaliva jsou dělena do tří kategorií v závislosti na vstupních surovinách a technologiích, které jsou použity pro jejich výrobu. První kategorií jsou biopaliva první generace, která jsou vyráběna z bioenergetických plodin [Saladini *et al.*, 2016]. Vstupními surovinami při výrobě první generace biopaliv jsou plodiny, které slouží k výrobě potravin. Tento fakt je zároveň i hlavní nevýhodou biopaliv první generace, kterou je podíl na růstu cen potravin [Hromádko, 2012]. Další kategorií jsou biopaliva druhé generace, pro jejichž výrobu jsou používány jako vstupní suroviny nepotravinářské plodiny – lignocelulózní biomasa [Saladini *et al.*, 2016]. Typickým příkladem těchto surovin je dřevo a dřevní odpad, rychlerostoucí dřeviny, sláma, použitý papír či biologický odpad [Hromádko, 2012]. Do další kategorie se řadí biopaliva třetí generace. Ta jsou vyráběna z vodní kultivované suroviny, tzn. řasy [Saladini *et al.*, 2016].

V současné době jsou biopaliva jednou z nejvíce diskutovaných skupin alternativních paliv. Hlavním důvodem, stále se zvyšujícího zájmu o tato paliva, je odpověď na otázku, jak moc je možné pomocí biopaliv snižovat produkci oxidu uhličitého (CO₂). Pěstováním rostlin, které jsou posléze použity jako vstupní surovina pro výrobu biopaliv, dochází ke spotřebování CO₂ ze vzduchu. Oxid uhličitý se uvolní až při samotném spálení biopaliva. To by znamenalo, že by byla produkce CO₂ nulová. Ve skutečnosti je to však jinak [Hromádko, 2012]. Použitím rostlin jako vstupní suroviny musí být brán zřetel na energetickou náročnost jejich pěstování, dopravu a samotný výrobní proces paliva [Soetaert a Vandamme, 2009]. Tím dochází ke snížení přínosu poklesu oxidu uhličitého. U první generace biopaliv je možné dosáhnout poklesu CO₂ až 50 %. U druhé generace biopaliv může být pokles CO₂ až 90 % [Hromádko, 2012]. To je patrné z Obr. 3.



Obr. 3 Potenciální pokles emisí CO₂ biopalivy I. a II. generace.

Zdroj: převzato z Hromádko et al., 2010

2.5.1 Druhy biopaliv

Jednotlivé druhy biopaliv je možné dělit podle toho, do které generace spadají, tedy jaký druh vstupní suroviny je použit pro jejich výrobu.

Do první generace biopaliv se řadí:

- methylester řepkového oleje (MEŘO)
- bioethanol pro jehož výrobu jsou používány produkty obsahující škrob anebo cukr (příkladem může být kukuřice, cukrová řepa, cukrová třtina a prakticky veškeré druhy obilí)

- bioethyltercbutyléter (bioETBE) pro jehož výrobu se využívá adiční reakce bioethanolu s isobutanem
- rostlinný olej – v tuzemských klimatických podmínkách je nejčastěji využíván řepkový olej

Do druhé generace biopaliv se řadí:

- bioethanol pro jehož výrobu je využívána lignocelulózová biomasa
- syntetická motorová nafta vznikající jako produkt Fischer-Tropschovy (FT) syntézy
- biomethanol vznikající jako produkt katalytické konverze syntézního plynu
- biodimethyléter vznikající jako produkt katalytické konverze syntézního plynu
- biovodík vyráběný biofermentačním procesem či vznikající jako produkt při katalytické konverzi syntézního plynu [Hromádko, 2012]

Do třetí generace biopaliv se řadí:

Biopaliva třetí generace jsou paliva, která mohou být produkována z biomasy řas, jenž má velmi výrazný růstový výnos ve srovnání s klasickou lignocelulózní biomasou. Výroba biopaliv z řas je závislá na obsahu lipidů v mikroorganismech. Hojně používaným druhem řasy je *Chlorella* kvůli její vysoké produktivitě a vysokému obsahu lipidů. S biomasou řas je spojena řada problému, ať už technických či geografických. Například vysoký obsah vody v řasách je problém při extrakci lipidů z biomasy. Aby mohla být provedena extrakce lipidů, musí být řasa odvodněna buď centrifugací, nebo filtrací [Lee a Lavoie, 2013].

2.5.2 Výroba syntetické motorové nafty

Výroba syntetické motorové nafty je realizována pomocí Fischer-Tropschovy (FT) syntézy. V současnosti jsou syntetická motorová paliva vyráběna ze syntézního plynu, který je získáván například zplyňováním biomasy nebo ze zemního plynu. Výroba syntetických motorových paliv pomocí Fischer-Tropschovy syntézy na bázi biomasy se označuje jako Biomass to Liquids (BTL) [Hromádko, 2012]. V Tab. 6 je uvedeno porovnání vybraných vlastností motorové a syntetické nafty, ze kterého je patrné, že syntetická nafta má vyšší cetanové číslo a nižší hustotu než motorová nafta. To má za následek lepší spalovací vlastnosti a nižší emise [Třebický, 2009].

Tab. 6 Porovnání vybraných vlastností motorové a syntetické nafty

Vlastnost paliva	Motorová nafta (podle ČSN EN 590)	Syntetická nafta (FT syntéza)
Cetanové číslo	51	> 74
Hustota při 15°C [kg.m ⁻³]	820–845	780
Výhřevnost [MJ.l ⁻¹]	35,5	34,3
Kinematická viskozita při 20°C [mm ² .s ⁻¹]	4,0	3,6

Zdroj: převzato z Třebický, 2009

2.5.3 Legislativa biopaliv

V legislativě, která se týká biopaliv, bylo podstatným krokem přijetí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/EC, o podpoře energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. Do roku 2020 by podle ní měl každý členský stát zajistit, aby byl podíl energie získané z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie roven nejméně jeho celkovému národnímu cíli, který stanovuje právě tato směrnice. Pro Českou republiku je to konkrétně 13 %. Dále má každý členský stát povinnost zajistit, aby byl v roce 2020 ve všech druzích dopravy podíl energie získané z obnovitelných zdrojů nejméně 10 % konečné spotřeby energie využívané k dopravě v daném členském státě [Hromádko, 2012].

Podle §19 zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší mají osoby, které uvolňují do volného daňového oběhu v České republice pro účely dopravy motorové benzíny či motorové nafty, povinnost zabezpečit, aby tvořil minimální obsah biosložky 4,1 % objemových a 6 % objemových v motorových benzínech, respektive v motorových naftách. Tato povinnost může být splněna také uvedením směsného paliva nebo čistého biopaliva [Plitz, 2014].

Pro biopaliva používaná pro dopravu a pro energetické účely zavádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/EC v oblasti uplatňování biopaliv nové povinnosti. Ty mohou být označovány jako tzv. kritéria udržitelnosti biopaliv a dělí se na dvě základní. Za prvé se jedná o tzv. certifikaci biopaliv, tj. povinnost prokázat původ biopaliv. V tomto případě musí být dokázáno, že surovina pro výrobu biopaliva nepochází z oblastí bohatých na uhlík (například mokřady a pralesy). Do druhé povinnosti spadá prokázat úsporu emisí skleníkových plynů, a to v průběhu celého životního cyklu biopaliva, ve srovnání s daným fosilním palivem. Tímto životním cyklem je míněna doba od pěstování surovin až po spálení paliva ve vozidle. Od

1. ledna 2018 musí být úspora emisí skleníkových plynů přinejmenším 60 % při používání biopaliv, která byla vyrobena v zařízeních, jejichž výroba byla zahájena 1. ledna 2017 či později [Hromádko, 2012].

2.6 POUŽITÍ ALTERNATIVNÍCH PALIV

2.6.1 Bez potřeby úpravy spalovacího motoru

Na palivo, které bude použito bez dodatečných úprav spalovacího motoru, jeho palivové soustavy a bez zásahu do samotné konstrukce motorového vozidla, jsou kladeny velmi vysoké nároky. Takové palivo se musí velmi podobat konvenčnímu palivu a zároveň musí mít co možná nejmenší vliv na vlastnosti spalovacího motoru. Dále by takové palivo mělo splňovat podmínku, aby bylo možné ho plně mísit s palivem, které nahrazuje. Jako příklad je možné uvést použití motorové nafty a směsného paliva, které obsahuje metylestery řepkového oleje. Dalším příkladem je použití emulgované nafty. Jedná se o emulzi s obsahem 85 % motorové nafty, 13 % vody a 2 % emulgačních činidel. Tato činidla zabezpečují, že kapky rozptýlené vody dosahují velmi malé velikosti. Pro zážehové motory lze například uvést směs benzínu s ethanolem.

2.6.2 S potřebou úprav motorového vozidla

Do této skupiny patří taková paliva, jejichž použití je podmíněno určitými technickými úpravami. Tyto úpravy mohou být jednoduché, ale také relativně složité. Příkladem složitější úpravy je instalace další palivové soustavy. Palivem, které vyžaduje jednoduchou úpravu, kterou je změna seřízení chodu motoru, je čistý methylester řepkového oleje, tzv. MEŘO. Oproti původnímu nastavení vznětového motoru, který spaluje motorovou naftu, není tato změna zásadní. Plusem je také to, že takto upravený motor dosahuje příznivějších provozních i emisních parametrů.

Složitější technickou úpravou je míněna instalace druhé palivové soustavy. Příklady paliv pro zážehové motory, které vyžadují takovou úpravu, jsou zkapalněný ropný plyn (LPG), zkapalněný zemní plyn (LNG) nebo stlačený zemní plyn (CNG). O spalování alternativního paliva se stará nedílná součást takové palivové soustavy, a tou je řídicí jednotka. Ta spolupracuje s původní řídicí jednotkou a jejími snímači. Nespornou výhodou je možnost volby mezi jízdou na konvenční či alternativní palivo. Obě tyto volby poskytují zachování velmi

podobných vlastností jízdy motorového vozidla. Montáž další palivové nádrže skýtá nevýhodu v tom, že dojde ke zmenšení zavazadlového prostoru. Další nevýhodou je také určité omezení z bezpečnostního hlediska.

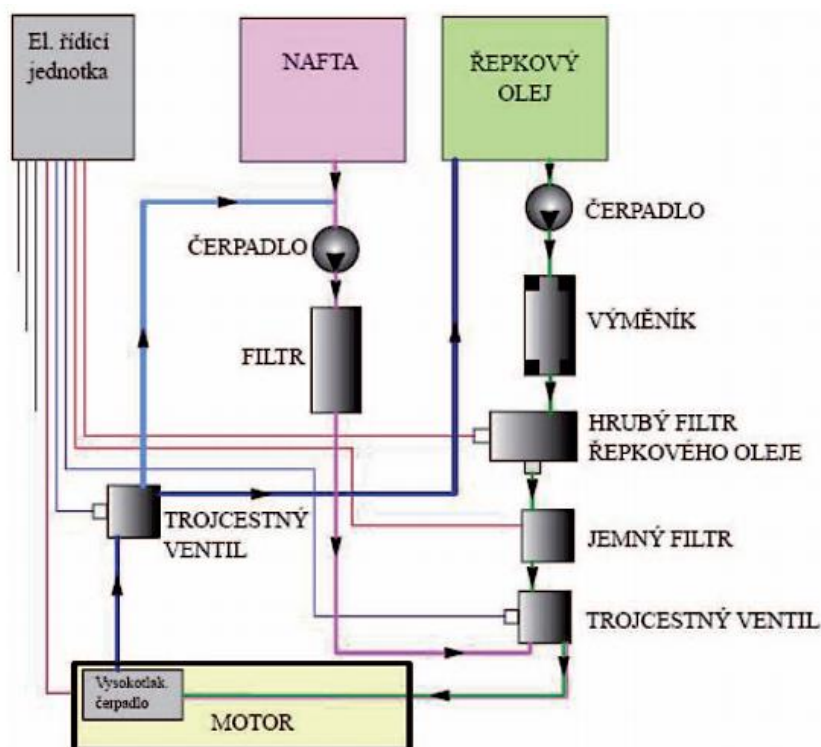
2.6.3 Se zásadní konstrukční změnou spalovacího motoru

Použití takových paliv je možné tehdy, kdy dochází k výhradnímu spalování alternativních paliv ve vznětovém motoru. Příkladem těchto paliv je zkapalněný ropný plyn či stlačený zemní plyn. Zásadní konstrukční změna motoru spočívá od montáže nové palivové nádrže až po změnu kompresního poměru a změnu tvaru spalovacího prostoru. Úpravě neunikne ani hlava válců, do které jsou vestaveny zapalovací svíčky. Je možné říci, že dojde k přestavbě vznětového motoru na zážehový [Ferenc, 2009].

2.6.4 Elsbettův duotermický motor

V Elsbettově motoru je možné přímo spalovat čisté rostlinné oleje. Jedná se o typ motoru, který je chlazen pouze motorovým olejem. Korunu pístu má vyrobenou z litiny. Ve dně pístu, které je také vyrobeno z litiny, se nachází kulová spalovací komora. Stěna této komory dosahuje teploty 550–650°C. Tato teplota zabezpečí, že dojde k odpaření kapiček vstříknutého oleje. Vstřík paliva je realizován tangenciálně pomocí jedné či dvou trysek do rozvířeného vzduchu.

V případě dvoupalivového systému jsou v motorovém vozidle dvě oddělené nádrže. Jedna z nádrží je určena na motorovou naftu a druhá na rostlinný olej. Volba provozu motoru je na řidiči, který ji realizuje pomocí přepínače. V případě provozu motoru na rostlinný olej je pomocí výměníku tepla ohříván olej, který je přiváděn z nádrže. U některých systémů dochází při startu k ohřevu oleje pomocí topného tělesa. Poté, co teplota dosáhne hodnoty 60°C, dojde pomocí elektronické jednotky k přepnutí trojcestného ventilu tak, aby byl přiveden olej do vysokotlakého čerpadla. Pomocí druhého trojcestného ventilu dojde k propojení přepadu z čerpadla s příslušnou nádrží. Zhruba minutu před tím, než dojde k zastavení motoru, musí řidič přepnout na provoz motoru na naftu, aby byla naplněna naftou jak nízkotlaká, tak také vysokotlaká část palivového systému [Hromádko *et al.*, 2010]. Na Obr. 4 je možné vidět schéma dvoupalivového systému.



Obr. 4 Schéma dvoupalivového systému.

Zdroj: převzato z Hromádka et al., 2010

2.7 ROSTLINNÉ OLEJE – SLUNEČNICOVÝ A ŘEPKOVÝ

2.7.1 Řepka olejka (*Brassica napus L. convar. napus*)

Technologie pěstování řepky olejky je pro zemědělce, kteří hospodaří na našem území, velice důvěrně známá a propracovaná. Tato plodina je pěstována převážně pro semena, ze kterých je vyráběn olej poměrně vysoké kvality [Petříková, 2005]. Z celkového množství 50 mil. tun semen lze vytěžit přibližně 19 mil. tun tuku [Bečka *et al.*, 2007]. Vedlejším produktem, který vzniká při sklizni řepky, je sláma. Tu je možné také využít pro energetické účely, a to pro přímé spalování [Petříková, 2005]. Řepka se pěstuje v různých formách, mezi které patří forma ozimá, jarní, popřípadě je pěstována jako přezimující jařina.

Řepka nemá vysoké požadavky na prostředí. Je možné ji úspěšně pěstovat v nížinách, ale také například v nadmořských výškách okolo 700 metrů. Nejvhodnější oblasti pro pěstování řepky jsou ty, které se nacházejí v nadmořské výšce 400–600 metrů, s ročními průměrnými teplotami 6,5–8,5°C a se srážkami 550–750 mm za rok. Vhodnými půdami jsou řádně prohnojené půdy lehké až střední, hlinitopísčité až hlinité.

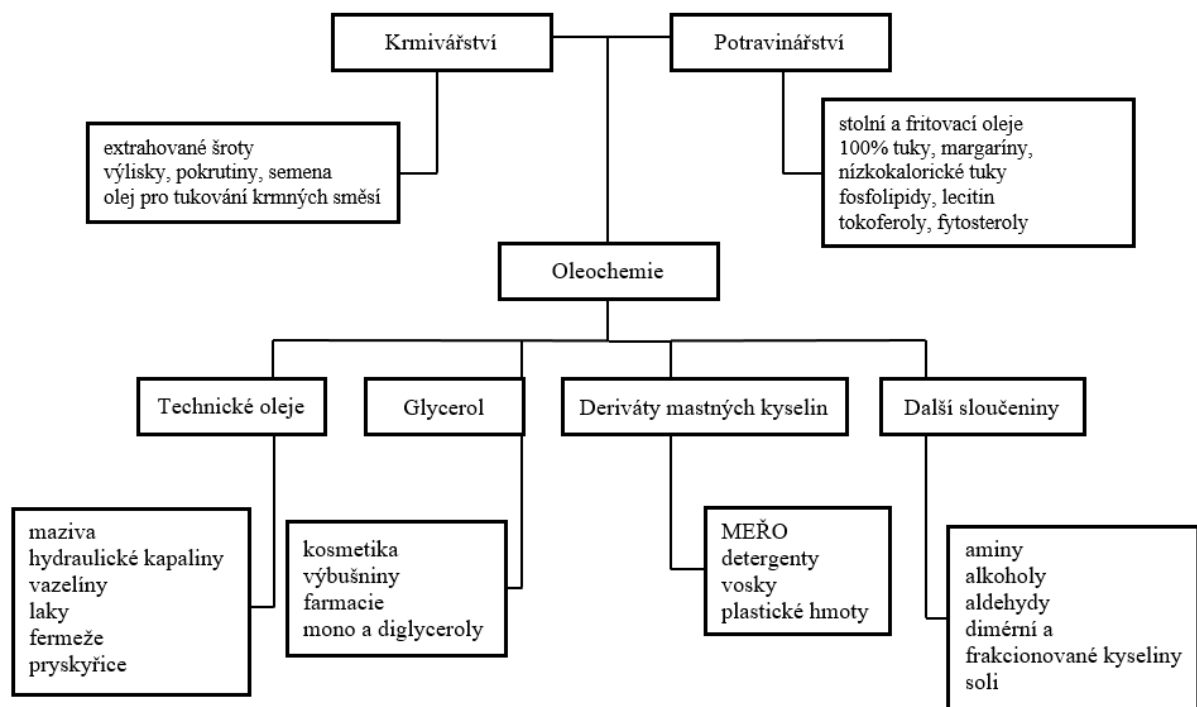
V osevním postupu je řepka velice důležitou plodinou. Jako nejvýznamnější přínos této plodiny je možné označit dodávku organické hmoty do půdy, a tedy její mikrobiální oživení. Kořenový systém řepky dokáže proniknout do hlubších vrstev půdy a vynést na povrch živiny, které by byly pro běžné plodiny zcela nedostupné. Není doporučováno, aby byla řepka pěstována hned po sobě, a to hlavně z důvodu výskytu různých druhů škůdců a chorob. Na stejný pozemek by měla být vyseta minimálně za 4 roky, v nejlepším případě za 5 let.

Mezi ideální předplodiny pro řepku lze zařadit rané brambory a zeleninu, píce sklizené v červenci, či kmín a hrách. Přijatelnými předplodinami jsou také ozimá pšenice a ozimý ječmen. Naopak jako předplodina je řepka vhodná pro obilniny.

V oblasti potřeby živin je řepka oproti obilovinám dvakrát až třikrát náročnější. Řízenou výživou a hnojením zaměřeným na hořčík (Mg), draslík (K), síru (S) a bór (B) je možné dosáhnout dobrých výnosů. Nejlepším způsobem organického hnojení je k přímé předplodině řepky zapravit hnůj. Řepku lze také hnojit kejdou prasat, skotu či drůbeže [Bečka *et al.*, 2007].

Optimální termín pro výsev řepky ozimé je rozmezí 15.–30. srpna [Baranyk *et al.*, 2010]. Jednou ze schopností řepky je její odolnost vůči celé řadě plevelů. Navzdory tomu je účelné použít herbicidy pro úspěšné pěstování. Rostliny řepky jsou napadány škůdci po celý rok, je tedy velice důležité provést proti nim chemické insekticidní ošetření. Z chorob je řepka masivně napadána houbovými chorobami. Nejúčelnější je porost chránit pomocí aplikace fungicidů [Bečka *et al.*, 2007].

Ke sklizni řepky ozimé dochází zpravidla tehdy, kdy je porost v plné zralosti a vlhkost semen je do 12 % [Baranyk *et al.*, 2010]. Tomu odpovídá období druhé poloviny července, kdy ke sklizni dochází za použití běžných sklízecích mlátiček, které jsou pro tyto účely upraveny. Ihned poté, co dojde ke sklizni řepky, je potřeba ji přečistit a upravit vlhkost jejích semen. Zpracovatelé požadují, aby vlhkost semen byla pod 8 %. Tím jsou kladeny vysoké nároky na kapacitu sušení, jelikož nejvhodnější metodou je sušení teplovzdušné [Bečka *et al.*, 2007]. Na Obr. 5 jsou uvedeny možnosti využití řepkového semene.



Obr. 5 Možnosti využití řepkového semene.

Zdroj: upraveno z Baranyk et al., 2010

Vlivy, které působí na kvalitu semen z hlediska olejnatosti jsou:

- odrůda
- ročník a oblast, ve které je plodina pěstována
- ošetření provedené po sklizni
- utužení půdy
- komplex agrotechnických vlivů [Bečka et al., 2007]

2.7.2 Slunečnice roční (*Helianthus annuus L.*)

Slunečnice je významnou a v našich podmínkách běžně pěstovanou olejnatou plodinou. Hlavním produktem této plodiny je olejnaté semeno [Petříková, 2005]. Lodyha u olejnatých odrůd dorůstá délky 40–200 cm. Do základních výnosových prvků této plodiny je možné zařadit počet rostlin vyskytujících se na jednotce plochy a množství oleje, které lze získat z jedné rostliny.

Na černozemních a hnědozemních typech půd slunečnice dosahuje pravidelně nejvyšších výnosů. Rozhodujícími faktory pro rostliny slunečnice jsou teplota, světlo, proudění vzduchu,

atmosférické srážky. Důležité jsou také biologické a chemické vlastnosti půdy a také to, jak je zásobena živinami a vodou.

Slunečnice je velmi citlivá na zásady střídání plodin. Slunečnici je vhodné pěstovat na stejném pozemku po minimálně šesti letech. Nutné je také dodržet odstup minimálně 3–5 let mezi slunečnicí a řepkou. Mezi nejvhodnější předplodiny pro slunečnici patří pšenice ozimá, kukuřice a další typy hustě setých obilnin.

Pro růst a vývoj slunečnice je velice důležité, aby bylo vytvořeno co nejvhodnějších výživových podmínek. Nejdůležitějšími hnojivy jsou fosfor (P), draslík, hořčík a dále také močovina, bór nebo zinek (Zn). V oblasti zaplevelení slunečnice je důležité, aby byly plevele potlačovány již u předplodin a v mezíporostním období. Slunečnice je atraktivní plodinou pro výskyt široké škály hmyzu. Jedná se jak o hmyz užitečný, kam je možné zařadit včely, tak také o hmyz, který je pro tuto rostlinu škodlivý.

Určení termínu sklizně je možné podle stavu rostliny. Jedná se především o horní část lodyhy, která se mění ze zelené na světle béžovou barvu. Vlhkost semene je v tomto stádiu v rozmezí 9–11 % [Baranyk *et al.*, 2010]. Sklizni provedenou v optimálním termínu lze omezit riziko poléhání porostu, zbytečné ztráty, vypadávání semen a škody způsobené houbovými chorobami [Málek, 2005]. Mezi posklizňové úpravy lze zařadit předčištění, sušení a dočištění. Interval teplot, při kterých dochází k sušení slunečnicových nažek, se pohybuje mezi 55–65°C. Při sušení za vyšších teplot se zhoršuje kvalita sušených nažek [Baranyk *et al.*, 2010]. Na Obr. 6 je ukázka nažek slunečnice roční a semen řepky olejné.



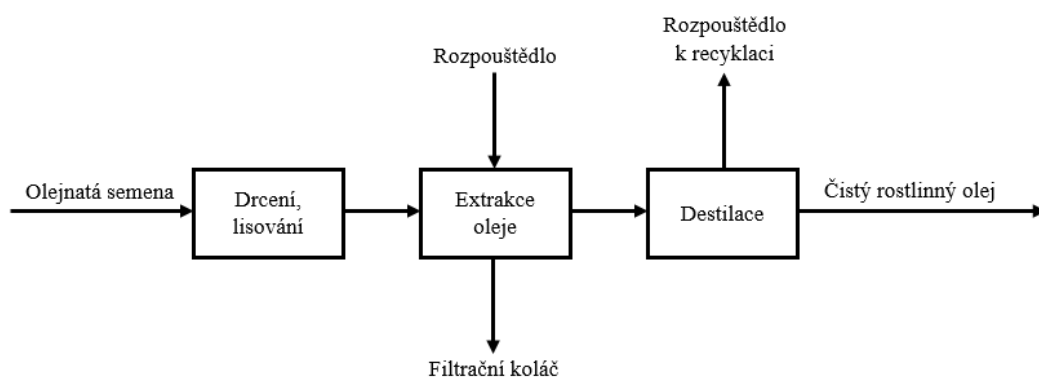
Obr. 6 Nažky slunečnice roční a semena řepky olejné.

Zdroj: převzato z <https://www.zahrada-cs.com/foto/cz/34228/>

<https://www.zahrada-cs.com/foto/cz/34133/>

2.7.3 Výroba olejů

Proces získání čistého rostlinného oleje, který následně slouží jako vstupní surovina pro výrobu bionafty, je uveden na Obr. 7. Jedná se o již zavedený a v běžné praxi používaný postup výroby rostlinných olejů, který je využíván v potravinářském průmyslu. K získání rostlinného oleje dochází extrakcí, lisováním za studena či zkombinováním obou těchto způsobů. Poté následuje destilace, při které dochází k oddělení rozpouštědla. To je možné následně recyklovat. Při tomto procesu vzniká také odpadní produkt nazývaný jako filtrační koláč. Je možné ho využít jako krmivo pro hospodářská zvířata, jelikož obsahuje velké množství proteinů [Šebor *et al.*, 2006].



Obr. 7 Proces výroby čistého rostlinného oleje.

Zdroj: upraveno z Šebor *et al.*, 2006

V řepkovém i ve slunečnicovém oleji se vyskytuje celá řada různých mastných kyselin. Jednotlivé mastné kyseliny a jejich průměrný obsah jsou uvedeny pro řepkový olej v Tab. 7 a pro slunečnicový olej v Tab. 8.

Tab. 7 Průměrný obsah mastných kyselin nacházejících se v řepkovém oleji

Triviální název kyseliny	Systematický název kyseliny	Obsah kyseliny v oleji [% hm]	
		olej A	olej B
Palmitová	Hexadekanová	4,8	2,5
Stearová	Oktadekanová	1,5	1,0
Arachová	Ikosenová	0,6	0,7
Palmitoolejová	9-Hexadekenová	0,5	0,4
Olejová	<i>cis</i> -Oktadekenová	53	11
Gadoolejová	9-Ikosenová	1,0	7,3
Eruková	13-Dokosenová	0,3	48
Linolová	9, 12-Oktadienkarbonová	22	12,5
Linolenová	9, 12, 15-Oktatrienkarbonová	11	12,1

Pozn.: A – bezeruková řepka; B – řepka obsahující velké množství kyseliny erukové

Zdroj: převzato z Blažek a Rábl, 2006

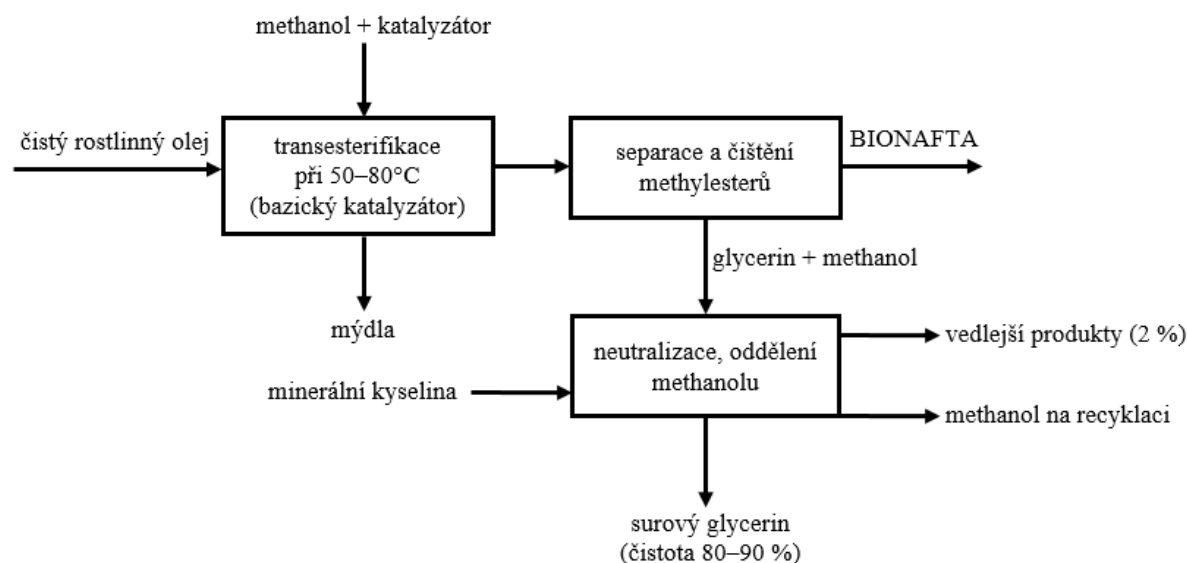
Tab. 8 Průměrný obsah mastných kyselin nacházejících se ve slunečnicovém oleji

Triviální název kyseliny	Obsah kyseliny v oleji [% hm]
Palmitová	5–6,5
Stearová	3,5–5,5
Arachová	do 0,3
Behenová	do 1,5
Linolenová	do 0,1
Eikosenová	do 0,3 %
Olejová	16–30 %
Linolová	55–71 %

Zdroj: převzato z Baranyak et al., 2010

2.7.4 Výroba methylesterů olejů

Teoreticky je možné čistý rostlinný olej použít přímo a bez úpravy jako palivo ve vznětových motorech. Problémem, které tato možnost skýtá, jsou však špatné vlastnosti neupraveného oleje. Jedná se například o vysokou viskozitu, špatnou hydrolytickou a termickou stabilitu. Možností, jak tyto problémy řešit, je chemické převedení čistého rostlinného oleje do podoby methylesterů mastných kyselin. Na Obr. 8 je zobrazen proces výroby bionafty pomocí transesterifikace rostlinných olejů [Šebor et al., 2006].



Obr. 8 Proces transesterifikace rostlinného oleje.

Zdroj: upraveno z Šebor et al., 2006

Mezi rostlinnými oleji je pro výrobu bionafty v České republice i v Evropě nejrozšířenější řepkový olej. Mezi důvody je možné zahrnout jeho vysokou výhřevnost a příznivý obsah oleje, který se nachází v semenech plodiny. Pojem MEŘO je v zahraničí běžně nahrazován termínem Rapes Methylester neboli tzv. RME. Podle použitého druhu oleje jsou methylestery označovány jako:

- RME (Rapes-Methyl-Ester) – jedná se o methylester řepkového oleje (MEŘO)
- SME (Sunflower-Methyl-Ester) – jedná se o methylester slunečnicového oleje
- FAME (Falty-acid-Methyl-Ester) – jedná se o methylester mastných kyselin
- SOME (Soya-Methyl-Ester) – jedná se o methylester ze sojových bobů
- VUOME (Vaste Used Oil-Methyl-Ester) – jedná se o methylester získaný z použitých fritovacích olejů [Hromádko, 2012]

Vznik methylesteru probíhá pomocí chemické reakce triglyceridů rostlinného oleje s methanolem za současné přítomnosti katalyzátorů. Při procesu nejprve dochází k rozpuštění katalyzátoru v methanolu [Hromádko, 2012]. Katalyzátorem může být hydroxid sodný nebo hydroxid draselný [Demirbas, 2007]. Směs methanolu a katalyzátoru je i s rostlinným olejem aplikována do uzavřeného reaktoru, ve kterém bude následně probíhat transesterifikační proces. U vstupní suroviny je důležité, aby docházelo ke kontrole obsahu vody a volných mastných kyselin. Větší množství těchto volných mastných kyselin zapříčiní tvorbu mýdel a mohou také

způsobovat problémy ve chvíli, kdy dochází k oddělování glycerolu z reakční směsi [Šebor *et al.*, 2006]. Interval reakční teploty je 50–80°C. Reakční doba se pohybuje v rozmezí 1–8 hodin. K této reakci je možné použít vsádkový reaktor nebo reaktor s pístovým tokem [Hromádko, 2012]. Po skončení transesterifikace dochází k oddělení glycerolu od methylesterů. Jelikož bionafta i glycerol obsahují methanol, tak v dalším kroku je provedeno jeho oddestilování. Před tím, než dojde k oddestilování methanolu, je nutné obě separované fáze zneutralizovat. K tomu je obvykle použita minerální kyselina. Pomocí kyseliny dochází k neutralizaci přítomného katalyzátoru a také k rozštěpení vzniklých mýdel. Methanol, který byl oddělen, je dále recyklován. Po odstranění methanolu je potřeba vzniklou bionaftu promýt teplou vodou [Šebor *et al.*, 2006]. Tím dojde k odstranění zbytků mýdel a katalyzátoru. Konečnou fází je pak oddělení vody [Hromádko, 2012].

Technologie výroby bionafty je prověřená a dobře zvládnutá. V podmínkách České republiky je s úspěchy provozována již řadu let. Pro výrobu 1 tuny methylesteru řepkového oleje je potřeba přibližně 2,5 tuny řepky [Šebor *et al.*, 2006]. Nejdůležitější vlastností bionafty je její viskozita. Ta má přímý vliv na zařízení pro vstřikování paliva, hlavně při nízkých teplotách, kdy je ovlivněna tekutost paliva [Demirbas, 2007].

2.7.5 Porovnání rostlinných olejů s motorovou naftou

Každý olej disponuje specifickými charakteristickými znaky. Tyto znaky jsou geneticky dané a řadí se mezi ně například hustota, kinematická viskozita, bod vzplanutí, cetanové číslo, výhřevnost, jodové číslo či obsah síry. Dále se v olejích vyskytují variabilní znaky. Ty je možné ovlivnit například odrudou, skladováním, způsobem uvolňování oleje. Do této skupiny znaků se řadí například celkové znečištění, číslo kyselosti, obsah fosforu, oxidační stabilita, obsah vody, obsah magnézia a obsah fosforu.

Bod vzplanutí

Tento parametr vyjadřuje teplotu, kdy je možné zapálit směs par kapalného paliva se vzduchem v uzavřené nádobě a při normálním tlaku. Význam tohoto parametru je v oblasti manipulace a skladování daného paliva. V případě rostlinných olejů se jedná z pohledu bodu vzplanutí o výhodná paliva, jelikož na ně nejsou kladeny oproti motorové naftě tak vysoké požadavky na bezpečnost.

Kinematická viskozita

Tento parametr udává, jak velké je vnitřní tření v kapalině. Závislost kinematické viskozity je na tlaku a teplotě. Stanovení závislosti je prováděno pomocí viskozimetrů. Vliv má viskozita především na filtrovatelnost, čerpatelnost a vstřikování paliva. Snahou je, aby byla velikost kinematické viskozity snižována. K tomu dochází například při transesterifikaci, kdy vznikají methylestery rostlinných olejů.

Hustota

Tento parametr slouží k určení hmoty, která připadá na jednotku objemu při určité teplotě. Hustota paliva klesá s rostoucí teplotou, jelikož dochází ke zvětšování objemu kapaliny. Naopak se hustota zvyšuje s rostoucím počtem dvojitých vazeb a rostoucím obsahem uhlíku. V palivových soustavách, ve kterých jsou využívána vysokotlaká řadová čerpadla, je objem paliva vytlačovaný daným zdvihovým objemem. Energie paliva, která je vytlačovaná do válce, je podobná energii motorové nafty. To se například projeví malými rozdíly v oblasti výkonu motoru. U moderních palivových systémů je palivová dávka korigována například teplotou paliva.

Výhřevnost

Jedná se o množství energie, které se uvolní dokonalým shořením hmotnostní nebo objemové jednotky paliva. Výhřevnost je ovlivňována hlavními hořlavými prvky, mezi které se řadí uhlík a vodík. Rozdíl ve výhřevnosti methylesterů rostlinných olejů a motorové nafty, který je patrný z Tab. 9, je způsoben obsahem kyslíku. V motorové naftě se kyslík nevyskytuje vůbec nebo pouze v zanedbatelném množství. Kyslík zlepšuje poměry během spalování. To má za následek nižší kouřivost a snížení produkce například pevných částic ve výfukových plynech. Projevuje se také negativně, a to z pohledu tvorby oxidů dusíku NO_x .

Cetanové číslo

Tento parametr ovlivňuje vznětlivost, tedy rychlost vznícení paliva vstříknutého do spalovacího prostoru. Čím kratší tato doba je, tím později je možné vstřikovat palivo před tím, než dojde k ukončení komprese. K ovlivnění cetanového čísla dochází povrchovým napětím, viskozitou a průběhem destilační křivky. Ta vyjadřuje, jaké množství paliva přejde s rostoucí teplotou do plynného stavu.

Jódové číslo

Udává míru obsahu kyseliny olejové, linoleové a linolové. Čím je jódové číslo nižší, tak tím je stupeň nasycení molekul daného rostlinného oleje vyšší. Tento parametr informuje o tom, jaký sklon má olej k tvorbě kalů a usazenin. To má za následek usazování na pístních kroužcích, vstřikovačích a také snížení oxidační stability. Oleje je možné dělit do tří skupin podle velikosti jódového čísla [Šmerda *et al.*, 2013]. Toto rozdělení je uvedené v Tab. 11.

V Tab. 9 je uvedeno porovnání vybraných parametrů čistého řepkového a slunečnicového oleje s motorovou naftou, zatímco v Tab. 10 jsou porovnány methylestery rostlinných olejů s motorovou naftou.

Tab. 9 Porovnání čistých rostlinných olejů s motorovou naftou

Parametr	Jednotka	Olej		Motorová nafta
		řepkový	slunečnicový	
Měrná hmotnost	g.cm ⁻³	0,920	0,927	0,855
Bod vzplanutí	°C	317	316	> 55
Bod tuhnutí (zákalu)	°C	0 až -2	-16 až -18	0 až -2
Kinematická viskozita (20°C)	mm ² .s ⁻¹	97,7	65,8	3 až 8
Spalné teplo	MJ.kg ⁻¹	40,56	39,81	45,02

Zdroj: převzato z Hromádka *et al.*, 2010

Tab. 10 Porovnání methylesterů rostlinných olejů s motorovou naftou

Parametr	Jednotka	Methylestery rostlinných olejů		Motorová nafta
		řepkový	slunečnicový	
Hustota (15°C)	kg.m ⁻³	882	885	835
Viskozita	mm ² .s ⁻¹	4,20	4,0	2,31
Výhřevnost	MJ.l ⁻¹	32,8	32,8	35,5
Cetanové číslo	-	51–60	61	51
Jódové číslo	Ekv. g J ₂ na 100 g oleje	114	129	-

Zdroj: převzato z Šmerda *et al.*, 2013

Tab. 11 Dělení olejů dle jódového čísla

Jódové číslo [J ₂ /100g]	Příslušné dělení olejů
75–100	Nevysychavé oleje s vysokým obsahem kyseliny olejové
100–150	Slabě nebo částečně vysychavé oleje s nízkým obsahem kyseliny linolové
150–190	Vysychavé oleje s vysokým obsahem kyseliny linolové a linoleové

Zdroj: převzato z Šmerda *et al.*, 2013

2.7.6 Porovnání emisí u rostlinných olejů a motorové nafty

Během spalování paliv na bázi uhlovodíků se vzduchem vzniká v případě dokonalé oxidace oxid uhličitý (CO₂) a v případě nedokonalé oxidace ještě dále vodík (H₂) a oxid uhelnatý (CO). Kyslík se objevuje u vznětových motorů vždy, jelikož tyto motory pracují s přebytkem vzduchu. Dusík (N₂) je nejvýznamnější složkou spalin. Oxidy dusíku (NO_x) vznikají oxidací vzdušného dusíku ve spalovacím prostoru za vysokých teplot. Příkladem je zejména oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO₂) a oxid dusný (N₂O). V případě nepříznivých podmínek pro oxidaci paliva dochází ke vzniku nespálených uhlovodíků (HC). Při vysoké teplotě nastává, v případě úplného nepřístupu vzduchu uvnitř kapky kapalného paliva, dekompozice molekul uhlovodíků. Výsledkem je, že ve spalinách dochází k výskytu pevného uhlíku, tedy sazí. Z motoru odchází spolu s výfukovými plyny také malé množství pevných částic (PM). Těmi mohou být popel, prach či částičky rzi. Na Obr. 9 je graficky znázorněno složení výfukových plynů, které jsou produkovány vznětovými motory [Hromádko *et al.*, 2011].

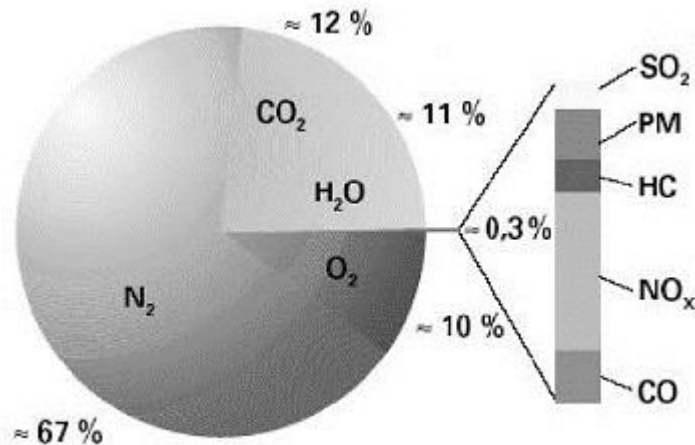
V celosvětovém měřítku má silniční doprava více než poloviční podíl na tvorbě emisí oxidu uhličitého a oxidů dusíku. Dále má téměř poloviční podíl na tvorbě emisí uhlovodíků. Největší vliv na tvorbu těchto emisí mají nákladní automobily [Kameš, 2004].

Emise oxidu uhličitého

Oxid uhličitý patří do skupiny tzv. skleníkových plynů. Díky těmto plynům vznikají radiační clony. Skleníkový efekt způsobuje průběžné zvyšování teploty a v důsledku toho poté dochází k tání ledovců a zvyšování hladiny oceánů.

Oxidy dusíku

Oxidy dusíku hrají významnou roli při tvorbě smogu v letních měsících. Další negativní vlastností je, že mají spolupodíl na tvorbě kyselých dešťů [Hromádko *et al.*, 2011].



Obr. 9 Složení výfukových plynů pocházejících ze vznětových motorů.

Zdroj: převzato z Hromádka et al., 2011

Porovnání emisí řepkového oleje a motorové nafty při NRSC testu

Vojtíšek [2011] konstatuje, že v oblasti emisí jsou rostlinné oleje příznivou náhradou nafty u vznětových motorů, které jsou dlouhodobě provozovány při středních až vyšších zatíženích. Příkladem mohou být motory dálkových autobusů, lodní motory, kamionové motory. Naproti tomu v případě delšího provozu za nízkého zatížení nastává výrazné zvýšení produktů, které vznikají neúplným spalováním. V Tab. 12 jsou uvedeny hodnoty emisí, které byly naměřeny při testu NRSC pro nesilniční motory. Ten byl realizován na Zetoru typ 1505 [Vojtíšek, 2011].

Tab. 12 Souhrnné hodnoty emisí při testu pro nesilniční motory NRSC

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

Zdroj: převzato z Vojtíšek, 2011

3 CÍL A METODIKA DIPLOMOVÉ PRÁCE

3.1 CÍL PRÁCE

Cílem experimentální části této diplomové práce bylo porovnání řepkového a slunečnicového oleje při jejich použití jako paliva pro pohon spalovacích motorů. Porovnání bylo realizováno na vznětovém přeplňovaném motoru se zaměřením na spotřebu paliva a množství vznikajících emisí během NRSC zatěžovacího cyklu. Cíle experimentální části práce je možné rozdělit do následujících bodů:

- naměření experimentálních dat a jejich zpracování
- výpočet výsledných hodnot spotřeby daného paliva a produkovaných emisí
- zhodnocení spotřeby jednotlivých paliv
- posouzení vlivu biosložky v palivu na produkci vybraných emisí

3.2 METODIKA PRÁCE

V této kapitole je uvedeno, jakými způsoby došlo k naplnění prvních dvou stanovených cílů experimentální části práce: naměření dat, jejich zpracování a výpočet hodnot produkovaných emisí a spotřeby paliv využitých pro srovnání pěti testovaných paliv. Konkrétně je metodika členěna do tří hlavních kapitol. První kapitola se zabývá metodikou analýzy vlivu daného paliva na produkci vybraných emisí a spotřebu paliva u vznětového spalovacího motoru. Ve druhé kapitole jsou popsána nejdůležitější zařízení, která byla použita při samotném měření. Poslední kapitola je zaměřena na zdůvodnění výběru emisí pro porovnání testovaných paliv.

3.2.1 Metodika analýzy vlivu paliva na jeho spotřebu a produkci emisí

Experimentální část této práce byla realizována v prostorách České zemědělské univerzity v Praze, konkrétně pak v laboratořích spadajících pod Katedru jakosti a spolehlivosti strojů. Samotné měření bylo prováděno na traktoru Zetor Forterra 8641 s výkonem 60 kW, jehož palivová soustava nebyla kvůli používaným palivům nikterak upravena. K měření nebylo využito válcové zkušebny, ale k vývodovému hřídeli byl připojen dynamometr MAHA ZW-500. Do prostoru výfukového potrubí bylo instalováno čidlo snímající teplotu výfukových plynů, sonda patřící k emisnímu analyzátoru BrainBee AGS-200 a rovněž sonda náležící opacitometru BrainBee OPA-100. Sonda, která slouží pro snímání hodnot emisí, byla pro

jednotlivá měření (rozdílné hodnoty otáček vývodového hřídele a zatížení na dynamometru) přikládána zvlášť. Dalšími instalovanými přístroji byly odlučovač pevných částic a vodních par, zařízení pro měření otáček i pro měření teploty motorového oleje (MGT-300/R) a dále kontrolní čidla zaznamenávající teplotu a tlak paliva. Zapojeno bylo rovněž odsávání spalin proudících z výfukového potrubí. Ústrojí motoru, které nasává vzduch, bylo prodlouženo pomocí rovné plastové trubky, která měla zhruba v jedné polovině své délky otvor potřebný pro instalaci průtokového čidla. Tímto způsobem bylo zajištěno laminární proudění v místě uložení tohoto čidla. Dále byla na konci této trubky nainstalována bezztrátová vtoková dýza s U-manometrem. Ten sloužil ke stanovení množství nasávaného vzduchu. Během jednotlivých měření byla palivová nádrž traktoru odpojena. Místo ní byla využita pomocná nádrž s objemem přibližně 30 litrů umístěná na laboratorní váze VIBRA AJ-6200. Z této nádrže bylo čerpáno vždy aktuálně testované palivo. Jeho spotřeba byla stanovena vážením v průběhu experimentu.

Pro účely experimentální části této práce byla měřena následující paliva:

- čistá motorová nafta (palivo bez jakéhokoliv přídavku biosložky)
- směs motorové nafty s řepkovým olejem v poměrech 95/5 a 80/20 obj. %
- směs motorové nafty se slunečnicovým olejem v poměrech 95/5 a 80/20 obj. %

Jakmile došlo k připojení všech potřebných zařízení k traktoru, byly pro samotné měření připraveny směsi jednotlivých paliv. Před začátkem měření bylo nutné motor traktoru zahřát na provozní teplotu, která se blíží 100°C. K zahřátí motoru, resp. přítomného motorového oleje došlo zhruba po 40 minutách jeho chodu na volnoběžné otáčky. Následně se přistoupilo k samotnému měření. Nejprve byla naplněna za pomoci odměrného válce nádrž příslušným palivem. Poté došlo k zahájení měření vnější otáčkové charakteristiky, což je prováděno tak, že po zapnutí vývodového hřídele dojde nejlépe ručním ovladačem (páka plynu pod volantem traktoru) k nastavení plné dodávky paliva. Toto nastavení je zachováno v průběhu celého měření této charakteristiky. V tento okamžik připojený dynamometr vykazuje nulový točivý moment, tudíž se otáčky motoru nacházejí v oblasti maxima. Jakmile dojde k zahájení měření, začne se vlivem dynamometru zvyšovat zatížení motoru traktoru. To se projeví tím, že dojde k poklesu otáček motoru. Po poklesu těchto otáček o určitou hodnotu byly v pravidelných intervalech zaznamenány veličiny, jako je výkon a otáčky motoru, velikost točivého momentu na brzdě (Mt_B) a otáčky vývodového hřídele. V okamžiku dosažení zhruba 1100 ot.min⁻¹, byl experiment ukončen. Na základě získané vnější otáčkové charakteristiky došlo ke stanovení měřicích bodů pro tzv. NRSC zkušební test, jenž sloužil pro srovnání vybraných paliv.

NRSC zkušební test

Pro měření emisí ve výfukových plynech motorů pro nesilniční použití slouží mezinárodní standard ISO 8178, který je využíván např. ve státech Evropské Unie, USA a Japonsku. Tento předpis zahrnuje soubor testovacích cyklů ustáleného stavu dynamometru motoru. Tyto cykly jsou určeny pro různé třídy motorů a zařízení, které jsou označovány jako C1, C2, D1 atd. Každý z testovacích cyklů představuje sekvenci několika režimů ustáleného stavu s různými váhovými faktory. Cyklus C1 je také označován jako Non-Road Steady Cycle, tedy NRSC [Emission Test Cycles – ISO 8178, 1997-2018]. Tento test je tvořen sérií osmi režimů, jež jsou charakterizovány otáčkami a točivým momentem. Tyto hodnoty jsou typické pro běžný provoz motoru traktoru [Pexa a Kubín, 2010]. V Tab. 13 jsou uvedeny měřené body NRSC zkušebního testu.

Tab. 13 Měřené body (jednotlivé režimy) NRSC testu

Číslo režimu	Otáčky motoru	Zatížení [%]	Váhový faktor
1	Jmenovité	100	0,15
2	Jmenovité	75	0,15
3	Jmenovité	50	0,15
4	Jmenovité	10	0,10
5	Mezilehlé	100	0,10
6	Mezilehlé	75	0,10
7	Mezilehlé	50	0,10
8	Volnoběžné	-	0,15

Zdroj: převzato z Pexa et al., 2013

Jednotlivé parametry NRSC zkušebního cyklu mají tento význam:

- jmenovité otáčky – jsou stanoveny výrobcem a jedná se o maximální otáčky motoru dovolené regulátorem při plném zatížení motoru
- mezilehlé otáčky – jedná se o otáčky motoru při maximálním točivém momentu, které se nachází v rozmezí 60–75 % jmenovitých otáček
- zatížení – procentuálně vyjádřený podíl maximálního využitelného točivého momentu při daných otáčkách motoru
- váhový faktor – jde o váhu jednotlivých režimů, která je využita při výpočtu výsledné hodnoty produkce emisí/spotřeby paliva [Pexa a Kubín, 2010; Pexa et al., 2013]

Následně, co byly určeny měřící body NRSC zkušebního testu ze zjištěné vnější otáčkové charakteristiky měřeného motoru, následoval experiment zaměřený na spotřebu paliva a také na produkci vybraných emisí výfukových plynů v právě těchto daných bodech. Nejprve došlo k zapnutí vývodového hřídele a k nastavení dynamometru i ovládací páky motoru takovým způsobem, aby došlo k ustálení motoru vždy ve zvoleném pracovním bodě. To znamená, že při zatížení určitým točivým momentem měl motor v průběhu měření předepsané otáčky. Poté co došlo k ustálení chodu motoru, byly zapsány tyto údaje: otáčky motoru a vývodového hřídele, točivý moment na brzdě, výkon motoru, spotřeba paliva, kouřivost a produkce emisí CO, CO₂, N₂O, NO, NO₂, uhlovodíků a případně jiných měřených veličin. Poté, co byl ukončen pokus s vybraným palivem, následovalo propláchnutí motoru traktoru dalším testovaným palivem takovým způsobem, aby došlo k odstranění zbytků předchozího paliva a nebyl ovlivněn příští pokus. Směsné podíly z proplachu motoru byly jímány do odpadu a vyřazeny z experimentu.

Výsledná hodnota měrné spotřeby paliva a jednotlivých měrných emisí byla za celý NRSC zkušební test vypočtena dle vztahu 1.

$$m_{NRSC} = \frac{\sum_{i=1}^8 (M_{P,i} * VF_i)}{\sum_{i=1}^8 (P_{PTO,i} * VF_i)} \quad (1)$$

kde: m_{NRSC} měrná spotřeba paliva, nebo měrné emise za celý NRSC test [g.kWh⁻¹]
 $M_{P,i}$ hmotnostní hodinová spotřeba paliva, nebo produkce emisí v režimu i [g.h⁻¹]
 VF_i váhový faktor v režimu i
 $P_{PTO,i}$ výkon motoru na vývodovém hřídeli v režimu i [kW]

3.2.2 Použité přístroje a zařízení

Téměř veškeré přístroje a zařízení, které byly v průběhu experimentální části diplomové práce využívány, jsou v majetku České zemědělské univerzity v Praze.

Měřený traktor

Pro měření bylo využito běžně používaného typu traktoru značky Zetor Forterra typ 8641 (Obr. 10), jehož rok výroby byl 2006. Podrobná technická specifikace tohoto vozidla je poté uvedena v Tab. 14. Daný traktor disponuje vznětovým čtyřválcovým motorem, jehož výrobní označení je 1204. Přesněji se jedná o motor, který je přepínaný turbodmychadlem a využívá přímého vstřikování paliva. Tento typ traktoru splňuje emisní limity dané normou EURO II.

Tab. 14 Vybrané technické parametry motoru traktoru Z 8641

Parametr	Hodnota	Jednotka
Jmenovité otáčky	2200	ot.min ⁻¹
Čistý výkon při jmenovitých otáčkách měř. podle ISO 2288	60	kW
Max. točivý moment (<i>M_t</i>)	351	Nm
Specifická spotřeba paliva při uvedeném výkonu	253	g.kW ⁻¹ .h ⁻¹
Max. přeběhové otáčky	2460	ot.min ⁻¹
Volnoběžné otáčky	750±25	ot.min ⁻¹

Zdroj: převzato z Zetor – Návod k obsluze a údržbě, 2004



Obr. 10 Měřený traktor Zetor Forterra 8641.

Zdroj: autor

Dynamometr

Pro účely měření byla využita vířivá brzda – dynamometr MAHA ZW-500 (Obr. 11). Tímto zařízením je možné měřit točivý moment a otáčky vývodového hřídele, otáčky a výkon motorů traktorů. K jeho ovládání je používán řídicí software. Dynamometr byl připojen k zadnímu vývodovému hřídeli měřeného vozidla, tudíž byl výkon motoru traktoru přenášen na tento dynamometr právě přes připojený vývodový hřídel. Pro přepočítání točivého momentu, který byl vyvozen dynamometrem (M_{t_B}) na příslušný točivý moment motoru (M_{t_M}) byl použit převodový poměr hodnoty 3,543. V Tab. 15 jsou uvedeny vybrané parametry použitého dynamometru.

Tab. 15 Základní technické parametry dynamometru MAHA ZW-500

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální brzdňý výkon	500	kW
Maximální otáčky	2500	min ⁻¹
Maximální točivý moment	6600	Nm
Rozměry (délka x šířka x výška)	3580x2110x1420	mm
Hmotnost	1300	kg

Zdroj: převzato z *Power Take-Off Performance Dynamometer ZW-500, 2018*



Obr. 11 Dynamometr MAHA ZW-500 a ukázka napojení na vývodový hřídel.

Zdroj: autor

Spalinové analyzátory značky BrainBee

Tyto přístroje byly využity pro měření různých druhů emisních skupin. Konkrétně se jedná o dva analyzátory: AGS-200 a OPA-100 (Obr. 12). Měřicí zařízení byla propojena hadicemi s příslušnými sondami, které byly umístěny ve výfukovém potrubí. První přístroj, BrainBee AGS-200, sloužil k měření emisí CO, CO₂, O₂, N₂O, NO, NO₂ a uhlovodíků ve výfukových plynech z testovaného motoru. Analyzátozem BrainBee OPA-100, neboli opacitometrem, byla stanovována hodnota kouřivosti motoru. Za pomoci čidla MGT-300/R může přístroj BrainBee určovat i teplotu motorového oleje či otáčky motoru traktoru. V Tab. 16 jsou uvedeny technické parametry těchto dvou zařízení. Rovněž byl do výfukového potrubí umístěn termočlánek, který sloužil pro měření teploty spalin a měl teplotní rozsah -200–1100°C. Jelikož byl experiment prováděn v uzavřeném prostoru haly, bylo nad výfuk traktoru umístěno odsávací zařízení (Obr. 13), které odvádělo vyprodukované spaliny ven z haly.

Tab. 16 Technické parametry sestavy emisních analyzátorů BrainBee

Složka	Rozlišení	Přesnost
CO	0,01 obj. %	0,03 obj. % nebo 5 % ČH
HC	1 ppm	10 ppm nebo 5 % ČH
CO ₂	0,1 obj. %	0,5 obj. % nebo 5 % ČH
NO _x	1 ppm	-
O ₂	0,01 obj. %	0,1 obj. % nebo 5 % ČH
Opacita	0,1 %	-
Teplota	1°C	2,5°C ČH

Pozn.: ČH – čtená hodnota

Zdroj: převzato z Pexa a Kubín, 2010



Obr. 12 Emisní analyzátory BrainBee AGS-200 a OPA-100.

Zdroj: autor



Obr. 13 Zařízení pro odsávání spalin z výfukového potrubí.

Zdroj: autor

3.2.3 Výběr emisí pro porovnání použitých paliv

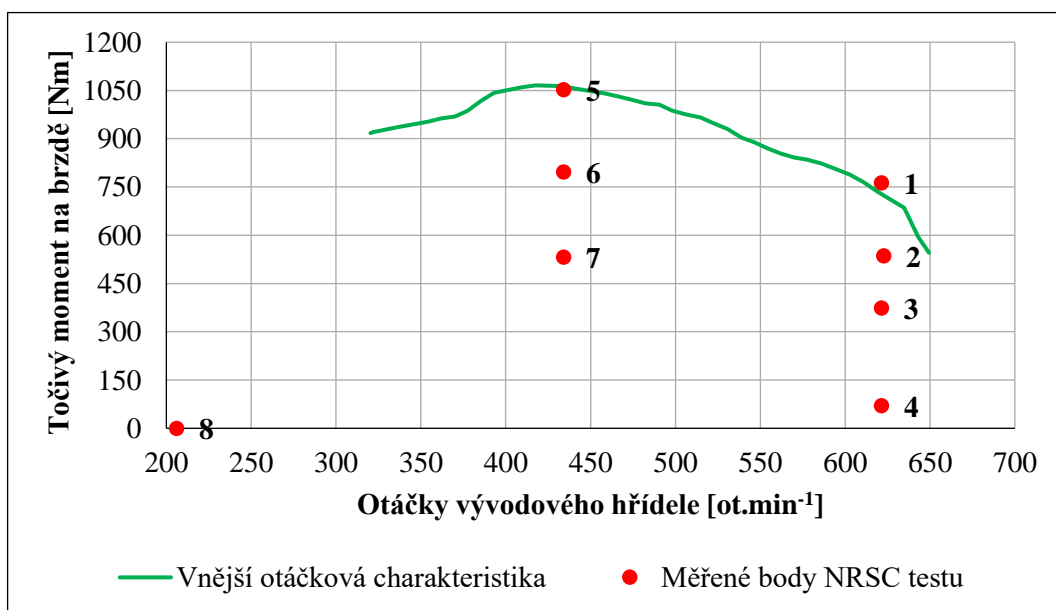
V rámci testování byly měřeny jak emise oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého, tak také emise oxidů dusíku (oxid dusný, dusnatý a dusičitý) a vybraných nespálených uhlovodíků. Obecně je možné říci, že jakékoliv emise jsou lidskému zdraví nebezpečné. S ohledem na vyprodukované množství emisí, rozlišovací schopnost analyzátoru a jeho přesnost měření byly k porovnání testovaných paliv vybrány emise NO a CO₂.

4 VÝSLEDKY

V této kapitole jsou prezentovány dosažené výsledky experimentální části diplomové práce. Je členěna na dílčí podkapitoly, které odpovídají pěti testovaným palivům a obsahují získaná data se zaměřením na spotřebu těchto paliv a produkci emisí oxidu dusnatého a oxidu uhličitého. Následující podkapitola prezentuje srovnání těchto dvou parametrů v rámci testovaných paliv. V závěru této kapitoly je také uvedeno ekonomické zhodnocení jednotlivých paliv s ohledem na jejich spotřebu a produkci daných emisí.

4.1 ČISTÁ MOTOROVÁ NAFTA

V prvním měření byla v průběhu NRSC testu zjišťována spotřeba a emisní parametry pro čistou motorovou naftu. Na Obr. 14 je uvedena vnější otáčková charakteristika spolu s NRSC body, které vychází z Tab. 17. Z té je možné dále také vyčíst spotřebu paliva v jednotlivých měřených bodech. Nejvyšší spotřeba tohoto paliva byla $15500,79 \text{ g.h}^{-1}$ a byla naměřena v bodě číslo 1 při jmenovitých otáčkách motoru, které činily $2201,77 \text{ ot.min}^{-1}$ a při maximálním, tedy 100% zatížení motoru traktoru. Naopak nejnižší spotřeba paliva byla naměřena v bodě číslo 8 při volnoběžných otáčkách, které činily $730,00 \text{ ot.min}^{-1}$ a při nulovém zatížení motoru. Její hodnota činila $900,04 \text{ g.h}^{-1}$. V rámci dat týkajících se spotřeby čisté motorové nafty lze sledovat trend ukazující, že při daných otáčkách dochází při snižujícím se zatížení motoru ke snížení spotřeby paliva. Výsledek normovaného NRSC testu pro spotřebu motorové nafty byl $340,91 \text{ g.kWh}^{-1}$.



Obr. 14 Vnější otáčková charakteristika pro čistou motorovou naftu.

Tab. 17 Čistá nafta – charakteristika měřených bodů NRSC testu

Číslo bodu	Otáčky vývodového hřídele [ot.min ⁻¹]	Mt_B [Nm]	Otáčky motoru [ot.min ⁻¹]	Mt_M [Nm]	Výkon motoru [kW]	Spotřeba paliva [g.h ⁻¹]	Spotřeba paliva [g.kWh ⁻¹]
1	621,44	763,06	2201,77	215,37	49,66	15500,79	312,15
2	622,67	536,31	2206,13	151,37	34,97	12211,86	349,20
3	621,32	374,28	2201,34	105,64	24,35	10243,44	420,63
4	621,37	70,17	2201,53	19,81	4,57	6149,39	1346,80
5	434,01	1052,28	1537,71	297,00	47,83	12534,46	262,08
6	434,07	797,23	1537,89	225,02	36,24	9896,65	273,10
7	434,02	531,93	1537,72	150,13	24,18	7320,41	302,80
8	206,04	0,00	730,00	0,00	0,00	900,04	-

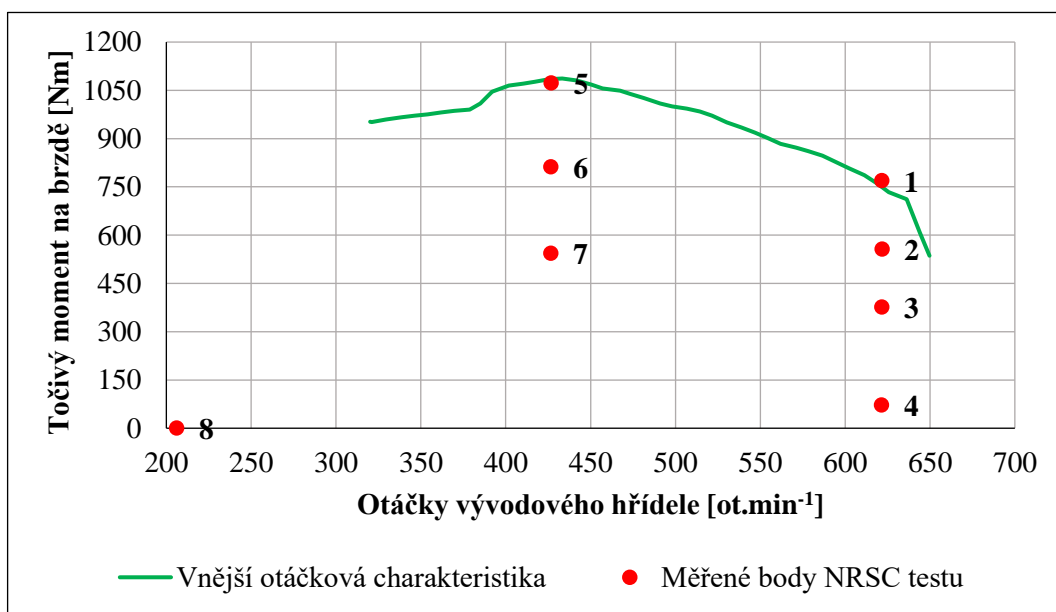
Z Tab. 18 je možné vyčíst objemovou koncentraci složek [ppm], absolutní produkci složek [g.h⁻¹] a měrnou produkci složek [g.kWh⁻¹] pro vybrané emise NO a CO₂, které byly naměřeny během NRSC testu. Z Tab. 18 je možné vyčíst, že maximální produkce emisí NO byla v bodě 5 při mezilehlých otáčkách motoru a maximálním, 100% zatížení motoru. Hodnota maximálně produkovaných emisí NO činila 399,62 g.h⁻¹. Minimální produkce emisí NO byla v bodě 8, kdy motor traktoru běžel na volnoběžné otáčky a jeho zatížení bylo nulové. Hodnota minimálně produkovaných emisí NO činila 29,85 g.h⁻¹. Dále tato tabulka uvádí, že maximální produkce emisí CO₂ byla v bodě 1 při jmenovitých otáčkách motoru a jeho maximálním, 100% zatížení. Hodnota maximální produkce CO₂ byla 58569,95 g.h⁻¹. Naopak nejnižší produkce emisí CO₂ byla v bodě 8 při volnoběžných otáčkách motoru traktoru a jeho nulovém zatížení. Naměřená hodnota minimálně produkovaných emisí CO₂ byla 3049,18 g.h⁻¹. Výsledek normovaného NRSC testu pro produkci emisí NO a CO₂ byl 8,38 g.kWh⁻¹, resp. 1283,44 g.kWh⁻¹.

Tab. 18 Čistá nafta – produkované emise NO a CO₂

Číslo bodu	NO [ppm]	CO ₂ [ppm]	NO [g.h ⁻¹]	CO ₂ [g.h ⁻¹]	NO [g.kWh ⁻¹]	CO ₂ [g.kWh ⁻¹]
1	630,35	67253,66	374,29	58569,95	7,54	1179,47
2	514,56	59494,05	271,75	46082,83	7,77	1317,75
3	361,60	53226,13	179,96	38851,53	7,39	1595,37
4	151,53	38250,18	62,46	23125,87	13,68	5064,88
5	1181,20	94585,54	399,62	46933,50	8,36	981,34
6	1117,47	83779,10	334,04	36730,94	9,22	1013,60
7	868,84	70242,51	235,85	27965,40	9,76	1156,74
8	320,69	22334,79	29,85	3049,18	-	-

4.2 SMĚS MOTOROVÉ NAFTY A ŘEPKOVÉHO OLEJE V POMĚRU 95/5

Ve druhém měření byla v rámci NRSC testu testována spotřeba a emisní parametry pro směs motorové nafty s řepkovým olejem. Poměr složek v tomto palivu činil 95 obj. % motorové nafty a 5 obj. % řepkového oleje. Obr. 15 ukazuje průběh vnější otáčkové charakteristiky s NRSC body, jejichž parametry jsou uvedeny v Tab. 19. Z této tabulky lze zjistit, jaká byla spotřeba paliva v průběhu měření v jednotlivých bodech testu. Nejvyšší spotřeba paliva byla naměřena v bodě 1 při jmenovitých otáčkách motoru, které činily 2201,99 ot.min⁻¹ a při 100% zatížení motoru testovaného vozidla. Její hodnota byla 15375,65 g.h⁻¹. Oproti tomu nejnižší spotřeba 790,77 g.h⁻¹ byla zjištěna v bodě číslo 8, který byl měřen při nulovém zatížení motoru a při volnoběžných otáčkách, které činily 730 ot.min⁻¹. Ze zjištěných dat je možné vyčíst trend, který ukazuje, že při zvolených otáčkách dochází při zvyšování zatížení motoru traktoru také ke zvyšování spotřeby tohoto paliva. Výsledná hodnota zjišťovaná v rámci normovaného NRSC testu pro spotřebu směsi motorové nafty a řepkového oleje v poměru 95/5 byla vypočtena na 329,03 g.kWh⁻¹.



Obr. 15 Vnější otáčková charakteristika pro 5 obj. % řepkového oleje.

Tab. 19 5 obj. % řepkového oleje – charakteristika měřených bodů NRSC testu

Číslo bodu	Otáčky vývodového hřídele [ot.min ⁻¹]	Mt_B [Nm]	Otáčky motoru [ot.min ⁻¹]	Mt_M [Nm]	Výkon motoru [kW]	Spotřeba paliva [g.h ⁻¹]	Spotřeba paliva [g.kWh ⁻¹]
1	621,51	768,93	2201,99	217,03	50,04	15375,65	307,24
2	621,68	556,29	2202,63	157,01	36,22	12093,17	333,92
3	621,51	376,53	2202,01	106,27	24,51	9952,76	406,13
4	621,43	71,98	2201,73	20,32	4,68	5826,31	1243,75
5	426,78	1072,84	1512,06	302,81	47,95	12467,18	260,02
6	426,58	811,98	1511,36	229,18	36,27	9411,25	259,46
7	426,59	543,27	1511,42	153,34	24,27	6882,31	283,58
8	206,04	0,00	730,00	0,00	0,00	790,77	-

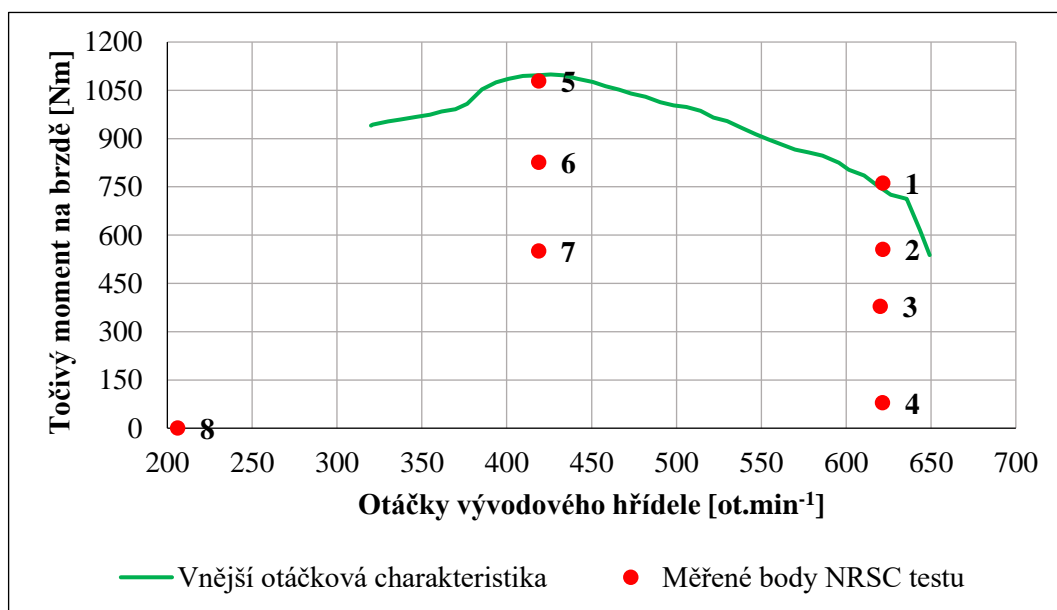
Tab. 20 uvádí hodnoty pro zjišťované emise NO a CO₂, konkrétně objemovou koncentraci složek [ppm], absolutní produkci složek [g.h⁻¹] a měrnou produkci složek [g.kWh⁻¹]. Z této tabulky je možné zjistit, že maximální produkce emisí CO₂ byla zjištěna v měřeném bodě 1 při jmenovitých otáčkách motoru a maximálním zatížení motoru traktoru, kdy tato hodnota činila 53586,87 g.h⁻¹. Minimální produkce těchto emisí, jejichž hodnota je 2848,41 g.h⁻¹, byla zjištěna v bodě 8 při volnoběžných otáčkách motoru a nulovém zatížení motoru. Z pohledu emisí NO byla jejich maximální hodnota naměřena v bodě 5 při mezilehlých otáčkách motoru traktoru a jeho maximálním, tedy 100% zatížení. Tato hodnota činila 376,79 g.h⁻¹. Naopak minimální produkce emisí NO byla zjištěna v bodě 8, kdy motor běžel na volnoběžné otáčky a jeho zatížení bylo nulové. Hodnota emisí NO v tomto bodě byla 27,49 g.h⁻¹. V případě směsi motorové nafty a řepkového oleje v poměru 95/5 byla výsledkem normovaného NRSC testu pro produkci emisí NO hodnota 7,82 g.kWh⁻¹ a CO₂ hodnota 1153,04 g.kWh⁻¹.

Tab. 20 5 obj. % řepkového oleje – produkované emise NO a CO₂

Číslo bodu	NO [ppm]	CO ₂ [ppm]	NO [g.h ⁻¹]	CO ₂ [g.h ⁻¹]	NO [g.kWh ⁻¹]	CO ₂ [g.kWh ⁻¹]
1	646,18	65396,73	361,01	53586,87	7,21	1070,78
2	517,81	58622,93	258,60	42939,33	7,14	1185,65
3	359,10	52097,67	165,83	35284,32	6,77	1439,82
4	154,67	37032,47	59,62	20935,40	12,73	4469,09
5	1248,94	95256,09	376,79	42148,57	7,86	879,06
6	1182,96	83566,85	318,14	32961,76	8,77	908,74
7	875,51	67756,67	211,76	24036,30	8,73	990,40
8	294,56	20807,62	27,49	2848,41	-	-

4.3 SMĚS MOTOROVÉ NAFTY A ŘEPKOVÉHO OLEJE V POMĚRU 80/20

Dalším testovaným palivem v rámci tohoto experimentu byla směs motorové nafty (80 obj. %) a řepkového oleje (20 obj. %). Při normovaném NRSC testu byla zjišťována spotřeba a emisní parametry pro toto palivo. Na Obr. 16 je zobrazena vnější otáčková charakteristika společně s NRSC body. Parametry pro tyto body jsou uvedeny v Tab. 21. V této tabulce je možné zjistit spotřebu tohoto paliva v jednotlivých bodech v rámci měření. Nejvyšší spotřeba paliva byla zjištěna v bodě 1 při jmenovitých otáčkách motoru traktoru, které byly $2201,99 \text{ ot.min}^{-1}$, a při jeho maximálním, tedy 100% zatížení. Konkrétně spotřeba činila $16201,38 \text{ g.h}^{-1}$. Nejnižší spotřeba tohoto paliva, $928,21 \text{ g.h}^{-1}$, byla naměřena v bodě 8, tedy za volnoběžných otáček motoru vozidla, které činily 730 ot.min^{-1} a při jeho nulovém zatížení. Z naměřených hodnot lze zjistit, že pod čím vyšším zatížením motor měřeného traktoru pracuje, tak tím je také vyšší jeho spotřeba. Při normovaném NRSC testu byla vypočtena výsledná hodnota spotřeby pro směs motorové nafty a řepkového oleje v poměru 80/20 na $350,85 \text{ g.kWh}^{-1}$.



Obr. 16 Vnější otáčková charakteristika pro 20 obj. % řepkového oleje.

Tab. 21 20 obj. % řepkového oleje – charakteristika měřených bodů NRSC testu

Číslo bodu	Otáčky vývodového hřídele [ot.min ⁻¹]	Mt_B [Nm]	Otáčky motoru [ot.min ⁻¹]	Mt_M [Nm]	Výkon motoru [kW]	Spotřeba paliva [g.h ⁻¹]	Spotřeba paliva [g.kWh ⁻¹]
1	621,50	761,25	2201,99	137,34	49,55	16201,38	327,00
2	621,46	555,18	2201,82	100,16	36,13	12862,34	355,99
3	620,04	378,79	2196,81	68,34	24,60	10832,79	440,44
4	621,43	78,79	2201,71	14,21	5,13	6604,47	1288,17
5	418,81	1078,69	1483,85	194,60	47,31	12665,44	267,72
6	418,79	826,30	1483,77	149,07	36,24	9932,82	274,10
7	418,84	550,56	1483,94	99,33	24,15	7176,16	297,18
8	206,04	0,00	730,00	0,00	0,00	928,21	-

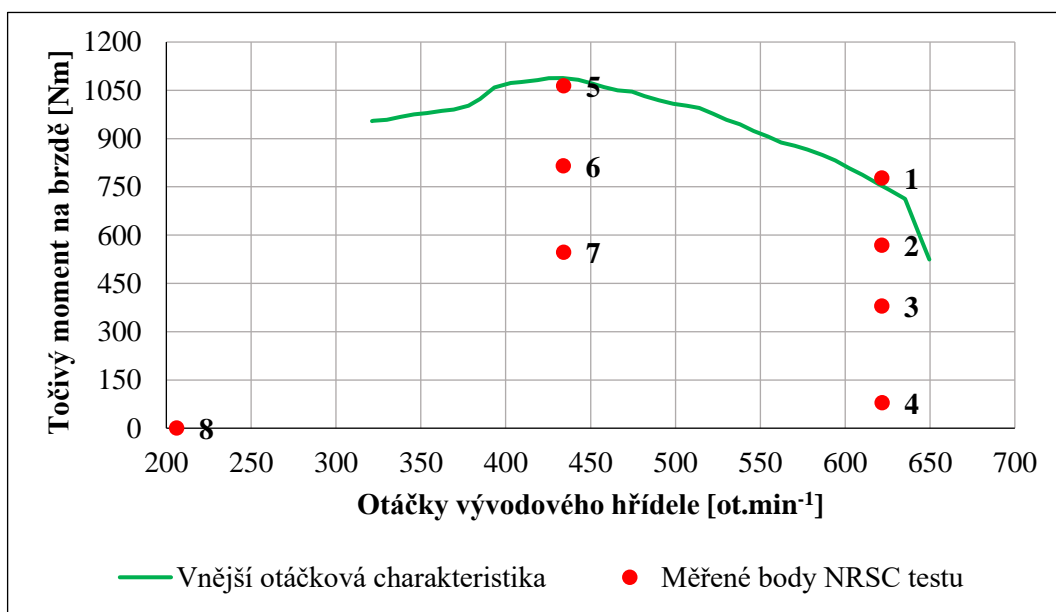
Z Tab. 22 lze vyčíst zjištěné hodnoty vybraných emisí, kterými jsou NO a CO₂ během NRSC testu. Přesněji byla zjišťována objemová koncentrace složek [ppm], absolutní produkce složek [g.h⁻¹] a také měrná produkce složek [g.kWh⁻¹]. V Tab. 22 je ukázáno, že nejvyšší hodnota produkovaných emisí NO byla v bodě 5, konkrétně při mezilehlých otáčkách a při maximálním zatížení motoru testovaného vozidla. Jejich hodnota v tomto bodě byla 383,02 g.h⁻¹. Naopak minimální produkce emisí NO byla zjištěna v bodě 8, tedy při volnoběžných otáčkách a při nulovém zatížení motoru. Konkrétně se jednalo o hodnotu 26,74 g.h⁻¹. Co se týká emisí CO₂, tak jejich maximální produkce byla zjištěna v bodě 1, kdy motor běžel při jmenovitých otáčkách a jeho zatížení bylo maximální, tedy 100%. Hodnota emisí CO₂ v bodě 1 byla 55139,46 g.h⁻¹. Minimální hodnota emisí CO₂ produkovaných testovaným motorem byla v bodě 8, kdy motor běžel na volnoběžné otáčky a jeho zatížení bylo nulové. Konkrétní hodnota emisí CO₂ v tomto bodě činila 2869,30 g.h⁻¹. Pro směs motorové nafty a řepkového oleje v poměru 80/20 byla v rámci normovaného NRSC testu pro oba typy těchto emisí vypočtena výsledná hodnota produkce, která pro NO činila 8,28 g.kWh⁻¹ a pro CO₂ 1194,79 g.kWh⁻¹.

Tab. 22 20 obj. % řepkového oleje – produkované emise NO a CO₂

Číslo bodu	NO [ppm]	CO ₂ [ppm]	NO [g.h ⁻¹]	CO ₂ [g.h ⁻¹]	NO [g.kWh ⁻¹]	CO ₂ [g.kWh ⁻¹]
1	665,35	66058,95	378,66	55139,46	7,64	1112,91
2	548,68	59094,98	281,80	44514,12	7,80	1232,03
3	384,93	53373,99	183,13	37243,64	7,45	1514,27
4	157,87	38298,43	62,11	22097,85	12,11	4310,07
5	1290,62	97639,38	383,02	42499,08	8,10	898,33
6	1241,64	86308,56	329,91	33634,84	9,10	928,17
7	939,82	70270,95	223,81	24543,75	9,27	1016,40
8	297,67	21775,26	26,74	2869,30	-	-

4.4 SMĚS MOTOROVÉ NAFTY A SLUNEČNICOVÉHO OLEJE V POMĚRU 95/5

Během normovaného NRSC testu bylo čtvrtým měřeným palivem směs motorové nafty se slunečnicovým olejem. Poměr složek činil 95 obj. % motorové nafty a 5 obj. % slunečnicového oleje. Také u tohoto paliva byla zjišťována spotřeba a produkce emisí NO a CO₂. Na Obr. 17 je zobrazen průběh vnější otáčkové charakteristiky spolu s NRSC body, jejichž parametry jsou uvedeny v Tab. 23. Tato tabulka dále také ukazuje, jak se měnila spotřeba paliva v jednotlivých měřených bodech testu. Nejvyšší spotřeba tohoto paliva byla zaznamenána v bodě 1 a činila 15739,13 g.h⁻¹. V tomto bodě motor měřeného traktoru běžel při jmenovitých otáčkách, které byly 2202,24 ot.min⁻¹ a také při 100% zatížení. Naopak nejnižší spotřeba byla zjištěna v bodě 8 a byla rovna 894,20 g.h⁻¹. V tomto bodě běžel testovaný motor na volnoběžné otáčky rovné 730,00 ot.min⁻¹ při nulovém zatížení motoru používaného traktoru. V rámci NRSC testu byla vypočtena hodnota spotřeby pro směs motorové nafty a slunečnicového oleje v poměru 95/5, která činila 336,31 g.kWh⁻¹.



Obr. 17 Vnější otáčková charakteristika pro 5 obj. % slunečnicového oleje.

Tab. 23 5 obj. % slunečnicového oleje – charakteristika měřených bodů NRSC testu

Číslo bodu	Otáčky vývodového hřídele [ot.min ⁻¹]	Mt_B [Nm]	Otáčky motoru [ot.min ⁻¹]	Mt_M [Nm]	Výkon motoru [kW]	Spotřeba paliva [g.h ⁻¹]	Spotřeba paliva [g.kWh ⁻¹]
1	621,58	776,86	2202,24	140,15	50,57	15739,13	311,26
2	621,51	567,93	2202,02	102,46	36,96	12679,95	343,04
3	621,48	379,72	2201,90	68,50	24,71	10312,23	417,29
4	621,70	79,17	2202,68	14,28	5,15	6235,32	259,49
5	434,08	1064,13	1537,95	191,98	48,37	12552,36	259,49
6	433,89	815,59	1537,28	147,14	37,06	9902,79	267,22
7	434,01	546,39	1537,70	98,57	24,83	7310,83	294,40
8	206,04	0,00	730,00	0,00	0,00	894,20	-

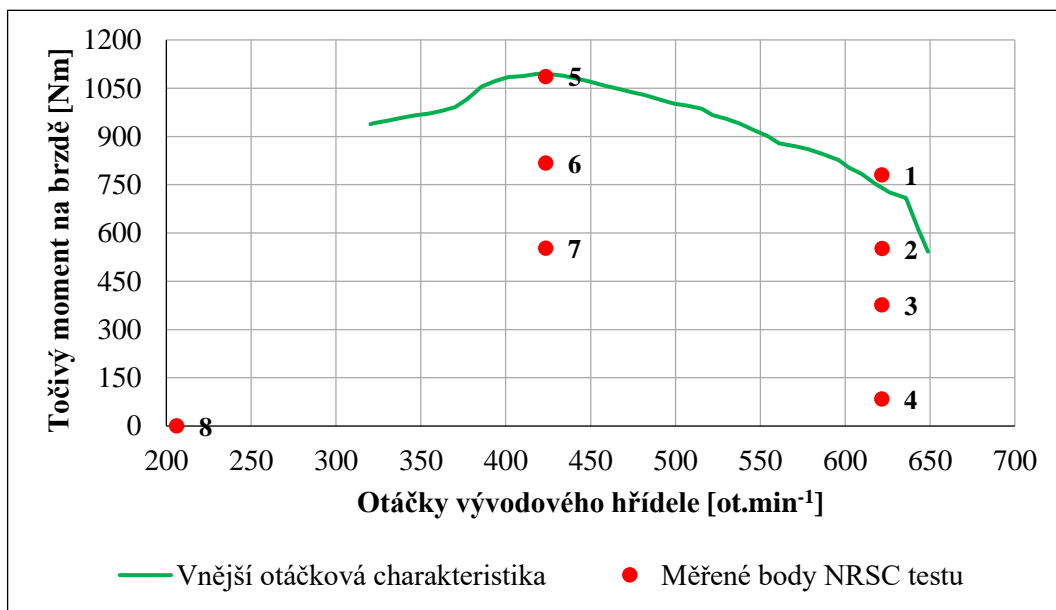
Z Tab. 24 je možné zjistit hodnoty vybraných emisí (NO a CO₂) během NRSC testu. V rámci této experimentální části práce byla zjišťována objemová koncentrace složek [ppm], absolutní produkce složek [g.h⁻¹] a měrná produkce složek [g.kWh⁻¹]. Tab. 24 uvádí, že nejvyšší hodnota produkovaných emisí NO byla naměřena v bodě 5, konkrétně při mezilehlých otáčkách a při maximálním zatížení motoru testovaného traktoru. Hodnota v tomto bodě činila 401,82 g.h⁻¹. Minimální produkce emisí NO byla zjištěna v bodě 8, kdy motor testovaného vozidla běžel na volnoběžné otáčky a zároveň měl nulové zatížení. Konkrétní hodnota byla měřením stanovena na 26,48 g.h⁻¹. Maximální produkce emisí CO₂, byla naměřena v bodě 1, kdy motor běžel při jmenovitých otáčkách a jeho zatížení bylo maximální, tedy 100%. Hodnota emisí CO₂ v bodě 1 činila 56953,28 g.h⁻¹. Minimální hodnota emisí CO₂ produkovaných během testu byla v bodě 8, kdy motor běžel na volnoběžné otáčky a jeho zatížení bylo nulové. Konkrétní hodnota emisí CO₂ zde byla 2822,29 g.h⁻¹. Pro směs motorové nafty a slunečnicového oleje v poměru 95/5 byla v rámci normovaného NRSC testu pro oba druhy emisí vypočtena výsledná hodnota jejich produkce. Ta pro NO činila 8,18 g.kWh⁻¹ a pro CO₂ 1227,86 g.kWh⁻¹.

Tab. 24 5 obj. % slunečnicového oleje – produkované emise NO a CO₂

Číslo bodu	NO [ppm]	CO ₂ [ppm]	NO [g.h ⁻¹]	CO ₂ [g.h ⁻¹]	NO [g.kWh ⁻¹]	CO ₂ [g.kWh ⁻¹]
1	646,36	66818,86	375,63	56953,28	7,43	1126,30
2	535,46	59940,05	280,80	46102,18	7,60	1247,22
3	357,05	52883,68	174,74	37959,30	7,07	1536,03
4	152,72	37554,24	63,33	22840,84	12,29	4431,53
5	1209,24	95306,61	401,82	46449,18	8,31	960,24
6	1144,44	83808,20	340,48	36569,53	9,19	986,82
7	852,43	68198,82	228,66	26830,78	9,21	1080,45
8	289,78	21056,11	26,48	2822,29	-	-

4.5 SMĚS MOTOROVÉ NAFTY A SLUNEČNICOVÉHO OLEJE V POMĚRU 80/20

Posledním testovaným palivem byla během normovaného NRSC testu směs motorové nafty se slunečnicovým olejem s poměrem složek 80 obj. % motorové nafty a 20 obj. % slunečnicového oleje. I u tohoto paliva byla měřena spotřeba a také produkce emisí NO a CO₂. Obr. 18 uvádí průběh vnější otáčkové charakteristiky s NRSC body, jejichž parametry uvádí rovněž Tab. 25. V této tabulce je dále také uvedena změna spotřeby v závislosti na měřených bodech testu. Nejvyšší spotřeba paliva byla naměřena v bodě 1, kdy konkrétní hodnota činila 16424,37 g.h⁻¹ při jmenovitých otáčkách, které byly 2202,24 ot.min⁻¹, a hodnotě zatížení 100 %. Naproti tomu nejnižší spotřebu lze vyčíst v bodě 8, kdy činila 963,88 g.h⁻¹. V tomto bodě motor traktoru běžel na volnoběžné otáčky 730,00 ot.min⁻¹ při nulovém zatížení. V rámci NRSC testu byla vypočtena výsledná hodnota spotřeby směsi motorové nafty a slunečnicového oleje v poměru 80/20, která byla rovna 350,16 g.kWh⁻¹.



Obr. 18 Vnější otáčková charakteristika pro 20 obj. % slunečnicového oleje.

Tab. 25 20 obj. % slunečnicového oleje – charakteristika měřených bodů NRSC testu

Číslo bodu	Otáčky vývodového hřídele [ot.min ⁻¹]	Mt_B [Nm]	Otáčky motoru [ot.min ⁻¹]	Mt_M [Nm]	Výkon motoru [kW]	Spotřeba paliva [g.h ⁻¹]	Spotřeba paliva [g.kWh ⁻¹]
1	621,57	779,68	2202,24	220,06	50,75	16424,37	323,63
2	621,64	551,16	2202,46	155,56	35,88	12793,07	356,56
3	621,59	376,72	2202,30	106,33	24,52	10801,66	440,50
4	621,49	84,22	2201,94	23,77	5,48	6656,26	1214,43
5	423,58	1085,66	1500,74	306,43	48,16	12966,71	269,26
6	423,55	816,58	1500,64	230,48	36,22	9938,39	274,40
7	423,46	552,25	1500,33	155,87	24,49	7384,78	301,55
8	206,04	0,00	730,00	0,00	0,00	963,88	-

V Tab. 26 jsou uvedeny hodnoty vybraných emisí oxidu dusnatého a oxidu uhličitého během NRSC testu. U těchto emisí byla zjišťována objemová koncentrace složek [ppm], absolutní produkce složek [g.h⁻¹] a měrná produkce složek [g.kWh⁻¹]. V Tab. 26 je uvedeno, že nejvyšší hodnota emisí NO byla naměřena v bodě 5, konkrétně při mezilehlých otáčkách a maximálním zatížení testovaného motoru. Hodnota zde byla 408,24 g.h⁻¹. Minimální hodnota produkce emisí NO byla v bodě 8, kdy motor běžel na volnoběžné otáčky při nulovém zatížení. Konkrétně se jednalo o 30,58 g.h⁻¹. Maximální produkce emisí CO₂, byla zjištěna v bodě 1, kdy motor běžel při jmenovitých otáčkách a jeho zatížení bylo maximální, tedy 100%. Hodnota CO₂ v bodě 1 činila 58258,59 g.h⁻¹. Minimální hodnota emisí CO₂, které byly produkovány testovaným motorem traktoru během testu, byla v bodě 8, kdy motor běžel na volnoběžné otáčky a jeho zatížení bylo nulové. Konkrétní hodnota emisí CO₂ v tomto bodě byla 3104,95 g.h⁻¹. Pro obě emise byla v rámci normovaného NRSC testu vypočtena výsledná hodnota jejich produkce při použití směsi motorové nafty a slunečnicového oleje v poměru 80/20. V případě emisí NO se hodnota jejich produkce rovnala 8,62 g.kWh⁻¹ a u emisí CO₂ byla rovna 1256,65 g.kWh⁻¹.

Tab. 26 20 obj. % slunečnicového oleje – produkované emise NO a CO₂

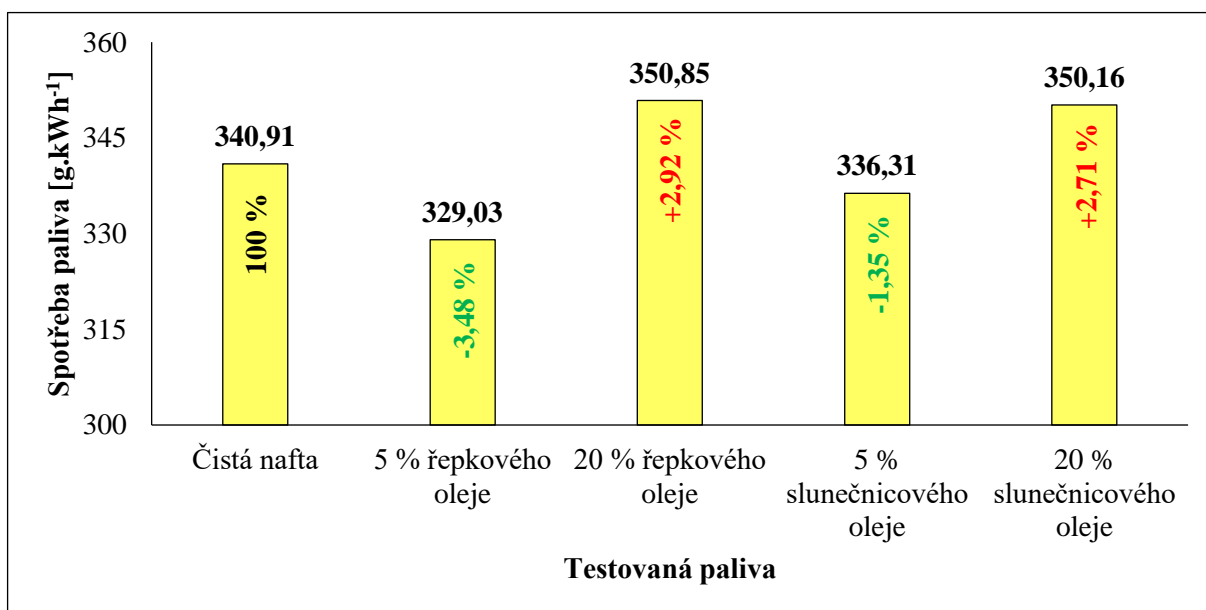
Číslo bodu	NO [ppm]	CO ₂ [ppm]	NO [g.h ⁻¹]	CO ₂ [g.h ⁻¹]	NO [g.kWh ⁻¹]	CO ₂ [g.kWh ⁻¹]
1	684,65	67463,86	403,11	58258,59	7,94	1147,94
2	541,06	59896,80	285,72	46390,72	7,96	1292,97
3	377,64	53337,38	188,03	38951,53	7,67	1588,46
4	159,18	39061,57	66,75	24026,04	12,18	4383,53
5	1267,43	98241,25	408,24	46410,87	8,48	963,74
6	1213,18	85660,18	346,37	35869,75	9,56	990,36
7	928,34	70601,92	240,67	26844,62	9,83	1096,17
8	330,01	22845,01	30,58	3104,95	-	-

4.6 POSOUZENÍ VLIVU BIOSLOŽEK NA SPOTŘEBU PALIVA A PRODUKCI EMISÍ NO, CO₂

V této kapitole jsou přehledně – v grafické podobě – porovnány hodnoty spotřeby testovaných paliv a produkce dvou vybraných emisí, kterými jsou oxid dusnatý a oxid uhličitý. Porovnání je provedeno pro všechny druhy testovaných paliv.

4.6.1 Porovnání spotřeby paliva

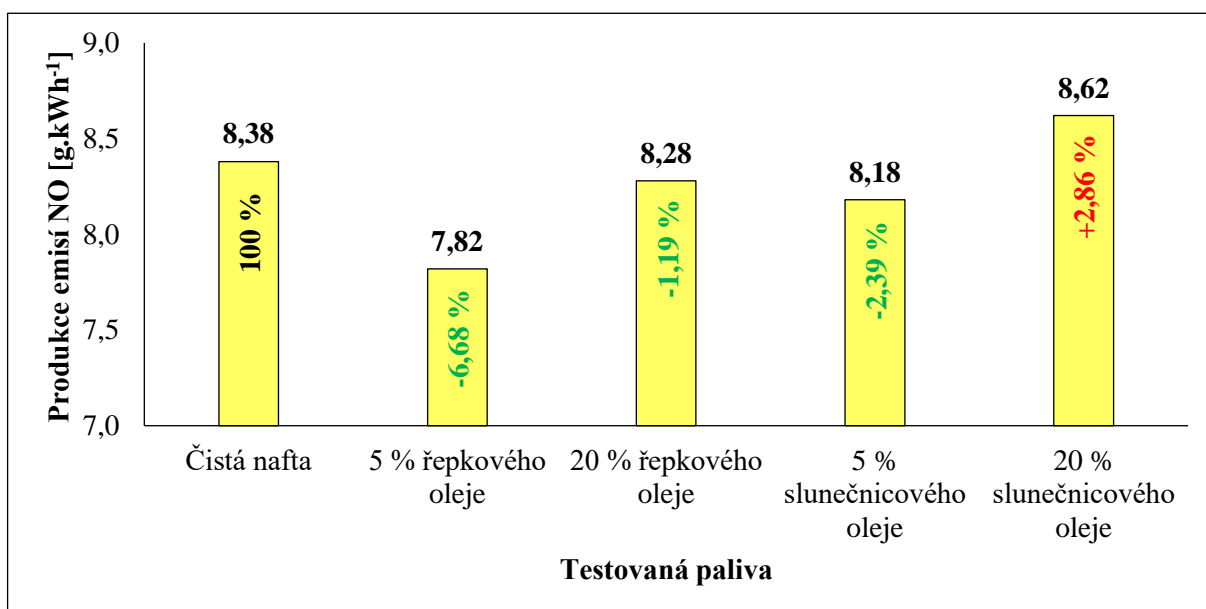
Na Obr. 19 je možné vidět souhrnné výsledky normovaného NRSC testu, v jehož rámci byla spočítána hodnota spotřeby každého měřeného paliva. Porovnání je vždy provedeno vůči čisté motorové naftě, jejíž spotřeba je brána jako kontrolní, tedy 100%. Následně je u jednotlivých paliv kromě výsledné hodnoty spotřeby uveden také procentuální pokles, nebo nárůst tohoto parametru vůči kontrolnímu palivu. Z Obr. 19 je možné vyčíst, že spotřeba paliva s 5% obsahem řepkového oleje byla nejnižší, o 3,48 % nižší oproti čisté motorové naftě. Oproti tomu, v případě paliva s 20% příměsí řepkového oleje byla hodnota spotřeby nejvyšší a vzrostla o 2,92 % ve srovnání s čistou motorovou naftou. U paliv s příměsí slunečnicového oleje spotřeba pro směs s 5% obsahem slunečnicového oleje vykázala 1,35% pokles spotřeby vůči čisté motorové naftě. Naopak u směsi paliva s 20% obsahem slunečnicového oleje spotřeba paliva vzrostla o 2,71 % v porovnání s kontrolním palivem. Z těchto dat je tedy možné pozorovat, že při 5% přídavku biosložky do motorové nafty spotřeba paliva klesá, a naopak při přídavku 20 % oleje roste.



Obr. 19 Porovnání spotřeby testovaných paliv.

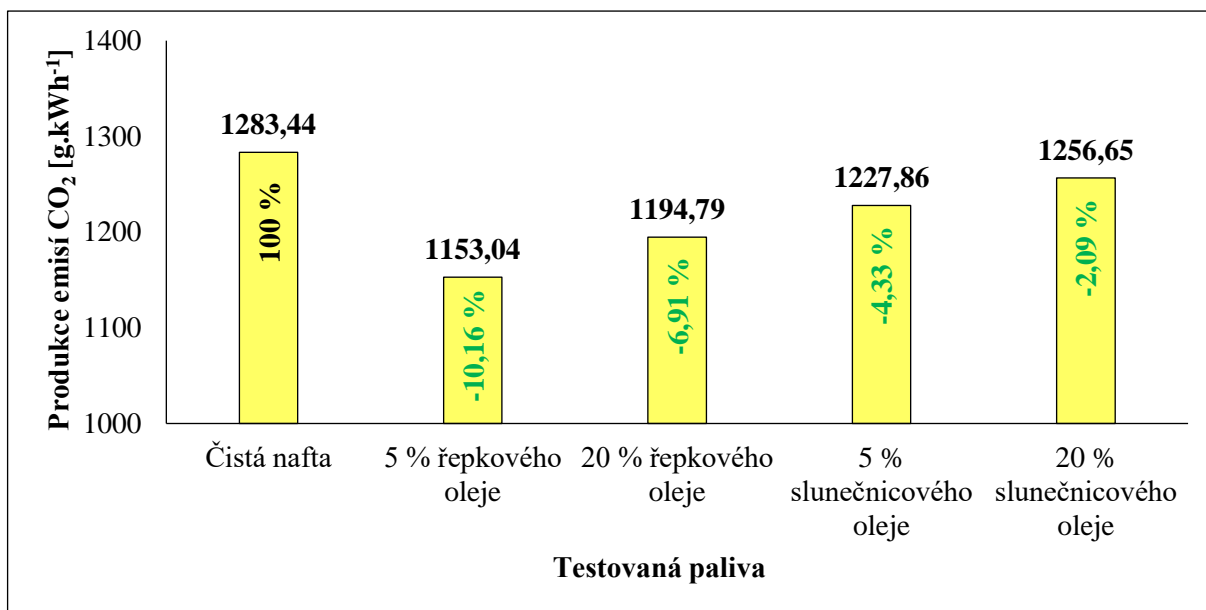
4.6.2 Porovnání produkce emisí NO a CO₂

Na Obr. 20 je graficky znázorněna produkce emisí NO u všech testovaných paliv v rámci testu NRSC. Porovnání je vždy vztaženo k čisté motorové naftě, která je brána jako kontrolní palivo a produkce emisí oxidu dusnatého je u tohoto paliva stanovena jako základní na 100 %. U směsi s 5% obsahem řepkového oleje došlo k poklesu emisí NO o 6,68 % vůči motorové naftě a tato hodnota emisí byla nejnižší naměřenou. U paliva, které bylo tvořeno směsí čisté motorové nafty a 20 % řepkového oleje došlo k poklesu produkce NO o 1,19 % vůči kontrolnímu palivu. Palivo s 5% obsahem slunečnicového oleje vyprodukovalo během testu o 2,39 % méně emisí NO ve srovnání s motorovou naftou. Naopak palivo s 20% příměsí slunečnicového oleje v průběhu testu vyprodukovalo o 2,86 % více emisí NO, než tomu bylo u paliva tvořeného pouze čistou motorovou naftou. Tato hodnota emisí byla nejvyšší měřenou v průběhu experimentu.



Obr. 20 Porovnání produkce emisí NO u testovaných paliv.

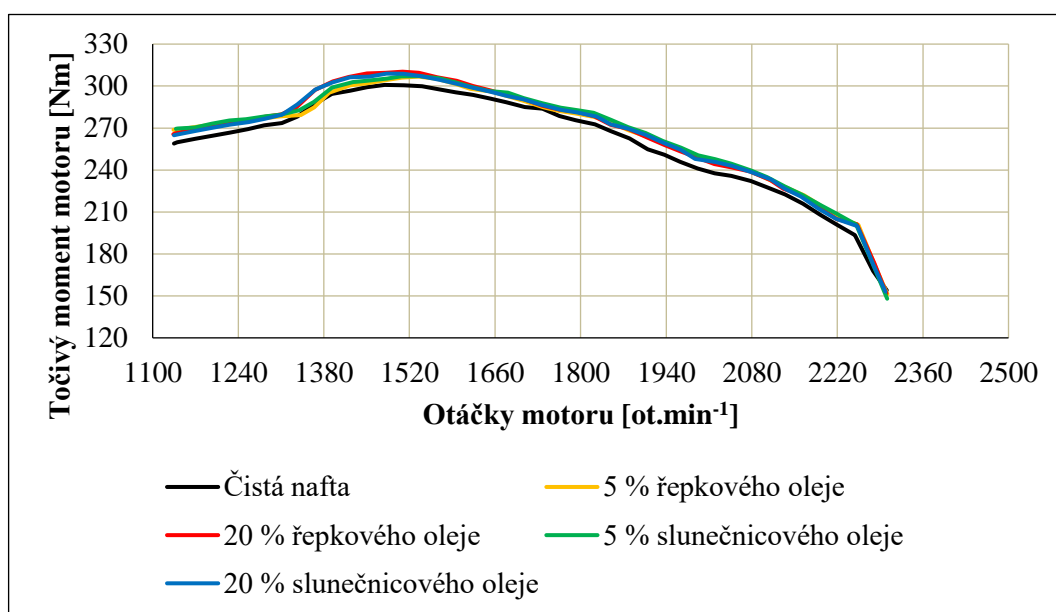
Obr. 21 graficky porovnává emise CO₂ vyprodukované v průběhu NRSC testu, a to u všech testovaných paliv. Porovnání se vztahuje k čisté motorové naftě, základnímu palivu, u kterého je produkce těchto emisí brána jako 100%. U paliva tvořeného směsí z čisté motorové nafty a 5 % řepkového oleje došlo k poklesu emisí CO₂ o 10,16 % a tato hodnota emisí byla nejnižší pozorovanou. Rovněž u směsi čisté motorové nafty a 20 % řepkového oleje došlo ke snížení produkce CO₂ o 6,91 %. Paliva obsahující 5 % a 20 % slunečnicového oleje vyprodukovala v průběhu testování o 4,33 %, respektive o 2,09 % méně emisí CO₂ než čistá motorová nafta.



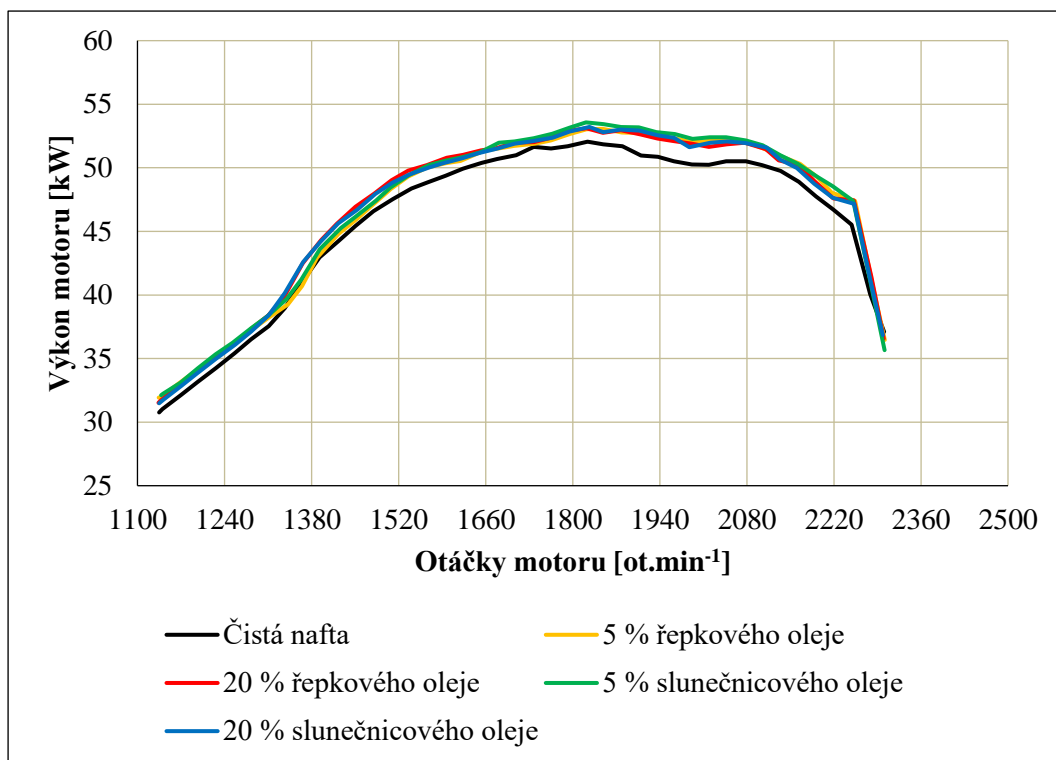
Obr. 21 Porovnání produkce emisí CO₂ u testovaných paliv.

4.6.3 Vnější otáčková charakteristika motoru

Data pro vytvoření vnějších otáčkových charakteristik motoru byla zpracována formou grafů, jenž jsou zobrazeny na Obr. 22 a Obr. 23. Otáčky motoru byly experimentálně naměřeny a uváděný točivý moment motoru byl přepočítán z naměřených hodnot točivého momentu na vývodovém hřídeli, a to za pomoci převodového poměru 3,543. V prvním uvedeném grafu je zobrazena závislost točivého momentu motoru na jeho otáčkách a Obr. 23 prezentuje závislost výkonu motoru na jeho otáčkách.



Obr. 22 Závislost točivého momentu motoru na jeho otáčkách u testovaných paliv.



Obr. 23 Závislost výkonu motoru na jeho otáčkách u testovaných paliv.

V Tab. 27 jsou shrnuta data vyplývající z výše uvedených grafů (Obr. 22, Obr. 23), konkrétně maximální hodnoty točivého momentu a výkonu motoru traktoru s jeho příslušnými otáčkami pro jednotlivá testovaná paliva. Z této tabulky vyplývá, že s rostoucí koncentrací řepkového oleje v palivu roste výkon i točivý moment motoru v porovnání s čistou motorovou naftou. Oproti tomu s rostoucí koncentrací slunečnicového oleje ve směsi s motorovou naftou točivý moment motoru také roste, ovšem u výkonového parametru není sledován takto jednoznačný trend. Při testování směsi s 5 % a 20 % tohoto oleje byl rovněž pozorován nárůst výkonu oproti kontrolnímu palivu, ale u směsi s vyšším podílem biosložky bylo dosaženo nižšího výkonu než u paliva s 5% slunečnicovým olejem.

Tab. 27 Hodnoty maximálního točivého momentu a výkonu testovaného motoru

Palivo	Maximální hodnoty			
	Točivý moment		Výkon	
	Točivý moment [Nm]	Otáčky [ot.min ⁻¹]	Výkon [kW]	Otáčky [ot.min ⁻¹]
Čistá motorová nafta	300,82	1479,20	52,05	1823,58
5 % řepkového oleje	306,75	1535,18	53,07	1848,03
20 % řepkového oleje	310,27	1508,96	53,11	1822,17
5 % slunečnicového oleje	307,11	1536,60	53,57	1821,46
20 % slunečnicového oleje	308,89	1482,39	53,22	1826,77

4.7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ TESTOVANÝCH PALIV

Tato část kapitoly je zaměřena na zhodnocení ceny [Kč.l⁻¹] pěti testovaných paliv, která byla použita v experimentální části této práce. Porovnána je vždy směs motorové nafty s přídavkem rostlinného oleje v množství 5 % a 20 % s kontrolním palivem – čistou motorovou naftou. Toto kontrolní palivo označené Diesel Pro Plus bylo zakoupeno od firmy KM-PRONA Tursko. Rostlinné oleje, které byly při testování použity jako biosložka, lze koupit v běžných obchodech s potravinami. Celková cena směsných paliv byla vypočtena podle procentuálního zastoupení daných složek (čistá motorová nafta/rostlinný olej).

Aktuální ceny komodit:

- čistá motorová nafta – 30,90 Kč za litr (aktuální údaj uvedený prodejcem)
- řepkový olej – přibližně 28,50 Kč za litr
- slunečnicový olej – přibližně 28,50 Kč za litr

Prvními hodnocenými palivy jsou směs čisté motorové nafty s řepkovým/slunečnicovým olejem přítomným v obsahu 5 obj. %. Výsledná cena těchto paliv je 30,78 Kč za litr, jsou tedy o 0,39 % levnější než čistá motorová nafta. Dalšími porovnávanými palivy jsou čistá motorová nafta s 20 obj. % řepkového/slunečnicového oleje, jejichž cena je 30,42 Kč za litr. Tato paliva jsou tudíž o 1,55 % levnější než čistá motorová nafta. V Tab. 28 je uvedeno srovnání směsných paliv s čistou motorovou naftou z hlediska jejich spotřeby, produkovaných emisí NO a CO₂ a ceny za litr. Z této tabulky vyplývá, že směsná paliva jsou levnější než čistá motorová nafta, ale rozdíl v ceně je minimální, pouze v rámci haléřů za litr paliva. Hlavním záměrem této práce ovšem nebylo testovat a navrhnout pro použití paliva, jejichž cena by byla výrazně nižší. Cílem bylo najít vhodná směsná paliva, která za podobnou cenu budou dosahovat příznivějších hodnot ve sledovaných parametrech v porovnání s čistou motorovou naftou (viz Tab. 28). S ohledem pouze na cenu paliva by se mohlo zdát, že směsná paliva, která obsahují 20 % rostlinného oleje mají nejnižší cenu za litr. Ovšem u těchto paliv byla při našem experimentu zjištěna i zvýšená spotřeba v porovnání s čistou motorovou naftou. Tudíž je rozdíl v ceně skutečně zanedbatelný.

Tab. 28 Porovnání směsných paliv s čistou motorovou naftou

Palivo	Rozdíl ve spotřebě paliva [%]	Rozdíl v produkci NO [%]	Rozdíl v produkci CO ₂ [%]	Rozdíl v ceně paliva [%]
5 % řepkového oleje	-3,48	-6,68	-10,16	-0,39
20 % řepkového oleje	+2,92	-1,19	-6,91	-1,55
5 % slunečnicového oleje	-1,35	-2,39	-4,33	-0,39
20 % slunečnicového oleje	+2,71	+2,86	-2,09	-1,55

Níže je popsán způsob zdanění čisté motorové nafty použité při experimentu. Podle zákona č. 353/2003 Sb., ze dne 26. září 2003 o spotřebních daních v aktuálním znění je toto palivo zatíženo příslušnou spotřební daní, jejíž sazba je 10950 Kč/1000 l. Tato sazba se vztahuje na motorovou naftu, resp. plynové oleje s přídavkem do 7 obj. % methylesterů mastných kyselin, které jsou určeny k pohonu vznětových motorů. Zároveň se na toto palivo vztahuje také daň z přidané hodnoty (DPH) se základní sazbou 21 %.

- Cena paliva: 30,90 Kč.l⁻¹
- Spotřební daň: 10,95 Kč.l⁻¹
- Sazba DPH: 21 %
- DPH za litr paliva: 5,36 Kč.l⁻¹
- Celkové zdanění: 16,31 Kč.l⁻¹
- Celkové zdanění v %: 52,78 %

Podle výše zmíněného zákona má osoba, která provozuje zemědělskou prvovýrobu nárok na vrácení spotřební daně z nakoupených minerálních olejů, které jsou uvedeny v § 45 odst. 1 písm. b), tedy i z čisté motorové nafty. Tyto oleje ovšem musí být nakoupeny za cenu obsahující tuto daň a musí být použity pro zemědělskou prvovýrobu. Například u rostlinné výroby včetně chmelařství, ovocnářství, vinohradnictví, pěstování zeleniny, hub, okrasných květin, dřevin, léčivých a aromatických rostlin je spotřební daň vracena ve výši 4380 Kč/1000 l zakoupených olejů. Níže je uveden výpočet ceny čisté motorové nafty po vrácení této spotřební daně.

- Cena paliva: 30,90 Kč.l⁻¹, Spotřební daň: 10,95 Kč.l⁻¹
- Vracená spotřební daň ve výši 40 % daně: 4,38 Kč.l⁻¹
- Cena paliva po vrácení spotřební daně: 26,52 Kč.l⁻¹
- Vracená spotřební daň v Kč za zdaňovací období: množství paliva v litrech, které bylo prokazatelně spotřebováno pro uvedenou zemědělskou prvovýrobu*4,38 Kč.l⁻¹

Níže jsou uvedeny hustoty pěti testovaných paliv při 15°C, které jsou nezbytné pro výpočet nákladů na pohonné hmoty:

- Hustota čisté motorové nafty: 819,13 kg.m⁻³
- Hustota směsi čisté motorové nafty s 5 obj. % řepkového oleje: 823,92 kg.m⁻³
- Hustota směsi čisté motorové nafty s 20 obj. % řepkového oleje: 838,30 kg.m⁻³
- Hustota směsi čisté motorové nafty s 5 obj. % slunečnicového oleje: 824,38 kg.m⁻³
- Hustota směsi čisté motorové nafty s 20 obj. % slunečnicového oleje: 839,85 kg.m⁻³

Další část ekonomického rozboru je zaměřena na výpočet nákladů na palivo spotřebované za 8 hodin provozu traktoru [Kč.8 h⁻¹] při podmínkách, které jsou simulovány NRSC testem. S využitím vztahu 2 byla vypočtena vážená objemová spotřeba daného paliva [l.h⁻¹], která byla vynásobena příslušnou cenou paliva za litr [Kč.l⁻¹] a následně přepočtena na výsledný náklad na palivo za 8 hodin provozu traktoru.

$$V_P = \sum_{i=1}^8 \frac{M_{P,i} * VF_i}{\rho_P} * 1000 \quad (2)$$

kde: V_P vážená objemová spotřeba paliva za celý NRSC test [l.h⁻¹]
 $M_{P,i}$ hmotnostní hodinová spotřeba paliva v režimu i [kg.h⁻¹]
 VF_i váhový faktor v režimu i
 ρ_P hustota paliva při 15°C [kg.m⁻³]

Spotřeba čisté motorové nafty je 11,50 l.h⁻¹ a náklad na 8 hodin provozu při této spotřebě činí 2842,35 Kč. Z výpočtů dále vyplývá, že spotřeba směsi tvořené čistou motorovou naftou s 5 obj. % řepkového oleje je 11,15 l.h⁻¹. Výsledný náklad na tuto palivovou směs tudíž činí 2746,73 Kč.8 h⁻¹ a je nejnižší v rámci testovaných paliv. V případě směsi čisté motorové nafty s 20 obj. % řepkového oleje je objemová spotřeba 11,64 l.h⁻¹ a náklad na osmihodinový provoz činí 2833,81 Kč. Při použití směsného paliva tvořeného čistou motorovou naftou s 5 obj. % slunečnicového oleje je spotřeba 11,58 l.h⁻¹. Náklad na tuto palivovou směs je 2850,75 Kč za 8 hodin provozu traktoru. U poslední testované palivové směsi, čisté motorové nafty s příměsí 20 obj. % slunečnicového oleje, nabývá výsledná hodnota spotřeby 11,72 l.h⁻¹. U této pohonné hmoty je dosaženo nejvyššího nákladu ze všech, konkrétně 2851,90 Kč.8 h⁻¹ (viz Tab. 29).

Tab. 29 Náklady na paliva za 8 hodin provozu traktoru

Palivo	Objemová spotřeba NRSC [l.h ⁻¹]	Náklad na palivo za 8 hodin práce [Kč.8 h ⁻¹]
Čistá motorová nafta	11,50	2842,35
5 % řepkového oleje	11,15	2746,73
20 % řepkového oleje	11,64	2833,81
5 % slunečnicového oleje	11,58	2850,75
20 % slunečnicového oleje	11,72	2851,90

V závěru ekonomického zhodnocení pěti testovaných paliv je uvedena cena za spotřebovaná paliva během osmi hodin používání traktoru Zetor Forterra 8641 v případě jeho provozu při 75% zatížení a jmenovitých, nebo mezilehlých otáčkách motoru (viz Tab. 30). Z této tabulky vyplývá, že při osmihodinovém provozu traktoru při 75% zatížení a jmenovitých otáčkách je nejnižší náklad na palivo u směsi čisté motorové nafty s 5 obj. % řepkového oleje, konkrétně 3613,27 Kč.8 h⁻¹ a naopak nejvyšší náklad na palivo je u směsi čisté motorové nafty s 5 obj. % slunečnicového oleje (3787,48 Kč.8 h⁻¹). Pokud by byl traktor provozován při 75% zatížení a mezilehlých otáčkách, nejnižší náklad na palivo za 8 hodin práce by byl rovněž při použití směsi čisté motorové nafty s 5 obj. % řepkového oleje, a to 2812,31 Kč.8 h⁻¹. Naopak nejvyšší náklad na palivo při těchto podmínkách by byl u čisté motorové nafty (2987, 66 Kč.8 h⁻¹).

Tab. 30 Náklady na paliva za 8 hodin provozu traktoru (vybrané body NRSC testu)

Palivo	Otáčky motoru [ot.min ⁻¹]	Spotřeba paliva [kg.h ⁻¹]	Spotřeba paliva [l.h ⁻¹]	Náklad na spotřebované palivo [Kč.h ⁻¹]	Náklad na palivo za 8 hodin práce [Kč.8 h ⁻¹]
Jmenovité otáčky motoru při 75% zatížení					
Čistá motorová nafta	2206,13	12,21	14,91	460,60	3684,78
5 % řepkového oleje	2202,63	12,09	14,67	451,66	3613,27
20 % řepkového oleje	2201,82	12,86	15,34	466,66	3733,28
5 % slunečnicového oleje	2202,02	12,68	15,38	473,44	3787,48
20 % slunečnicového oleje	2202,46	12,79	15,23	463,26	3706,11
Mezilehlé otáčky motoru při 75% zatížení					
Čistá motorová nafta	1537,89	9,90	12,09	373,46	2987,66
5 % řepkového oleje	1511,36	9,41	11,42	351,54	2812,31
20 % řepkového oleje	1483,77	9,93	11,85	360,34	2882,70
5 % slunečnicového oleje	1537,28	9,90	12,01	369,64	2957,10
20 % slunečnicového oleje	1500,64	9,94	11,84	360,03	2880,27

5 ZÁVĚR

Tématem této diplomové práce bylo porovnání řepkového a slunečnicového oleje jako paliva vhodného pro pohon nesilničních motorových vozidel, která disponují vznětovým motorem. Sledovanými parametry byla spotřeba daného paliva a produkce emisí oxidu dusnatého a oxidu uhličitého během NRSC testu motoru traktoru. Konkrétně bylo srovnáváno pět různých paliv: čistá motorová nafta (bez přídavku biosložky), čistá motorová nafta s 5% a 20% přídavkem řepkového, nebo slunečnicového oleje. Platná česká legislativa stanovuje, že motorové nafty prodávané pro účely dopravy musí obsahovat minimálně 6 obj. % biosložky. V experimentální části této práce bylo tedy testováno, zda i nižší procentuální zastoupení biosložky v motorové naftě přináší výhody v oblasti životního prostředí a spotřeby paliva. V současné době je velmi diskutovanou problematikou zvyšování minimálního obsahu biosložky v palivech. Z tohoto důvodu je téma diplomové práce velmi aktuální, jelikož se zabývá testováním vyššího podílu (konkrétně 20 obj. %) rostlinných olejů v motorové naftě.

V první části této práce je podrobně rozebrána současná problematika týkající se principu funkce spalovacích motorů, jejich rozdělení a popisu palivové soustavy vznětového motoru. Následně se teoretická rešerše věnuje i problematice biopaliv, jejich výroby, využití, srovnání s motorovou naftou a v neposlední řadě také příslušné legislativě. V následující části práce jsou stanoveny její hlavní cíle, mezi které patřilo naměření experimentálních dat a jejich zpracování. Postup pro dosažení těchto cílů je podrobně popsán v metodice práce. Následuje výčet výsledků a zhodnocení testovaných paliv s ohledem na jejich spotřebu a produkci vybraných emisí.

Z výsledných hodnot pro spotřebu paliv získaných zkušebním NRSC testem vyplývá, že směsné palivo obsahující čistou motorovou naftu s 5 obj. % řepkového oleje dosahuje nejnižší spotřeby, která je o 3,48 % nižší v porovnání s čistou motorovou naftou. Oproti tomu nejvyšší spotřeba paliva, o 2,92 % vyšší než u čisté motorové nafty, je sledována u směsi čisté motorové nafty s 20 obj. % řepkového oleje.

Výsledky NRSC zkušebního testu ukazují, že k nejnižší produkci emisí NO, o 6,68 % nižší ve srovnání s čistou motorovou naftou, dochází při použití směsného paliva z čisté motorové nafty s 5 obj. % řepkového oleje. Naopak s využitím směsi čisté motorové nafty s 20 obj. % slunečnicového oleje dochází k nejvyšší produkci emisí NO, konkrétně o 2,86 % vyšší oproti čisté motorové naftě.

Procentuální pokles produkce emisí CO₂ je pozorován u všech testovaných paliv s obsahem biosložky vůči čisté motorové naftě. Z NRSC testu vyplývá, že k nejnižší produkci emisí CO₂ dochází při použití čisté motorové nafty s 5 obj. % řepkového oleje. V tomto případě produkce klesá o 10,16 %. Nejnižší snížení produkce emisí CO₂ je pozorováno u směsného paliva čisté motorové nafty s 20 obj. % slunečnicového oleje, kdy je vyprodukováno o 2,09 % méně těchto emisí v porovnání s čistou motorovou naftou.

S ohledem na testované parametry se jako nejvhodnější palivo pro pohon vznětového motoru traktoru Zetor Forterra 8641 jeví směs čisté motorové nafty s 5 obj. % řepkového oleje. Při jeho použití dochází k nejnižší spotřebě paliva i produkci emisí oxidu dusnatého a oxidu uhličitého.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- BARANYK, P., HÁJKOVÁ, M., HAVEL, J., KAZDA, J., LOŠÁK, T., MÁLEK, B., MARKYTÁN, P., PLACHKÁ, E., RICHTER, R., SOUKUP, J., STRAŠIL, Z., ŠAROUN, J., ŠKEŘÍK, J., ŠMIROUS, P., ŠTRANC, P., ŠTRANC, J., ŠTRANC, D., VOLF, M., VRBOVSKÝ, V., ZEHNÁLEK, P., ZELENÝ, V. *Olejniny*. 1. vydání. Praha: Profi Press s.r.o., 2010. 206 stran. ISBN 978-80-86726-38-0.
- BEČKA, D., VAŠÁK, J., ZUKALOVÁ, H., MIKŠÍK, V. *Řepka ozimá – Pěstitelský rádce*. 1. vydání. Praha: Kurent, s.r.o., 2007. 56 stran. ISBN 978-80-87111-05-5.
- BLAŽEK, J., RÁBL, V. *Základy zpracování a využití ropy*. 2. vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. 254 stran. ISBN 80-7080-619-2.
- ČSN 65 6508. *Motorová paliva – Směsné motorové nafty obsahující methylestery mastných kyselin (FAME) – Technické požadavky a metody zkoušení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. 12 stran.
- ČSN EN 14214+A1. *Kapalné ropné výrobky – Methylestery mastných kyselin (FAME) pro vznětové motory a topné oleje – Technické požadavky a metody zkoušení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 24 stran.
- ČSN EN 590+A1. *Motorová paliva – Motorové nafty – Technické požadavky a metody zkoušení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 20 stran.
- DEMIRBAS, A. Biodiesel from sunflower oil in supercritical methanol with calcium oxide. *Energy Conversion and Management*, 2007, **48**, 937–941.
- Emission Test Cycles – ISO 8178, 1997-2018. DieselNet. Dostupné z <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/iso8178.php> [citováno 2018-03-05].
- FERENC, B. *Spalovací motory. Karburátory, vstřikování paliva a optimalizace parametrů motoru*. 3. vydání. Brno: Computer Press, a.s., 2009. 388 stran. ISBN 978-80-251-2545-8.
- HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony. Komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012. 160 stran. ISBN 978-80-247-4455-1.

- HROMÁDKO, J., HÖNIG, V., HROMÁDKO, J., MILER, P., KRUPÍČKA, J. Analýza škodlivých emisí vznětového motoru při provozu na rostlinný olej. *CHEMAGAZÍN*, 2010, **20**, 18–20.
- HROMÁDKO, J., HROMÁDKO, J., HÖNIG, V., MILER, P. *Spalovací motory. Komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing a.s., 2011. 296 stran. ISBN 978-80-247-3475-0.
- KAMEŠ, J. *Alternativní pohon automobilů*. 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2004. 231 stran. ISBN 80-7300-127-6.
- KEGL, B., KEGL, M., PEHAN, S. Optimization of a fuel injection system for diesel and biodiesel usage. *Energy Fuels*, 2008, **22**, 1046–1054.
- LEE, R. A., LAVOIE, J.-M. From first – to third-generation biofuels: Challenges of producing a commodity from a biomass of increasing complexity. *Animal Frontiers*, 2013, **3**, 6–11.
- LINO, P., MAIONE, B., RIZZO, A. Nonlinear modelling and control of a common rail injection system for diesel engines. *Applied Mathematical Modelling*, 2007, **31**, 1770–1784.
- MÁLEK, B. *Metodika pěstování slunečnice*. Praha: Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin s.r.o., 2005. 65 stran. ISBN 80-903464-9-9.
- NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 352 Sb. ze dne 3. července 2002, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. *Sbírka zákonů České republiky*. 2002, částka 127, 7376–7407.
- PETŘÍKOVÁ, V. *Pěstování rostlin pro energetické účely*. Praha: Vlasta Petříková, 2005. 32 stran. ISBN 80-239-5497-0.
- PEXA, M., KUBÍN, K. Vliv podílu biosložky v palivu na spotřebu a paliva emise traktoru Zetor Forterra 8641. *Agritech Science* [online]. 2010, **4** (3), [citováno 2018-03-02], 1–5. Dostupné z http://svtvpisek.cz/VUZT1/index.php?P=P2010_18. ISSN 1802-8942.
- PEXA, M., MAŘÍK, J., KUBÍN, K., VESELÁ, K. Impact of biofuels on characteristics of the engine tractor Zetor 8641 Forterra. *Agronomy Research*, 2013, **11**, 197–204.
- PLITZ, J. Paliva a biopaliva – hledání řešení. *Paliva*, 2014, **6**, 63–65.
- Power Take-Off Performance Dynamometer ZW-500, 2018. MAHA. Dostupné z <http://www.maha.de/power-take-off-dynamometer-zw-500.htm> [citováno 2018-03-07].

- SALADINI, F., PATRIZI, N., PULSELLI, F. M., MARCHETTINI, N., BASTIANONI, S. Guidelines for energy evaluation of first, second and third generation biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, **66**, 221–227.
- SOETAERT, W., VANDAMME, E. J. *Biofuels*. Chichester: Wiley, 2009. 256 stran. ISBN 978-0-470-02674-8.
- ŠEBOR, G., POSPÍŠIL, M., ŽÁKOVEC, J. *Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě (1. část)*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí, Ústav technologie ropy a petrochemie, 2006. 201 stran.
- ŠMERDA, T., ČUPERA, J., FAJMAN, M. *Vznětové motory vozidel. Biopaliva, emise, traktory*. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2013. 112 stran. ISBN 978-80-264-0160-5.
- TŘEBICKÝ, V. Vlastnosti paliv s obsahem biosložek. *Biom.cz* [online]. 2009 [citováno 2018-01-27]. Dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vlastnosti-paliv-s-obsahem-bioslozek>. ISSN 1801-2655.
- VLK, F. *Vozidlové spalovací motory. Teorie a konstrukce, příprava směsi, mechanické části, sání a výfuk, paliva*. 1. vydání. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. 580 stran. ISBN 80-238-8756-4.
- VOJTÍŠEK, M. Dopad spalování rostlinných olejů ve vznětových motorech na výfukové emise. *Biom.cz* [online]. 2011 [citováno 2018-02-19]. Dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/dopad-spalovani-rostlinnych-oleju-ve-vznetovych-motorech-na-vyfukove-emise>. ISSN 1801-2655.
- ZÁKON č. 353/2003 Sb., ze dne 26. září 2003 o spotřebních daních. *Sbírka zákonů České republiky*. 2003, částka 118, 5730–5788.
- Zetor – Návod k obsluze a údržbě, 2004. AGportal.cz. Dostupné z http://www.agportal.cz/files/user/zetor/Forterra_Z_8641-Z11741.pdf [citováno 2018-03-05].

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ε	kompresní poměr
ρ_P	hustota paliva při 15°C
B	bór
bioETBE	bioethyltercbutyléter
BTL	Biomass to Liquids
CNG	stlačený zemní plyn
CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
ČH	čtená hodnota
ČSN	česká technická norma
DPH	daň z přidané hodnoty
EN	evropská norma
EŘJ	elektronická řídicí jednotka
FAME	Fatty-acid-Methyl-Ester, methylester mastné kyseliny
FAO	Food nad Agriculture Organization of the United Nations
FT syntéza	Fischer-Tropschova syntéza
H ₂	vodík
H ₂ O	voda
HC	nespálené uhlovodíky
ISO	International Organization for Standardization
J ₂	jód
K	draslík
LNG	zkapalněný zemní plyn
LPG	zkapalněný ropný plyn
MEŘO	methylester řepkového oleje
Mg	hořčík
m_{NRSC}	měrná spotřeba paliva, nebo měrné emise za celý NRSC test
$M_{P,i}$	hmotnostní hodinová spotřeba paliva, nebo produkce emisí v režimu i
M_t	točivý moment
M_{tB}	točivý moment na brzdě, točivý moment na vývodovém hřídeli
M_{tM}	točivý moment motoru
N ₂	dusík
N ₂ O	oxid dusný

NO	oxid dusnatý
NO ₂	oxid dusičitý
NO _x	oxidy dusíku
NRSC	Non-Road Steady Cycle
O ₂	kyslík
P	fosfor
PM	pevné částice
$P_{PTO,i}$	výkon motoru na vývodovém hřídeli v režimu <i>i</i>
RME	Rapes-Methyl-Ester, methylester řepkového oleje
S	síra
SME	Sunflower-Methyl-Ester, methylester slunečnicového oleje
SO ₂	oxid siřičitý
SOME	Soya-Methyl-Ester, methylester ze sojových bobů
VF_i	váhový faktor v režimu <i>i</i>
V_P	vážená objemová spotřeba paliva za celý NRSC test
VUOME	Vaste Used Oil-Methyl-Ester, methylester z použitých fritovacích olejů
Zn	zinek

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek č. 1</i>	<i>Obecný postup přeměny energie ve spalovacím motoru.....</i>	<i>2</i>
<i>Obrázek č. 2</i>	<i>Schéma palivového systému Common Rail.....</i>	<i>6</i>
<i>Obrázek č. 3</i>	<i>Potenciální pokles emisí CO₂ biopalivy I. a II. generace.....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek č. 4</i>	<i>Schéma dvoupalivového systému.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek č. 5</i>	<i>Možnosti využití řepkového semene.....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek č. 6</i>	<i>Nažky slunečnice roční a semena řepky olejné.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek č. 7</i>	<i>Proces výroby čistého rostlinného oleje.....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek č. 8</i>	<i>Proces transesterifikace rostlinného oleje.....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek č. 9</i>	<i>Složení výfukových plynů pocházejících ze vznětových motorů.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek č. 10</i>	<i>Měřený traktor Zetor Forterra 8641.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek č. 11</i>	<i>Dynamometr MAHA ZW-500 a ukázka napojení na vývodový hřídel.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek č. 12</i>	<i>Emisní analyzátory BrainBee AGS-200 a OPA-100.....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek č. 13</i>	<i>Zařízení pro odsávání spalin z výfukového potrubí.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek č. 14</i>	<i>Vnější otáčková charakteristika pro čistou motorovou naftu.....</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek č. 15</i>	<i>Vnější otáčková charakteristika pro 5 obj. % řepkového oleje.....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek č. 16</i>	<i>Vnější otáčková charakteristika pro 20 obj. % řepkového oleje.....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek č. 17</i>	<i>Vnější otáčková charakteristika pro 5 obj. % slunečnicového oleje.....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek č. 18</i>	<i>Vnější otáčková charakteristika pro 20 obj. % slunečnicového oleje.....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek č. 19</i>	<i>Porovnání spotřeby testovaných paliv.....</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek č. 20</i>	<i>Porovnání produkce emisí NO u testovaných paliv.....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek č. 21</i>	<i>Porovnání produkce emisí CO₂ u testovaných paliv.....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek č. 22</i>	<i>Závislost točivého momentu motoru na jeho otáčkách u testovaných paliv.....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek č. 23</i>	<i>Závislost výkonu motoru na jeho otáčkách u testovaných paliv.....</i>	<i>50</i>

9 SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1	Základní rozdělení spalovacích motorů.....	3
Tabulka č. 2	Rozdělení pístových spalovacích motorů.....	3
Tabulka č. 3	Obecné požadavky a metody zkoušení pro motorovou naftu.....	7–8
Tabulka č. 4	Obecné požadavky a metody zkoušení pro směsnou motorovou naftu.....	8–9
Tabulka č. 5	Obecné požadavky a metody zkoušení pro FAME.....	10
Tabulka č. 6	Porovnání vybraných vlastností motorové a syntetické nafty.....	14
Tabulka č. 7	Průměrný obsah mastných kyselin nacházejících se v řepkovém oleji.....	22
Tabulka č. 8	Průměrný obsah mastných kyselin nacházejících se ve slunečnicovém oleji.....	22
Tabulka č. 9	Porovnání čistých rostlinných olejů s motorovou naftou.....	26
Tabulka č. 10	Porovnání methylesterů rostlinných olejů s motorovou naftou.....	26
Tabulka č. 11	Dělení olejů dle jódového čísla.....	27
Tabulka č. 12	Souhrnné hodnoty emisí při testu pro nesilniční motory NRSC.....	28
Tabulka č. 13	Měřené body (jednotlivé režimy) NRSC testu.....	31
Tabulka č. 14	Vybrané technické parametry motoru traktoru Z 8641.....	33
Tabulka č. 15	Základní technické parametry dynamometru MAHA ZW-500.....	34
Tabulka č. 16	Technické parametry sestavy emisních analyzátorů BrainBee.....	35
Tabulka č. 17	Čistá nafta – charakteristika měřených bodů NRSC testu.....	38
Tabulka č. 18	Čistá nafta – produkované emise NO a CO ₂	38
Tabulka č. 19	5 obj. % řepkového oleje – charakteristika měřených bodů NRSC testu.....	40
Tabulka č. 20	5 obj. % řepkového oleje – produkované emise NO a CO ₂	40
Tabulka č. 21	20 obj. % řepkového oleje – charakteristika měřených bodů NRSC testu.....	42
Tabulka č. 22	20 obj. % řepkového oleje – produkované emise NO a CO ₂	42
Tabulka č. 23	5 obj. % slunečnicového oleje – charakteristika měřených bodů NRSC testu.....	44
Tabulka č. 24	5 obj. % slunečnicového oleje – produkované emise NO a CO ₂	44
Tabulka č. 25	20 obj. % slunečnicového oleje – charakteristika měřených bodů NRSC testu.....	46
Tabulka č. 26	20 obj. % slunečnicového oleje – produkované emise NO a CO ₂	46
Tabulka č. 27	Hodnoty maximálního točivého momentu a výkonu testovaného motoru.....	50
Tabulka č. 28	Porovnání směsných paliv s čistou motorovou naftou.....	52
Tabulka č. 29	Náklady na paliva za 8 hodin provozu traktoru.....	54
Tabulka č. 30	Náklady na paliva za 8 hodin provozu traktoru (vybrané body NRSC testu).....	54