

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Použití alkoholových paliv ve vznětových motorech

Diplomová práce

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

Autor práce: Bc. Kouba Robert

PRAHA 2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Robert Kouba

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Použití alkoholových paliv ve vznětových motorech

Název anglicky

The use of alcohol fuel in diesel engines

Cíle práce

Cílem diplomové práce je porovnat emise a spotřebu paliva ve vznětových motorech při použití biopaliv na bázi alkoholu. Spalovací motor bude zatěžován v rámci NRSC testu.

Metodika

1. Úvod
2. Rozbor současného stavu (paliva vznětových motorů, produkce emisí vznětových motorů, spotřeba paliva)
3. Cíl a metodika práce
4. Výsledky (měření emisí a spotřeby paliva při použití různých koncentrací biosložek v motorové naftě, vyhodnocení naměřených dat a porovnání výsledků)
5. Závěr

Doporučený rozsah práce

50-60

Klíčová slova

motor, alkohol, motorová nafta, emise, spotřeba paliva

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.

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

ŠMERDA, T. – ČUPERA, J. – FAJMAN, M. *Vznětové motory vozidel : biopaliva, emise, traktory*. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0160-5.

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 2. 1. 2017

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 14. 10. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Použití alkoholových paliv ve vznětových motorech 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 podle 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. Robert Kouba

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za cenné rady, poskytnuté materiály, připomínky, ochotu a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat kolegům ze společnosti ČEPRO, a.s. za poskytnuté informace a literaturu. Mé poděkování si také zaslouží rodina, přátelé a přítelkyně Ing. Ivana Petrová za neustálou podporu.

Abstrakt: Diplomová práce je zaměřena na porovnání emisí a spotřebu paliva při použití různých koncentrací alkoholového paliva v motorové naftě ve vznětovém motoru. Paliva byla zkoumána na traktoru značky Zetor Forterra 8641. Zpočátku práce jsou popsána teoretická východiska, která mohou přispět k lepšímu porozumění experimentální části práce. V experimentální části práce jsou popsány cíle, metodika měření a výpočtů a ekonomické zhodnocení měřených paliv. Paliva byla zkoumána v rámci normovaného NRSC testu. Z výsledných dat vyplývá, že biopaliva jsou prospěšná vůči životnímu prostředí a budou nadále využívána pro snižování produkce emisí u spalovacích motorů. Nejnižší hodnoty týkající se produkovaných emisí, vykazovalo palivo složené ze 70 % čisté motorové nafty, 20 % řepkového oleje a 10 % butanolu. Nejnižší spotřebu vykazovala čistá motorová nafta.

Klíčová slova: motor, alkohol, motorová nafta, emise, spotřeba paliva

The use of alcohol fuel in diesel engines

Abstract: The thesis is focused on comparison of fuel consumption and emissions by using different concentrations of alcohol in diesel fuel in a diesel engine. The fuels was investigated on a Zetor Forterra 8641 tractor. On the first part of tesis are described theoretical foundations, which can contribute to a better understanding of the experimental part. In the experimental part of the thesis are described objectives, methodology of measurement and calculations and economic evaluation of measured fuels. Fuels were investigated in a standardized NRSC test. The resulting data show that biofuels are beneficial to the environment and will continue to be used to reduce emissions from combustion engines. The lowest emissions related to the emissions produced were fuel composed of 70 % pure diesel, 20 % rapeseed oil and 10 % butanol. Diesel without biocomponents showed the lowest consumption.

Keywords: engine, alcohol, diesel, emission, fuel consumption

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Rozbor současného stavu	2
2.1	Rozdělení a funkce spalovacích motorů	2
2.2	Rozdělení spalovacích motorů	3
2.2.1	Rozdělení pístových spalovacích motorů	3
2.2.2	Proces spalování paliva a příprava směsi	8
2.2.3	Předpoklady pro vyvolání hoření.....	9
2.2.4	Požadavky motorů na alkoholová paliva	10
2.3	Výroba paliv a požadavky palivových soustav motorů na funkční vlastnosti paliv	10
2.3.1	Zpracování ropy	11
2.3.2	Motorová nafta a její parametry	13
2.3.3	Popis vybraných parametrů motorové nafty.....	16
2.4	Biopaliva v porovnání s fosilními palivy	17
2.4.1	Biopaliva.....	18
2.4.2	Výroba bioethanolu	19
2.4.3	Výroba butanolu	21
2.4.4	Využití alternativních paliv v ČR.....	21
2.4.5	Důsledky při mísení biopaliv s fosilními palivy	23
2.5	Emise výfukových plynů a legislativa biopaliv.....	24
2.5.1	Popis výfukových plynů.....	24
2.5.2	Opatření ke snížení emisí výfukových plynů.....	27

3	Cíl a metodika práce	29
3.1	Cíl práce.....	29
3.2	Metodika práce	29
3.2.1	Použité stroje a měřicí zařízení	29
3.2.2	Průběh měření pro naplnění cílů diplomové práce	34
4	Výsledky	38
4.1	Motorová nafta bez obsahu biosložek.....	38
4.2	Motorová nafta s obsahem butanolu v poměru 95 % NM a 5 % BUT	40
4.3	Motorová nafta s obsahem řepkového oleje a butanolu v poměru 70 % NM 20 % ŘO a 5 % BUT.....	43
4.3.1	Celkové posouzení spotřeby paliva u měřených paliv.....	45
4.3.2	Celkové posouzení produkovaných emisí u měřených paliv.....	46
5	Ekonomické zhodnocení	48
6	Závěr	52
7	Seznam použité literatury.....	54
8	Seznam zkratk	57
9	Seznam obrázků.....	58
10	Seznam tabulek.....	59
11	Přílohy	

1 Úvod

Ač byla známa ropa již od starověku, začala paliva hýbat světem až od druhé poloviny 19. století, kdy byla založena společnost Standard Oil Company americkým průmyslníkem Johnem D. Rockefellerem. Z počátku byl ropný destilát používán jako náhrada za velrybí tuk, který byl v té době využíván pro veřejné osvětlení. S nástupem automobilového průmyslu zažívala ropa obrovský vzestup poptávky. Do ropného průmyslu začaly vstupovat i konkurenční společnosti až vzniklo takzvaných sedm sester, největších ropných společností na světě. Mezi tyto společnosti patřil Exxon, Mobil, Texaco, Gulf, SoCal, Shell a BP.

Postupem času docházelo ke zlepšování vlastností paliv vyráběných z ropy. Nové rafinerské technologie s sebou přinášely vysokooktanové benzíny po přidání olovnatých sloučenin. Byla upravována těkavost benzínu v letním a zimním období. Přibližně do sedmdesátých let dvacátého století se ovšem nijak zvlášť nehledělo na ekologii paliv spojenou s ochraňováním životního prostředí. První zásadní změnou bylo opouštění od olovnatých benzínů a snižování obsahu síry v motorové naftě. V České republice došlo k úplnému ukončení distribuce olovnatých benzínů až v roce 2001. Od devadesátých let jsou v Evropě sjednocována pravidla kvality paliv. Od té doby jsou kladeny zákonné nároky na rafinerské společnosti a výrobce automobilů. Z toho důvodu jsou zaváděna nová alternativní paliva a nové alternativní pohony. Stále je větší snaha upouštět od fosilních paliv a více využívat obnovitelné zdroje, jako jsou například moderní biopaliva vyráběna z biomasy. Tato problematika se nás všech bezprostředně dotýká, jelikož je s palivářským průmyslem spojeno mnoho dalších odvětví a měli bychom se chovat zodpovědně vůči naší planetě. A proto je velmi důležité se nad tímto tématem diplomové práce zamyslet.

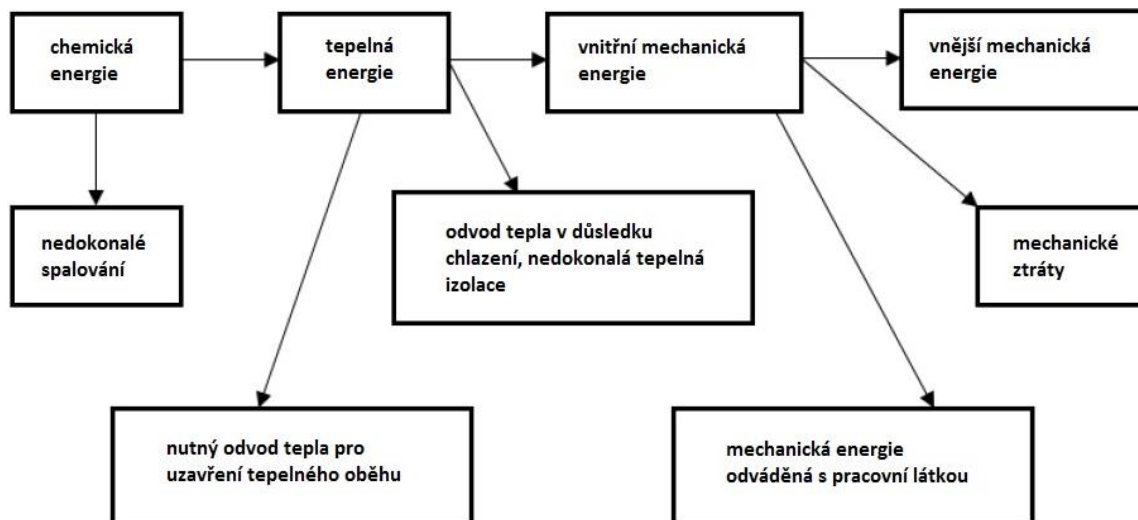
Tato diplomová práce se věnuje tématu použití alkoholových paliv ve vznětových motorech a je zaměřená především na spotřebu paliva a produkci škodlivých emisí při různých koncentracích butanolu v motorové naftě.

2 Rozbor současného stavu

V této kapitole je popsána funkce spalovacího motoru a také jeho hlavní rozdělení. Spalovací motor je jeden z nejvýznamnějších vynálezů světa. Díky tomuto vynálezu je možno dojíždět do zaměstnání a překonávat dříve nepředstavitelné vzdálenosti za velmi krátký časový okamžik. Prvním předchůdcem dnes známých spalovacích motorů, je parní stroj, který si nechal patentovat James Watt v roce 1769. Od té doby proběhlo mnoho změn, jak v automobilovém, tak rafinérském průmyslu. V dnešní době je kladen velký důraz na snižování spotřeby paliva v souvislosti s emisemi, které podle vědeckých studií způsobují nepříznivé změny klimatu při vypouštění do ovzduší. Z tohoto důvodu jsou spalovací systémy motorů upravovány tak, aby došlo k co největšímu snížení spotřeby paliv. Pro snížení emisí se také využívá mísení běžných paliv s alternativními palivy, které musí distributor podle zákona č. 201/2012 Sb. § 19 dodržovat. Legislativa také zpřísňuje výrobní postupy v rafineriích, jejíž změny mají zásadní vliv na kvalitu paliv. První podstatnou změnou byl zákaz používání olovnatých benzínů.

2.1 Rozdělení a funkce spalovacích motorů

Spalovací motor je považován za tepelný stroj, který při spalování paliva získává tepelnou energii a využitím plynného média přemění tepelnou energii na mechanickou práci. Získaná energie je využívána jako energie potenciální ve formě tlaku spalin u pístových motorů nebo energie kinetická u spalovacích turbín, kde je podstatná rychlost proudu spalin. Na schématu Obr. 1 je zobrazen obecný postup přeměny chemické energie, obsažené v palivu na mechanickou práci motoru. (1)



Obr. 1 - schéma přeměny energie ve spalovacích motorech (1)

2.2 Rozdělení spalovacích motorů

Spalovací motory je možno rozdělit na tři druhy podle způsobu přeměny tepelné energie na mechanickou práci:

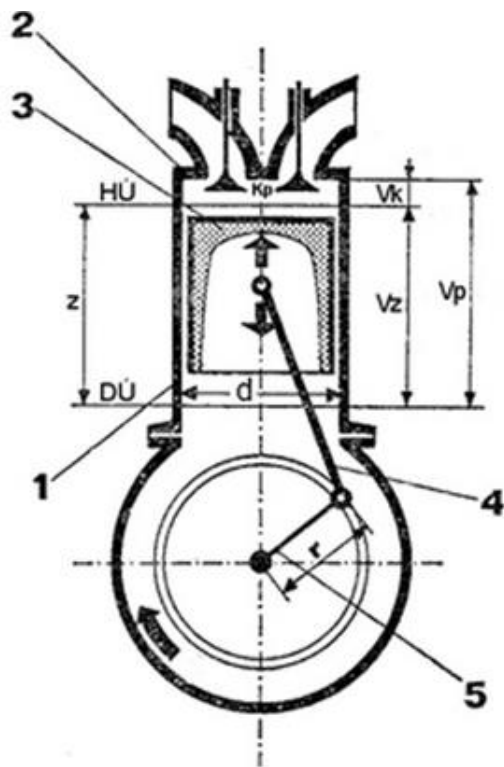
1. pístové spalovací motory,
2. turbínové spalovací motory,
3. proudové spalovací motory.

Dále je možné motory dělit podle přívodu tepelné energie:

1. motory s vnějším spalováním,
2. motory s vnitřním spalováním. (1)

2.2.1 Rozdělení pístových spalovacích motorů

Pro praktickou část diplomové práce byl použit motor pístový, je tedy vhodné jeho dělení a fungování rozebrat podrobněji. Základní údaje a názvosloví pístových spalovacích motorů jsou zobrazeny na Obr. 2.



Obr. 2. Základní schéma čtyřdobého motoru (2)

1 – válec, 2 – hlava válců, 3 – píst, 4 – ojnice, 5 – klikový hřídel, $HÚ$ – horní úvrať, $DÚ$ – dolní úvrať, z – zdvih pístu, d – průměr válce, V_z – zdvihový objem, V_k – objem kompresního prostoru, V_p – pracovní objem, K_p – kompresní prostor, r – poloměr klikového hřídele (2)

1. **Plynové motory** – u těchto motorů je převážně používán propan–butan ve zkapalněné formě LPG, zemní plyn ve stlačeném stavu CNG nebo ve zkapalněném stavu LNG.

2. **Motory na kapalná paliva** – do této skupiny patří nejběžnější spalovací motory na ropná lehkodopařitelná paliva, jako je benzín a petrolej; těžkodopařitelná paliva, jako je nafta a mazut; kapalná paliva neropného původu (ethanol, methanol, MEŘO), a směsná paliva (lihobenzínová paliva – E85 a SMN30).

3. **Vícepalivové motory** – při použití této technologie je možno zaměňovat plynná paliva s palivem kapalným například: propan-butan a benzín, zemní plyn a benzín, zemní plyn a nafta.

4. **Motory na tuhá paliva** – u tohoto typu motoru je palivo přiváděno do ústrojí v tuhém práškovitém stavu, například uhelný prach. (1)

Pístové spalovací motory lze také rozdělit podle dopravy čerstvé náplně do válce motoru na:

1. motory s přirozeným sáním,
2. motory s vyplachováním,
3. motory přeplňované.

Rozdělení pístových motorů podle dob pracovního cyklu.

Motory čtyřdobé – jak již název napovídá, u čtyřdobých spalovacích motorů probíhá pracovní cyklus během čtyř přímočarých vratných pohybů pístu ve válci motoru. Pracovní prostor válce je shora uzavřen hlavou válce se sacími a výfukovými ventily. Zdola je pohyblivě uzavřen pístem, který je utěsněn pístními kroužky a mazacím olejovým filmem. Pracovní cyklus trvá vždy dvě otáčky klikového hřídele. Píst je spojen pomocí pístního čepu a ojnice s klikovým hřídelem. Celý systém propojení je nazýván klikovým mechanismem. Klikový mechanismus převádí přímočarý vratný pohyb na otáčivý pohyb klikového hřídele.

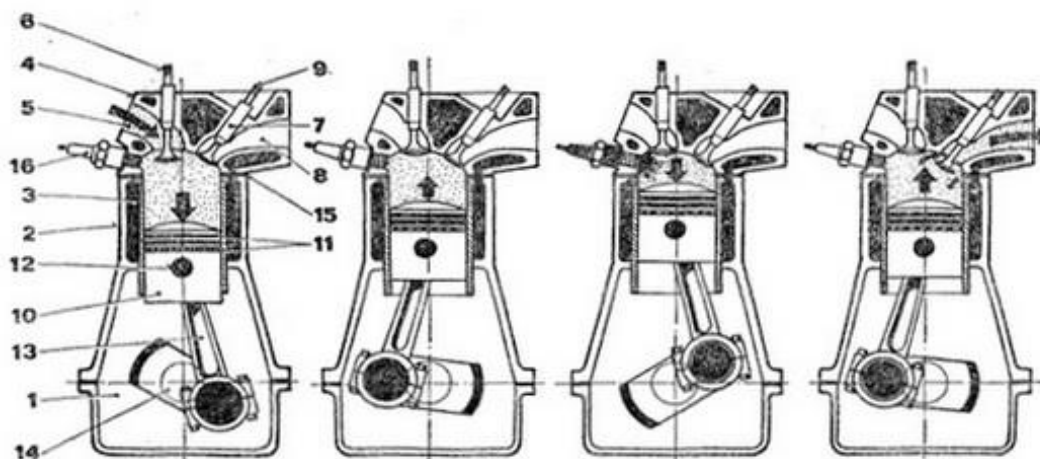
První doba je nazývána sání – píst se pohybuje z horní úvratě do dolní a při otevřeném sacím ventilu je nad píst nasávána zápalná směs u zážehových motorů (u přímého vstřikování je nasáván čistý vzduch), popřípadě čistý vzduch u vznětových motorů.

Ve druhé době se píst směřuje od dolní úvratě k horní úvratě, oba ventily jsou uzavřené. Tímto pohybem je směs respektive vzduch stlačován, stav nazývaný komprese.

Ve třetí době dojde před horní úvratí k zažehnutí směsi, neboli ke vstřiku paliva u vznětových motorů. Nastane hoření směsi a píst se pohybuje od horní úvratě k dolní.

Tato doba nazývaná expanze je nejzásadnější z celého cyklu, jelikož píst koná užitečnou práci a tímto uvádí věci do pohybu.

Ve čtvrté době následuje výfuk. Píst se pohybuje od dolní úvrati k horní a to při otevřeném výfukovém ventilu. Tímto jsou z válce vytlačeny zplodiny hoření. Následně se celý cyklus opakuje znovu. Na Obr. 3 jsou popsány základní části a složení čtyřdobého zážehového motoru. (2)



Obr. 3 - základní části a složení čtyřdobého zážehového motoru (2)

1 – kliková skříň, 2 – blok válců, 3 – válec, 4 – hlava válců, 5 – sací potrubí, 6 – sací ventil, 7 – vodítko ventilu, 8 – výfukové potrubí, 9 – výfukový ventil, 10 – píst, 11 – pístní kroužky, 12 – pístní čep, 13 – ojnice, 14 – klikový hřídel, 15 – těsnění hlavy válců, 16 – zapalovací svíčka

Motory dvoudobé – tyto motory se vyznačují tím, že celý pracovní cyklus motoru (sání, komprese, expanze a výfuk) je provedena během dvou zdvihů pístu, tedy během jedné otáčky klikového mechanismu. Činnost dvoudobého motoru probíhá následovně – píst je v dolní úvrati a jeho horní hrana odkrývá přepouštěcí kanál, kterým vede předběžně stlačená směs paliva a vzduchu nebo pouze vzduchu, z klikové skříně do prostoru nad píst. Dalším pohybem pístu z dolní úvrati do horní se zakryje přepouštěcí a výfukový kanál a směs neboli vzduch, je ve válci stlačován. Během tohoto pohybu vzniká v klikové skříni podtlak, po odkrytí sacího kanálu dolní hranou pístu, je do prostoru klikové skříně nasávána směs. Před horní úvratí dojde k zážehu směsi jiskrou, popřípadě ke vstřiku

a vznícení paliva. Vlivem hoření narůstá ve válci tlak a píst je tlačěn k dolní úvrati. Při tomto pohybu nejdříve spodní hrana pístu zakrývá sací kanál, čímž dochází ke kompresi směsi popřípadě vzduchu v klikové skříni. Následujícím pohybem horní hrana pístu odkryje výfukový kanál a tím opouští zplodiny válec. Poté následuje odkrytí přepouštěcího kanálu a směs respektive vzduch stlačený v klikové skříni vstupuje na píst a vlastním pohybem vytlačuje zbytky hoření do výfukového kanálu. Následuje opakování celého cyklu. (1)

Aby bylo u těchto motorů zajištěno mazání, je nutné přimíchání oleje do benzínu v poměru 1:25 až 1:50. (2)

Posledním důležitým rozdělením pístových spalovacích motorů, které je nutno zmínit je podle způsobu zapálení směsi paliva se vzduchem.

Motory zážehové – u tohoto typu motoru je směs paliva zážehována pomocí energie vnějšího zdroje, nejčastěji elektrickou jiskrou. Zapalovací svíčka je používána u motorů na plynná paliva, líh a benzín. Před zapálením je směs tvořena buď vně válců v takzvaném karburátoru, nebo samotným vstřikováním paliva. Kompresní poměr ϵ je omezován teplotou vznícení směsi paliva se vzduchem tj. vznikem detonačního hoření ($\epsilon_{\max} = 11,5$). Na konci komprese je tlak v rozmezí 0,8 až 1,5 MPa a teplota v rozmezí 400 až 600 °C. Tyto motory mohou být jak dvoudobé, tak čtyřdobé. (1)

Motory vznětové – u tohoto typu motoru je palivo vstřikováno do válce motoru popřípadě komůrky, kde se v důsledku vysoké teploty vyvolané kompresí vzduchu vznítí. Aby bylo dosaženo potřebné teploty pro vznícení, je nutno použít velký kompresní poměr ($\epsilon_{\max} = 12$). Nejčastěji využívaný kompresní poměr u motorů s přímým vstřikem je kompresní poměr $\epsilon = 17$ a u motorů komůrkových $\epsilon = 22$. Tlak na konci stlačení je 3 až 5,5 MPa a teplota okolo 600 až 900 °C. (1)

2.2.2 Proces spalování paliva a příprava směsi

Průběh spalování v pístovém motoru má podstatný vliv na emise a na efektivnost využití energie paliva. Průběh spalování v praxi je neustále předmětem výzkumu.

V závislosti na vybraném procesu spalování u zážehových motorů, dochází k určitému proudění vzduchu. Je nutno, aby bylo dodrženo vrstvení směsi, což zajišťuje vstřikovací ventil paliva do proudění vzduchu, tak aby se palivo odpařilo v geometricky vymezené oblasti. Proud vzduchu odnáší směs paliva až do okamžiku zážehu k zapalovací svíčke. Existují dva principiálně odlišné procesy spalování:

1. **Spalování vedený paprskem** – palivo je vstříknuto v bezprostřední blízkosti zapalovací svíčky, kde se odpaří.
2. **Spalování vedený stěnami** – zde vstřikovací ventil vstřikuje palivo do proudění vzduchu. Směs paliva se vzduchem se dostane pomocí proudění k zapalovací svíčke. (1)

U vznětových motorů jsou dva typy tvorby směsi. Těmi jsou objemový způsob a termický způsob.

1. **Objemový způsob** – V tomto případě je směs motorové nafty se vzduchem rozptýlena po celém objemu spalovacího prostoru, přičemž palivo nedopadá na stěny. Tj. dosahováno přímým vstřikem paliva do neděleného spalovacího prostoru víceotvorovou tryskou. Tento způsob je dnes nejvíce využíván, jelikož je šetrnější, co se týče spotřeby paliva.
2. **Termický způsob** – U tohoto způsobu je palivo vstřikováno do spalovacího prostoru jedno nebo dvouotvorovou tryskou tak, aby byl vytvořen tenký film po stěně spalovacího prostoru. Následně přívodem tepla ze stěny spalovacího prostoru je palivový film postupně odpařován. Páry paliva jsou promíseny se vzduchem, které postupně hoří. (1)

2.2.3 Předpoklady pro vyvolání hoření

Aby bylo vyvoláno rychlé hoření, je nutno splnit řadu podmínek. Musí být zajištěna dostatečná koncentrace molekul paliva a kyslíku včetně jejich poměru v palivové směsi. Dále musí být dosažena dostatečná koncentrace volných radikálů, frekvence srážek molekul a radikálů, přičemž kolize reagujících částic jsou efektivní, jen pokud jejich energie přesáhne kritickou hodnotu. Tyto podmínky jsou zajišťovány především zvyšováním teploty zápalné směsi anebo zvyšováním tlaku. V dnešní době rozvoje alternativních paliv jsou velmi využívány přísady do paliv jako prostředek usměrňování koncentrace volných radikálů. Vhodným příkladem jsou oxidovadla, jako nitráty a peroxidy, jelikož umožňují „přeměnu“ oktanového čísla alkoholů na cetanové. (3)

Důležitou hodnotou pro vznětové a zážehové motory, je bod vzplanutí a teplota vznícení. Bod vzplanutí je minimální teplota kapalného paliva, při které, za normálního tlaku koncentrace par nad hladinou, je tak velká, že je možno směs se vzduchem zažehnout. Pro zažehnutí není potřeba vysoká teplota směsi. Norma vyžaduje, aby motorová nafta měla bod vzplanutí nad 55 °C. Bod vzplanutí u automobilového benzínu je -30 °C. Tyto parametry názorně rozlišují tato dvě paliva z hlediska požární bezpečnosti. Naftu lze zapálit plamenem, pokud dosáhne nad 55 °C, kdežto benzín i při minusových teplotách. U teploty vznícení je tomu zcela naopak. Ke vznícení motorové nafty dojde již například při ukápnutí na výfukové potrubí, které má teplotu okolo 300 °C, kdežto benzín se vznítí až při teplotách 450 °C. Teplota vznícení velmi úzce souvisí s cetanovým číslem, kupříkladu alkoholové sloučeniny mají daleko vyšší teplotu vznícení než motorová nafta a při jejich mísení snižují cetanové číslo nafty. Pro přehlednost je v *Tab. 1* srovnání teplot vznícení a vzplanutí u jednotlivých sloučenin. (3)

Tab. 1 - srovnání teplot vznícení a vzplanutí u jednotlivých sloučenin (3)

sloučenina	teplota vznícení °C	bod vzplanutí °C
ethanol	490	61
1 – butanol	430	20
BA95	450	-30
nafta motorová	260	55
petrolej	240	38

2.2.4 Požadavky motorů na alkoholová paliva

V současnosti jsou samotná alkoholová paliva nebo paliva obsahující větší část lihu v Evropě používána výjimečně. Tato paliva mají především předpoklad pro použití v zážehových motorech, jelikož mají vysoké oktanové číslo a dobře se odpařují. Alkoholy mají oproti benzínu nedostatečnou těkavost při nízkých teplotách. Proto jsou více používány směsi benzínu s ethanolem (E85) nebo methanolem (M85). (3)

Použití alkoholových paliv ve vznětových motorech, což je předmětem této práce, je více neobvyklé než u motorů zážehových. Pro vznětové motory musí být palivo upraveno, tak aby se zlepšila schopnost vznícení, což bylo zmíněno v předešlé kapitole. Špatná schopnost vznícení, tedy nízké cetanové číslo, lze upravit vhodnou přísadou. Výhodou je, že při spalování nedochází k tak vysoké kouřivosti a v zimním provozu nedochází k zamrznutí a ucpávání palivových filtrů. (3)

2.3 Výroba paliv a požadavky palivových soustav motorů na funkční vlastnosti paliv

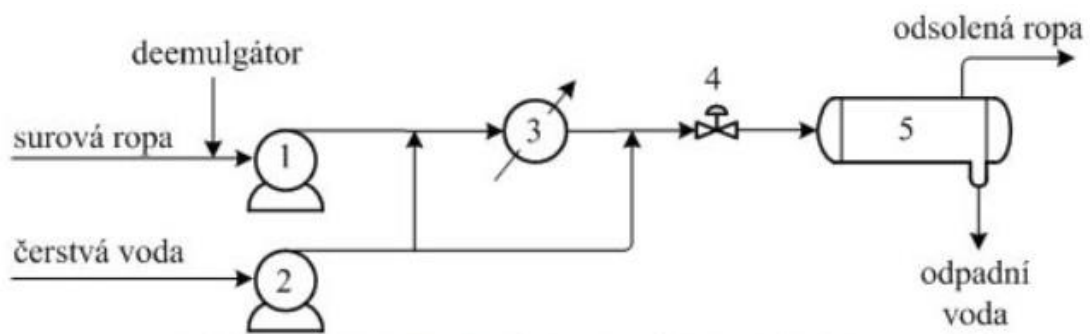
V dnešní době ve spotřebě zcela převažují uhlovodíková paliva vyráběná z ropy, jelikož jsou cenově bezkonkurenční. Tato paliva je možno vyrábět i z dalších surovin, kupříkladu z uhlí a zemního plynu, ale ani jedna metoda nevyhází levněji. To samé platí pro výrobu biopaliv, která jsou využívána v našich oblastech jako je MEŘO – metylester kyseliny řepkového oleje anebo líh, jsou dražší na výrobu než paliva ropná.

Ropa je definována jako směs skládající se převážně z několika uhlovodíků a tedy i paliva z ní vyrobená, mají určitou uhlovodíkovou skladbu. Výhodou je, že uhlovodíky mají velký energetický obsah a jejich výhřevnost je nad 40 MJ na kilogram. (3)

2.3.1 Zpracování ropy

Základní zpracování ropy neboli rafinace probíhá v rafineriích. Než dojde ke zpracování, je nutno ropu nejdříve odsolit a poté až atmosférickou nebo vakuovou destilací „rozdělit“ na několik užších frakcí, které jsou následně zpracovávány odděleně. Frakční destilací jsou oddělovány jednotlivé uhlovodíky podle jejich bodu varu.

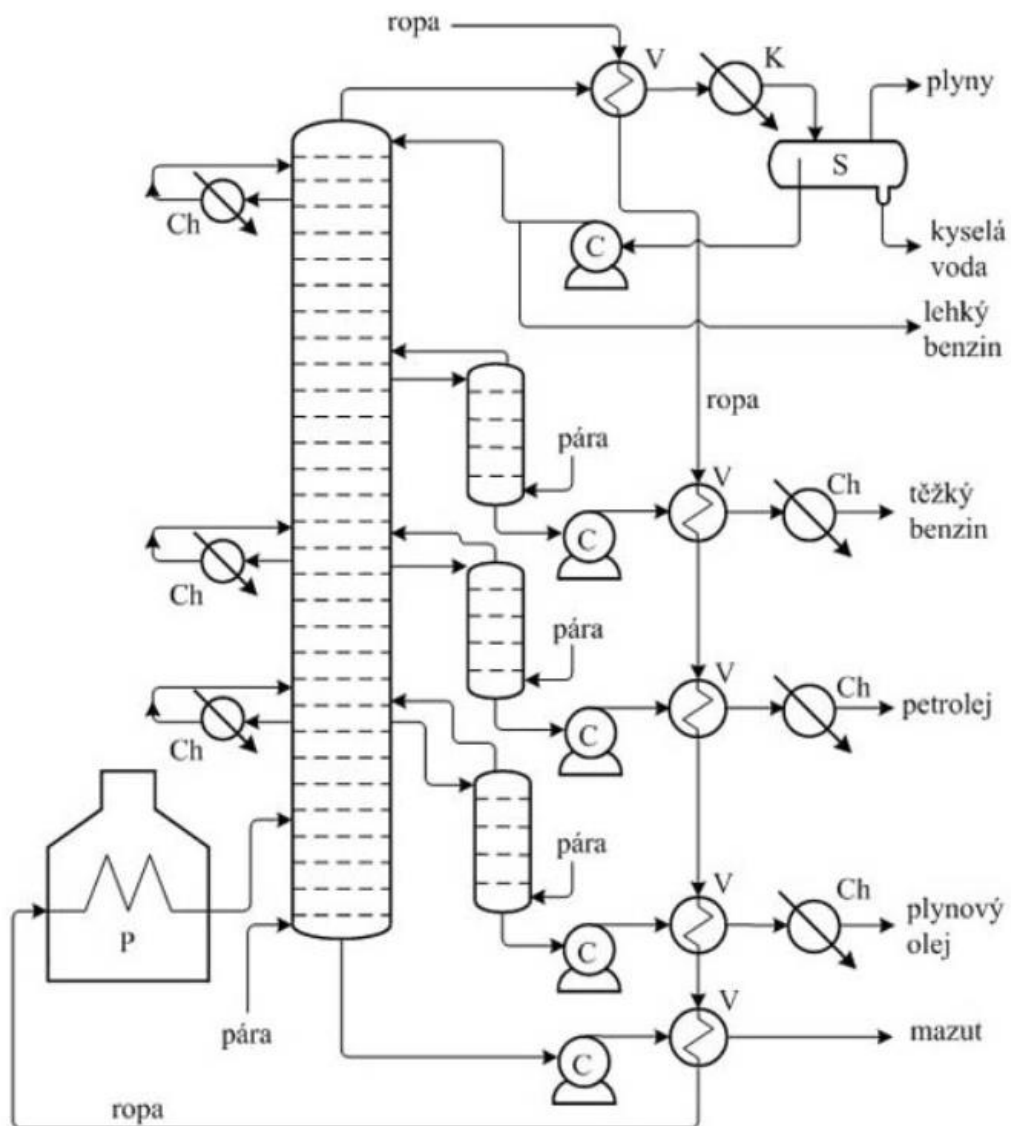
1. **Odsolování ropy** – ropa obsahuje přibližně 5 – 60 mg·kg⁻¹ solí. Soli jsou odstraňovány, jelikož nepříznivě působí při výrobě na technologická zařízení. Převážná část vody a v ní obsažených solí jsou odstraňovány v místě těžby ropy. K odstranění je dnes používáno elektrostatické odsolování při teplotách 90 – 150 °C. Schéma celého procesu je zobrazeno na Obr. 4 (4)



Obr. 4 - schéma procesu odsolování (4)

1,2 – čerpadlo, 3 – ohříváč, 4 – směšovací ventil, 5 – elektrostatický separátor

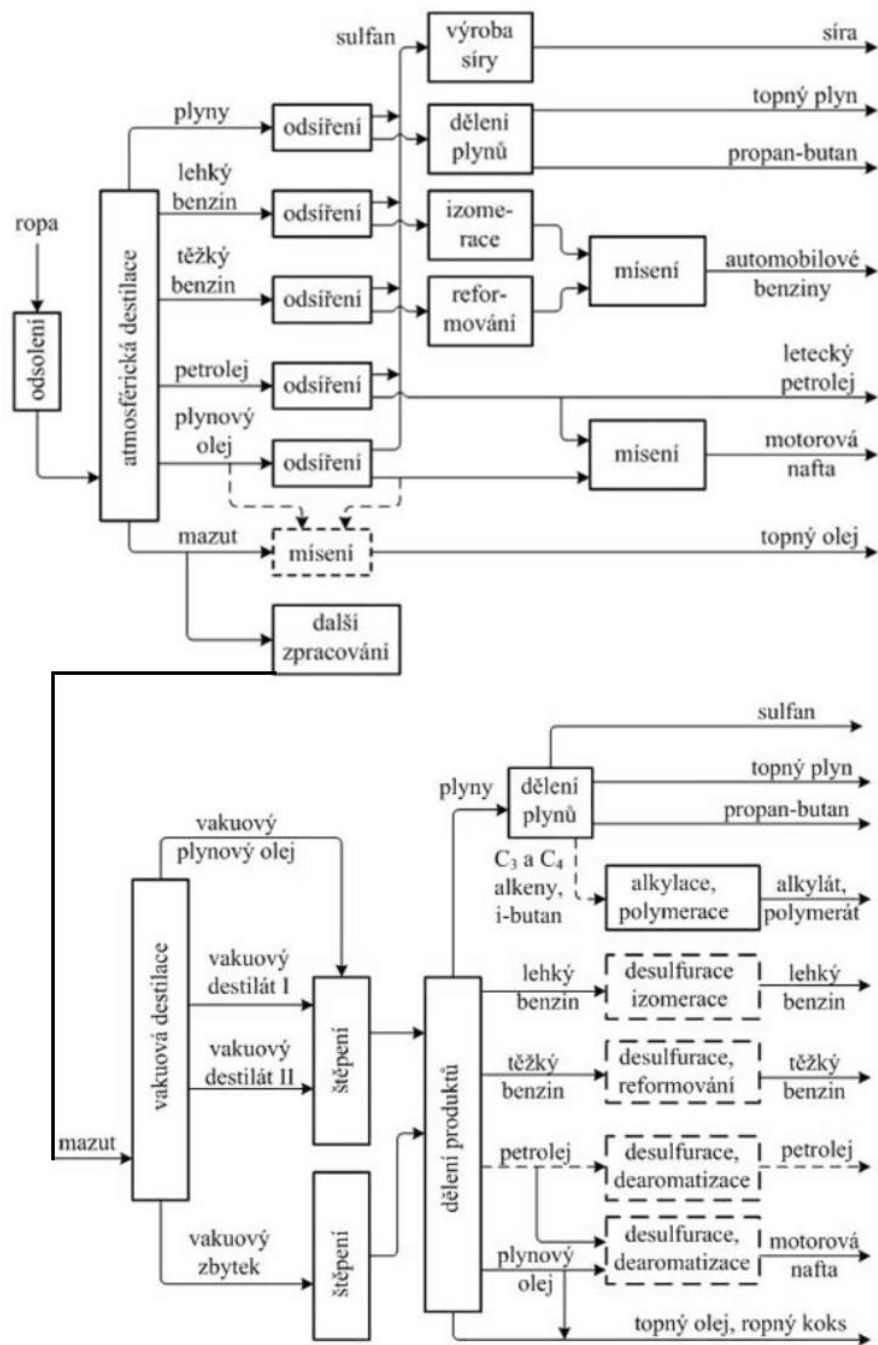
2. **Atmosférická destilace** – je prováděna v atmosférické destilační koloně při tlaku 0,15 MPa. Při této destilaci je odsolená ropa přehřívána ve výměnících tepla na 280 – 300 °C. Poté v trubkové peci na 360 °C. Jak již bylo psáno výše, rozdělení jednotlivých frakcí probíhá podle teploty bodu varu v destilačních patrech kolony. Schéma atmosférické destilace je zobrazeno na Obr. 5 (4)



Obr. 5 - schéma atmosférické destilace (4)

C – čerpadlo, S – separátor, K – kondenzátor, P – trubková pec, V – výměník tepla, Ch – chladič

- 3. Zpracování atmosférických a vakuových destilátů na paliva** – produkty destilace jsou získávány v jedné nebo více kolonách, jsou jimi obvykle rafinérské plyny, lehký benzin, těžký benzin, petrolej, plynový olej a mazut, který je destilačním zbytkem a je nejčastěji používán pro další zpracování ve vakuové koloně viz Obr. 6. Destiláty jsou nejdříve pomocí hydrogenační rafinace odsiřovány. Tímto vzniká sulfan, který je v tzv. Clausových jednotkách zpracováván na síru. Celý průběh výroby je znázorněn na Obr. 6 (4)



Obr. 6 - schéma zpracování atmosférických a vakuových destilátů na paliva (4)

2.3.2 Motorová nafta a její parametry

Tato kapitola bude věnována motorové naftě, jelikož v praktické části byl použit traktor se vznětovým motorem a jako primární palivo byla používána motorová nafta. Motorová nafta, jak je již patrné ze schématu výše, vzniká z frakce petrolejového nebo plynového oleje. V současné době jsou velmi přísné požadavky na obsah síry v automobilových

palivech a tak veškeré ropné frakce, ze kterých jsou paliva vyráběna, musí být hluboce odsířeny. To platí i pro frakce paliv ze štěpných procesů ropných destilátů. Pro porovnání je v *Tab. 2* je popsán obsah síry u jednotlivých frakcí. (3)

Tab. 2 - obsah síry u jednotlivých frakcí (3)

vlastnosti	frakce					
	lehký benzín	těžký benzín	petrolejová frakce	plynový olej	atmosférický zbytek	ropa
destilační rozmezí (°C)	20-70	70-180	180-260	260-370	nad 370	
hustota při 15 °C (kg·m ⁻³)	0,648	0,741	0,801	0,856	0,957	
průměrná molekulová hmotnost (g·mol ⁻¹)	75	117	175	255	400	
obsah síry (mg·kg ⁻¹)	200	300	2000	14400	31700	18000
molární poměr sirných sloučenin	1/1800	1/855	1/90	1/2,5		

Technické požadavky motorové nafty určuje norma platná od 1. 2. 2018. Norma platí pro motorové nafty používaných v motorových vozidlech se vznětovými motory, která může obsahovat až 7,0 % (V/V) methylesterů mastných kyselin (FAME). Norma určuje také požadavky kvality paliva v různém období, kdy se mění klimatické podmínky. Detail parametrů je popsán v *Tab. 3*, *Tab. 4* a *Tab. 5*.

Tab. 3 - norma ČSN EN 590+A1 (656506) (5)

Všeobecné požadavky				
Vlastnost	Jednotka	Mezní hodnoty		Zkušební metoda
		min.	max.	
Cetanové číslo		51		EN ISO 5165
Cetanový index		46		EN ISO 4264
Hustota při 15 °C	kg·m ⁻³	820	845	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Polycyklické aromatické uhlovodíky	% (m/m)		11	EN ISO 12916
Obsah síry	mg·kg ⁻¹		10	EN ISO 20846 EN ISO 20847 EN ISO 20884
Bod vzplanutí	°C	nad 55		EN ISO 2719
Karbonizační zbytek (vztaženo na 10 % destilační zbytek)	% (m/m)		0,3	EN ISO 10370
Obsah popela	% (m/m)		0,01	EN ISO 6245
Obsah vody	mg·kg ⁻¹		200	EN ISO 12937

Celkový obsah nečistot	mg·kg ⁻¹		24	EN ISO 12662
Korozivní působení na měď (3 h při 50 °C)	stupeň koroze		třída 1	EN ISO 2160
Oxidační stabilita	g·m ⁻³		25	EN ISO 12205
Mazivost, korigovaný průměr oděrové plochy při 60 °C	mikrometr		460	EN ISO 12156-1
Viskozita při 40 °C	mm ² ·s ⁻¹	2	4,5	EN ISO 3104
Destilační zkouška při 250 °C při 350 °C 95% (V/V) předestiluje při	% (V/V) % (V/V) °C	85	<65 360	EN ISO 3405
Obsah metylesterů mastných kyselin (FAME)	% (V/V)		7	EN ISO 14078

Tab. 4 - Požadavky závislé na klimatických podmínkách a metody zkoušení (5)

Požadavky závislé na klimatických podmínkách a metody zkoušení								
Vlastnost	Jednotka	Druh A	Druh B	Druh C	Druh D	Druh E	Druh F	Zkušební metoda
CFPP	°C, max.	(+) 5	0	(-) 5	(-) 10	(-) 15	(-) 20	EN 116

Tab. 5 - Motorová nafta pro arktické klima (5)

Motorová nafta pro arktické klima							
Vlastnost	Jednotky	Mezní hodnoty					Zkušební metoda
		třída 0	třída 1	třída 2	třída 3	třída 4	
CFPP	°C, max.	-20	-26	-32	-38	-44	EN 116
Cloud point	°C, max.	-10	-16	-22	-28	-34	EN 23015
Hustota při 15 °C	kg·m ⁻³ , min	800	800	800	800	800	EN ISO 3675:1998
	kg·m ⁻³ , max.	845	845	845	845	845	EN ISO 12185:1996
Viskozita při 40 °C	kg·m ⁻³ , min	1,50	1,50	1,50	1,50	1,20	EN ISO 3104
	kg·m ⁻³ , max.	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
Cetanové číslo	min.	49,0	49,0	48,0	47,0	47,0	EN ISO 5165:1998
Cetanový index	min.	46,0	46,0	46,0	43,0	43,0	EN ISO 4264
Destilační zkouška při 180 °C předestiluje při 340 °C předestiluje	% (V/V), max. % (V/V), min.	10 95	10 95	10 95	10 95	10 95	EN ISO 3405

2.3.3 Popis vybraných parametrů motorové nafty

Oxidační stálost – ve spojitosti s ohřevem motorové nafty v částech vstřikovací soustavy umístěných v motoru až na teploty okolo 100 °C, je vyžadováno, aby ani za této teploty nevznikaly úsady nebo pryskyřičné látky lepivého charakteru, které by mohly omezovat nebo blokovat pohyb mechanických částí palivové soustavy, trysek a ventilů. Z toho důvodu byla zavedena zkouška oxidační stálosti a je požadováno, aby při 95 °C nevznikalo více než 25 mg úsad. Na to jsou velmi citlivé dnes často využívané vstřikovací systémy Common Rail. Pomocí tohoto systému lze zvýšit výkon vozidla, snížit spotřebu paliva, zlepšit efektivnost spalování a tím docílit i snížení emisí. (3)

Čistota – jak je již zmíněno výše, je nutné kvůli moderním vstřikovacím systémům dodržovat čistotu motorové nafty (24 mg·kg⁻¹), neboť by mohlo dojít k ucpání vstříků. Dále je kladen důraz na obsah vody v palivu, jelikož některé součásti jsou náchylné ke korozi. (3)

Hustota – malá hustota zhoršuje mazivostní vlastnosti motorové nafty a vysoká hustota zhoršuje spalování. Důležité je, aby hustota jednotlivých dodávek nafty kolísala co nejnižší, neboť dosažení minimálních emisí u moderních automobilů je závislé na hmotnosti dávky vstřikovaného paliva. Vstřikovací systémy dávkují palivo objemově a při vyšší hustotě je hmotnost motorové nafty větší, což způsobuje kouření a zvýšení nežádoucích emisí. Aktuálně jsou vyžadovány od rafinerií přísnější požadavky na hustotu, jelikož je podle legislativy nutné přimíchávat FAME ve výši 6,0 % objemových z celkového množství motorové nafty přimíchaných do motorové nafty. Hustota FAME je podle normy ČSN EN 14214+A1 (656507) 860 – 900 kg·m⁻³. Pokud by byla přimíchána biosložka do motorové nafty o hustotě 845 kg·m⁻³, byla by zásadně překročena hodnota normy ČSN EN 590. (3)

Viskozita – malá viskozita způsobuje horší mazivost. Má zásadní vliv na velikost kapiček vstřikovaného paliva. Při vysoké viskozitě není dosahováno dokonalého rozptýlení, jelikož jsou kapičky větší. Vysokotlaké systémy dokáží tento nedostatek eliminovat, problém však

nastává u nízkotlakých vstřikovacích systémů, kde vyšší viskozita způsobuje nedokonalé spalování, zvýšenou potřebu paliva a tím vzniká nárůst škodlivých emisí. (3)

Mazivost – ekologizace nafty neboli snižování koncových bodů destilační křivky a rapidní redukce obsahu síry skoro až do nulových hodnot, způsobuje zhoršení mazivosti a naopak moderní používané systémy zvyšují své nároky na mazivost. Je tedy nutné, aby byly přidávány jiné mazivostní přísady. (3)

Obsah síry – hlavním důvodem snižování obsahu síry v motorové naftě je co nejvíce snížit znečištění ovzduší oxidem siřičitým a emisemi částic. V prostředí automobilu v neprohřátém motoru tvoří oxidy síry s kondenzovanou vodou kyseliny, které způsobují korozi u pístních kroužků a válců. (3)

2.4 Biopaliva v porovnání s fosilními palivy

Zavedení biopaliv úzce souvisí se snižováním skleníkových plynů, které jsou jedním z důsledků spalování pohonných hmot. Je nutno podotknout, že pokud jsou spalována biopaliva, je bilance skleníkových plynů vypouštěných do ovzduší vyrovnaná, jelikož uvolněný uhlík do atmosféry je zpět přijímán plodinami, ze kterých je biopalivo vyráběno. Problém nastává v jejich výrobě, která je velmi náročná a podle analýzy životního cyklu výrobku není úspora v CO₂ tak markantní u první generace biopaliv.

Za státy Evropské unie řeší podrobně tuto problematiku směrnice o obnovitelných zdrojích energie (Renewable Energy Directive for the period after 2020), podle které se musí členské státy řídit. Jedním z nových cílů EU je upouštění od biopaliv první generace a používání palmového oleje pro výrobu biopaliv. Alespoň 3,5 % paliv by do roku 2030 mělo pocházet z biopaliv 2. generace.

2.4.1 Biopaliva

Pokud je používán biologický materiál jako palivo, může být nazýván biopalivem. Biopaliva jsou používána jako topivo, palivo v dopravě nebo k výrobě elektrické energie. Největší význam mají však v dopravě, jelikož mají částečně nahradit fosilní paliva. Biopaliva jsou rozdělena do tří generací podle *Tab. 6*, kde jsou vypsány výrobní suroviny.

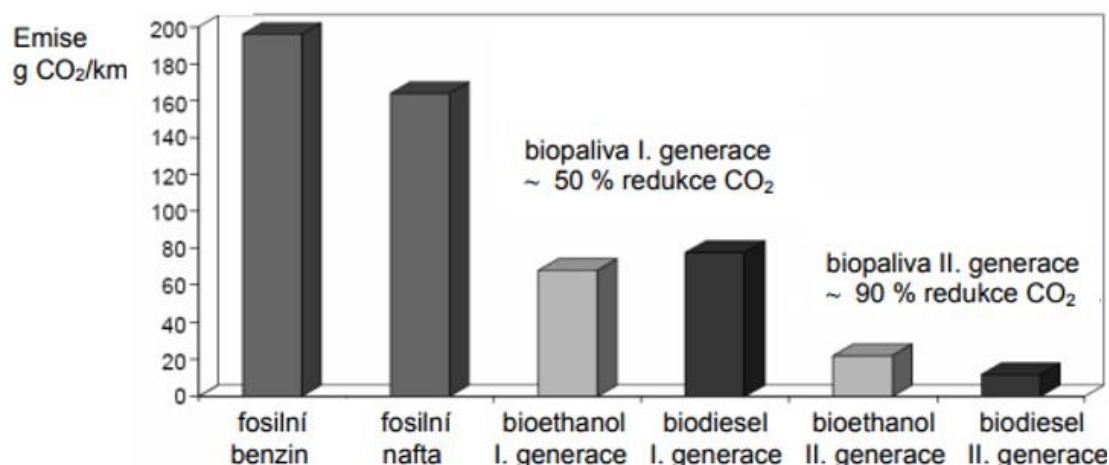
Tab. 6 - generace biopaliv (6)

1. generace		2. generace	3. generace
bionafta	bioethanol		
palmový olej	kukuřice	vrby	řasy
řepka olejka	cukrová třtina	topoly	–
slunečnice	cukrová řepa	tráva	–
sójové boby	pšenice	odpadní zemědělské produkty	–
dávivec	–	odpadní lesnické produkty	–

Biopaliva první generace jsou hojně rozšířena po celém světě, ale stále se jedná o jistou a hospodářsky životaschopnou surovinou pro udržitelnost a snížení spotřeby fosilních paliv. Pro výrobu první generace biopaliv jsou využívány především potravinářské energetické plodiny, což způsobuje závažný problém a tím je zdražování potravin. Základní biomasou je u ethanolu škrob nebo cukr a u bionafty rostlinný nebo živočišný tuk. Transesterifikací nebo hydrogenací vzniká bionafta, destilací a fermentací bioethanol. K výsledným produktům bionafty se řadí např. MĚŘO (methylester řepkového oleje), který je v ČR nejrozšířenější. U alkoholových produktů se jedná o již zmíněný bioethanol, dále biomethanol nebo biobutanol. Dále je možné využití alkoholů pro výrobu ETBE a již méně využívaného MTBE. (1)

Biopaliva druhé generace se liší tím, že nejsou vyráběna z potravinářských surovin. Základní biomasou pro výrobu těchto paliv je lignocelulóza, ze které lze vyrábět také bioethanol nebo syntetická motorová nafta, jako produkt Fischer – Tropschovy syntézy. Syntetická motorová nafta má daleko vyšší cetanové číslo a nižší hustotu než běžně vyráběná motorová nafta. Tato biopaliva zatím nejsou rozšířena, jelikož jsou stále ve fázi vývoje a jsou velice nákladná na výrobu. Do budoucna je velmi důležité zaměřit technologii právě na výrobu biopaliva druhé generace, jelikož jejich redukce CO₂ je až 90 %, což je graficky znázorněno na *Obr. 7 (7)*

Biopaliva třetí generace nejsou zatím využitelná, jelikož je výzkum na samotném počátku. Jde o biopalivo vyráběné z řas a sinic. Některé druhy planktonních řas v dobrých podmínkách obsahují až 40 % oleje. Jejich výhodou je obrovská růstová schopnost. Nevýhodou je jejich složité zpracování, dostupnost a vysoký obsah vody. Vysoký obsah vody způsobuje problém především pro extrahování lipidů, což je základní složka pro výrobu biopaliva. (8) a (9)



Obr. 7 - redukce CO₂ (1)

2.4.2 Výroba bioethanolu

K produkci bioethanolu je možno použít suroviny obsahující jednoduché cukry nebo látky, které lze transformovat na jednoduché cukry, jako je celulóza a škrob. Biomasu pro výrobu bioethanolu je možno rozdělit do tří skupin:

- jednoduché cukry získané například z cukrové řepy nebo třtiny,
- škrob získaný například z obilovin, brambor nebo kukuřice,
- lignocelulózová biomasa získaná ze slámy, rychle rostoucích dřevin, štěpky, biologického odpadu nebo papíru. (10)

Dvě třetiny z celkové produkce pocházejí z cukrové třtiny a jedna třetina z cukrové řepy. Největším producentem bioethanolu je Brazílie. Škrob je pro výrobu bioethanolu nejvíce využíván v Severní Americe a Evropě. Lignocelulóza představuje perspektivní zdroj surovin pro výrobu bioethanolu. Největším producentem by mohla být v budoucnu Asie, jelikož

produkují cca 667,6 mil. t rýžové slámy, což odpovídá přibližně 185 mld. l vyrobeného bioethanolu. V Tab. 7 níže je uveden produkční potenciál z jednotlivých surovin.

Tab. 7 - produkční potenciál bioethanolu z jednotlivých surovin (10)

Surovina	Produkční potenciál bioethanolu (l·t ⁻¹)	Surovina	Produkční potenciál bioethanolu (l·t ⁻¹)
Sladký čirok	60	Ječmen	250
Cukrová třtina	70	Celulózní biomasa	280
Cukrová řepa	110	Pšenice	340
Brambory	110	Kukuřice	360
Batata	125	Rýže	430
Cassava	180	–	–

Samotná výroba bioethanolu z cukrové řepy nebo třtiny je nejjednodušší. Obě suroviny obsahují sacharózu, která je přeměněna na jednoduché cukry, které lze dále snadno oddělit a fermentovat – $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 2 C_6H_{12}O_6$ (10)

Před fermentací je cukrová řepa nebo třtina rozmělněna a cukry jsou odděleny pomocí vypírky vodou. Poté je tekutina zkvašena ve fermentoru, kde jsou vzniklé sacharidy konvertovány kvasinkami na bioethanol a oxid uhličitý – $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 CO_2 + 2 C_2H_5OH$ (10)

Další fází procesu je destilace, jelikož z předchozí fáze lze získat pouze 12 – 13 % ethanolu. Destilací dochází k oddělení destilátu neboli ethanolu a destilačního zbytku. (10)

Poslední fází je rafinace, kde jsou odstraněny vedlejší produkty fermentace, které by mohly nepříznivě působit na součásti palivového systému. Výsledný bioethanol obsahuje 95,5 % hmotnosti ethanolu a zbytková část představuje vodu, kterou nelze oddělit destilací, jelikož ethanol s vodou vytváří azeotropní směs. Pro použití ethanolu v benzínu, je nutné jej odvodnit. Pro odvodnění jsou nejčastěji používána molekulární síta nazývaná zeolity. Při použití ethanolu pro palivo E95 (95 % nafta motorová a 5 % ethanol), které je vhodné pro vznětové motory, není zcela nezbytné použít ethanol odvodněný. (10)

2.4.3 Výroba butanolu

Výroba butanolu může probíhat kvasným procesem z kukuřice, obilí, cukrové řepy, cukrové třtiny a brambor působením mikroorganismů *Clostridium acetobutylicum*, což je velmi starý postup označovaný jako ABE. Vedle toho jsou získávány produkty, jako je ethanol a aceton, z níž se destilací oddělí okolo 16 – 25 % butanolu. Nové postupy využívají mikroorganismy zvané *Clostridium tyrobutylicum* a kupříkladu z jedné tuny kukuřice, je možné získat až 80 l butanolu nebo 30 l ethanolu. Dále méně vhodnou metodou z hlediska ekologie, lze získat butanol z fosilních paliv. (11)

2.4.4 Využití alternativních paliv v ČR

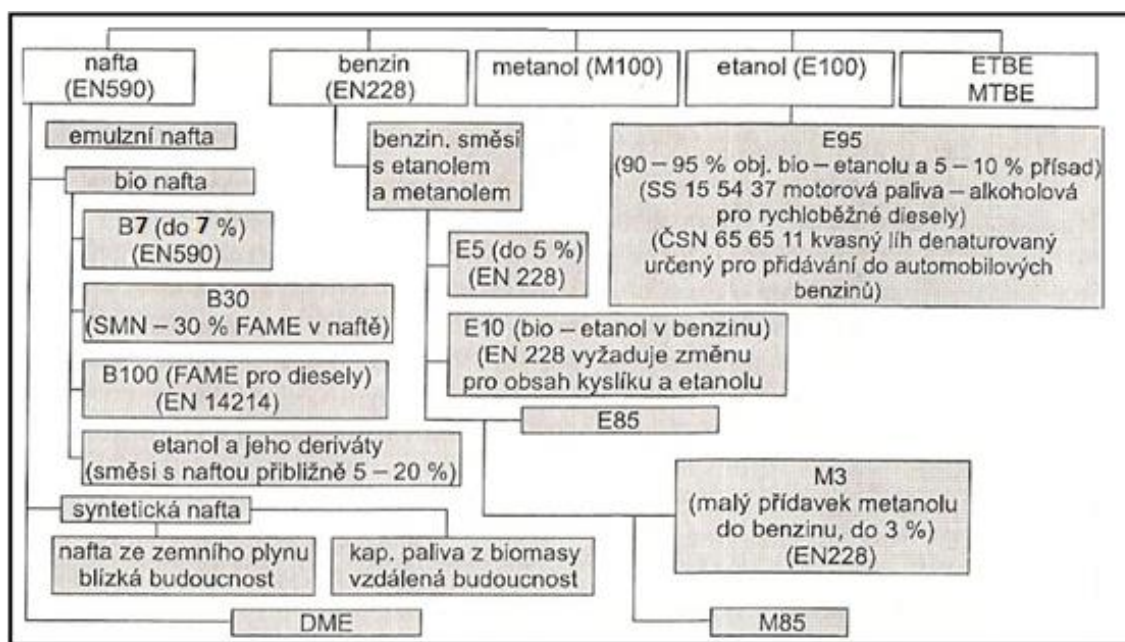
- **Alternativní paliva pro zážehové motory**

V současné době jsou využívány v ČR dva způsoby, jak nahradit úplně čistý automobilový benzín a přispět tak evropskému závazku tj. 10 % spotřebovaných pohonných hmot z obnovitelných zdrojů do roku 2020. První způsob je povinné přimíchávání ethanolu v množství nejvýše 5 % tj. benzín dnes označovaný jako E5. Druhý způsob je ethanolové palivo E85, které obsahuje až 85 % ethanolu a 15% automobilového benzínu. Pro palivo E85 již musí být automobil uzpůsoben. V blízké době bude pravděpodobně zavedeno palivo E10, což je 10 % ethanolu a 90 % benzínu. Zde již budou ohroženy automobily starší výroby, jelikož nemají uzpůsoben palivový systém. A také nastane problém s dodržáním max. hodnoty 2,7 % m/m obsahu kyslíku a BA, jelikož ethanol tuto hodnotu zásadně ovlivňuje, bude muset být navýšen na 3,7 % m/m. Další palivo jako je M85, což je 85 % methanolu a 15 % benzínu v české republice rozšířené není. (11) a (12)

- **Alternativní paliva pro vznětové motory**

V české republice je čistá motorová nafta pro vznětové motory nahrazována nejčastěji směsí čisté motorové nafty a esterů mastných kyselin neboli FAME, které mohou být rostlinného či živočišného původu. Nejběžnějším palivem je motorová nafta s označením B7, což je ve skutečnosti 93 % čisté motorové nafty a 7 % FAME. Dále lze narazit na

SMN30, neboli směsnou motorovou naftu obsahující minimálně 30 % FAME a 70 % čisté motorové nafty. Dalším využívaným palivem je B100, která je tvořena čistým biopalivem například 100 % MEŘO. Nevýhodou tohoto paliva je, že musí být realizovány drobné úpravy ve vznětovém motoru. Od roku 2016 rapidně klesl prodej B100, protože došlo ke zdanění a to na $4,59 \text{ Kč}\cdot\text{l}^{-1}$. V červenci 2017 došlo ke snížení spotřební daně na $2,19 \text{ Kč}\cdot\text{l}^{-1}$, což se ale zásadně neprojevilo na odbytu tohoto paliva. V tuto chvíli není na trhu více běžně používaných paliv, ač do budoucna bude třeba se zaměřit na paliva, která přinesou vyšší přínos v poklesu škodlivých emisí. Stále ve výzkumu jsou alkoholová paliva ve směsi s motorovou naftou pro vznětové motory. Nyní je známe palivo E95, které obsahuje 95 % motorové nafty a 5 % ethanolu. Momentálně se výzkum zabývá použitím butanolu v určitém poměru s motorovou naftou. Pro přehlednost jsou alternativní paliva schematicky zobrazena na Obr. 8. (13) a (14)



Obr. 8 - alternativní kapalná paliva (3)

Do alternativních paliv se také řadí plynná motorová paliva, jako je LPG neboli zkapalněný ropný plyn, dále zemní plyn kam se řadí CNG – stlačený zemní plyn, LNG – zkapalněný zemní plyn a bioplyn.

2.4.5 Důsledky při mísení biopaliv s fosilními palivy

Při mísení biopaliv s fosilními palivy dochází k vzájemnému ovlivňování parametrů a ke změně vlastností daného paliva. Zkoumání nových směsných paliv je předmětem složitějšího výzkumu, jelikož je nutné dodržet normy, kterým paliva podléhají. V případě přimíchání butanolu do automobilového benzínu se zvyšuje hustota a viskozita, snižuje tlak par a oktanové číslo. Butanol má nižší výhřevnost než benzín i motorová nafta, což obecně způsobí vyšší spotřebu paliva. Další nevýhodou butanolu je, že má nízké oktanové číslo, což by mohlo v budoucnu způsobovat vyšší finanční zatížení rafinerií při výrobě benzínu. Výhodou v letních měsících by mohlo být snížení tlaku par při mísení butanolu s benzínem. Momentálně přimíchávání bioethanolu do benzínu zvyšuje při maximálním plnění 5 % až o 8 kPa tlak par a i oktanové číslo navýší na hodnotu odpovídající ČSN EN 228. Zvýšení oktanového čísla využívají rafinerie, jelikož mají nižší náklady na výrobu. Naopak butanol se v tomto ohledu více přibližuje motorové naftě a to i hustotou a viskozitou viz *Tab. 8* níže. Při mísení butanolu s motorovou naftou ve směsi 30 % ku 70 % dochází k poklesu hustoty, avšak je stále dodržen požadavek normy $820 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Při větší koncentraci butanolu lze očekávat pokles výkonu motoru. Ovšem při přidání 5 % butanolu do motorové nafty, klesne cetanové číslo pod minimální požadavek normy. To je možné vylepšit přidáním dinitropropanu. Po přidání butanolu je pozitivně ovlivněna filtrovatelnost paliva, kterou lze uvítat v zimních měsících. (15) a (16)

Tab. 8 - parametry biopaliv a fosilních paliv (3) a (16)

Parametr	Nafta	Benzin	Bioethanol	Biobutanol	MEŘO
Hustota při 15 °C, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	820 – 845	720 – 775	789	813	882
Cetanové číslo	>51	–	7	17	51 – 60
Oktanové číslo VM	–	91-100	108	94	–
Výhřevnost, $\text{MJ}\cdot\text{dm}^{-3}$	36	31	21	27	32,8
Výhřevnost hmotnostní, $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	42,6	43,6	28,9	21,6	–
Obsah kyslíku, hm. %	–	<2,7	34,7	21,6	–
Tlak par podle Reida, kPa		45-90	19,3	18,6	
Kinematická viskozita při 20 °C, $\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	3 – 8	4,08	1,52	3,64	4,2

Vhledem k parametrům butanolu lze usoudit, že mísení butanolu s motorovou naftou je vhodnější než mísení motorové nafty s ethanolem. Butanol je méně hydrofilní, má vyšší obsah energie, vyšší cetanové číslo, vyšší viskozitu a nižší tlak par. (9)

Podle experimentu Kozaka M. J. za využití normovaného jízdní cyklu NEDC má butanol s motorovou naftou v poměru 10 % butanolu a 90 % motorové nafty nižší emise pevných částic až o 21 %. Hodnoty oxidů dusíku a oxid uhličitý zůstaly zachovány na úkor zvýšení emisí oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků. (17)

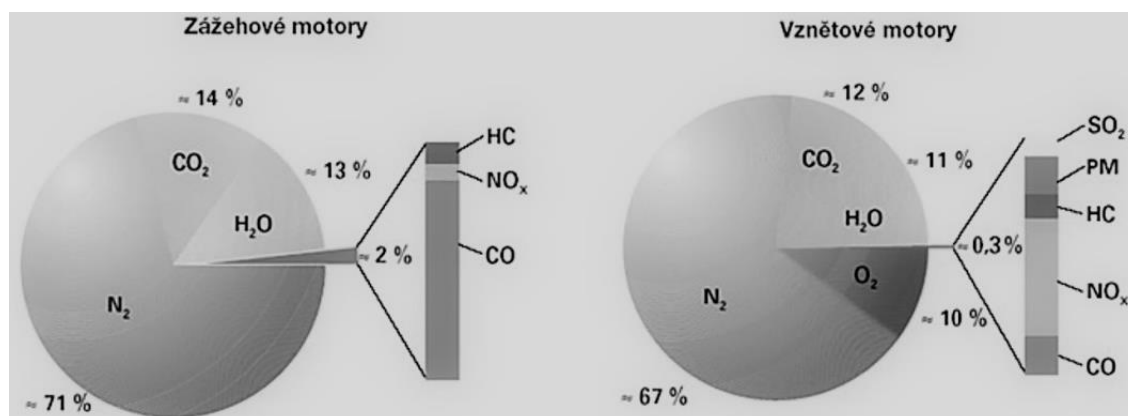
2.5 Emise výfukových plynů a legislativa biopaliv

Automobilová doprava je fenoménem 21. století a zásadně ovlivnila moderní společnost. Nicméně s narůstajícím počtem automobilů znatelně rostou negativní aspekty, tím hlavním je oteplování planety. Z toho důvodu musí být přijata opatření, která zabrání těmto nepříznivým jevům. Obecně lze říci, že dochází ke snižování spotřeby fosilních paliv, zavádění alternativních paliv, úpravám na spalovacích motorech anebo zavádění úplně nových alternativních pohonů.

2.5.1 Popis výfukových plynů

Při spalování uhlovodíkových paliv se vzduchem vzniká při dokonalé oxidaci oxid uhličitý a voda. Za nedokonalé oxidace jsou přítomny také oxid uhelnatý a vodík. Kyslík je produkován u zážehových motorů pouze tehdy, byl-li v čerstvé směsi v přebytku nebo byl nevyužit z jiných důvodů. U vznětových motorů je kyslík přítomen vždy, jelikož motor pracuje s přebytkem vzduchu. Nejvýznamnějším prvkem spalin je dusík. Za vysokých teplot vznikají ve spalovacím prostoru oxidy dusíku, těmi jsou kupříkladu oxid dusičitý a oxid dusný. Pokud nastanou velmi nepříznivé podmínky pro oxidaci, vznikají nespálené uhlovodíky. Pokud je zcela nepřítomen vzduch, nastává při vysoké teplotě tzv. dekompozice molekul uhlovodíku, což zapříčiní vzniku sazí a to především u vznětových motorů. Výfukové plyny mohou obsahovat velmi malé množství dalších pevných částic,

jako je prach, popel, částičky rzi atd. Pokud palivo obsahuje síru, vytváří při spalování oxidy síry, které se objevují ve spalinách. Na Obr. 9 je zobrazeno přibližné procentuální složení výfukových plynů u vznětového a zážehového motoru.



Obr. 9 - složení výfukových plynů u vznětového a zážehového motoru (1)

Oxid uhelnatý (CO) – pro člověka velmi jedovatý. Oxid uhelnatý vytváří s krevním barvivem velmi pevný karboxyhemoglobin, který zabraňuje přenosu kyslíku z plic do krevního oběhu, tím jsou všechny orgány poškozovány nedostatkem kyslíku. Oxid uhelnatý také způsobuje vznik fotochemického smogu. (18)

Oxid uhličitý (CO₂) – momentálně není jeho produkce v Evropě regulována, ale v některých státech USA již k regulaci dochází. Jeho produkce vzniká důsledkem kvalitně uskutečněného spalování. Škodlivě působí, pokud při vdechovaném vzduchu začne vytěšňovat kyslík. Oxid uhličitý patří do tzv. skleníkových plynů, kvůli kterým dochází ke klimatickým změnám. Množství oxidu uhličitého lze snížit pouze snížením spotřeby uhlovodíkových fosilních paliv nebo také jejich náhradou palivy z obnovitelných zdrojů. V USA v roce 1978 vznikl program snižování spotřeby paliva (CAFE), který ukládal výrobcům, aby každým rokem snižovali vypočtený průměr spotřeby paliva všech vyrobených typů. Během dvanácti let se snížil průměr z 13,07 l na 8,55 l·100 km⁻¹. Pokud výrobce nesplnil limit, musel zaplatit vysokou pokutu. V Evropě byla situace mírnější, jelikož jsou zde vyráběna maloobsahová vozidla. Avšak později byl přijat Kjótský protokol, který reguluje produkci emisí. Od roku 2009 je stanoven limit 120 g CO₂·km⁻¹. To odpovídá přibližně spotřebě 6,7 l·100 km⁻¹ benzínu a 5,6 l·100 km⁻¹ motorové nafty. (18) a (3)

Oxidy dusíku (NO_x) – oxid dusnatý není pro lidský organismus v zásadě škodlivý, ale v atmosféře oxiduje na oxid dusičitý, jehož škodlivost je závažnější. Při vdechnutí se tvoří na stěnách sliznice kyselina dusičná, což způsobuje dušení a nutí ke kašli. Tento jev nastává již při nízkých koncentracích. (18)

Nespálené uhlovodíky (HC) – nejnebezpečnější jsou uhlovodíky, které vznikají jako meziprodukty oxidace prvotní uhlovodíkové molekuly, kde proběhla oxidace pouze z části. Některé meziprodukty patří do skupiny rakovinotvorných látek. Mezi tyto látky patří polycyklické aromatické uhlovodíky, jejichž škodlivost je zesílena vazbou na povrch pevných částic. Dále se mezi nespálené uhlovodíky řadí skupina aldehydů R-CHO, které vznikají v procesu předoxidačních reakcí. Jejich vznik je spojován s teplotním režimem motoru například při provozu s velkým přebytkem vzduchu, v nízkých zatíženích motoru nebo po spuštění studeného motoru. Tyto uhlovodíky negativně působí na sliznice, vedou k poruchám podmíněných reflexů a poškozují dýchací cesty. (18)

Oxidy síry (SO_x) – produkují je především vznětové motory. Aktuálně je podíl emisí oxidů síry zanedbatelný, jelikož obsah síry v motorové naftě neustále klesá. (18)

Pevné částice (PM) – vznikají pouze u vznětových motorů. Patří mezi ně primární uhlík, organický uhlík a malé množství sulfátu, dusíku, vody a další složky. Z pevných částic zastupuje základní uhlík až 75 %. Avšak složení je závislé na typu motoru a na přídavném zařízení, jako je filtr například pevných částic. Jádrem částic je složeno z pevného uhlíku a popele. Organické, sulfátové směsi a ostatní prvky jsou usazovány na povrchu jádra během koagulace, adsorpce a kondenzace částic. Během krátkodobého působení mohou částice způsobit podráždění oka, jícnu, průdušek atd. Při delší přítomnosti mohou způsobit záněty a histopatologické změny v plicích. Odhad koncentrace, která nezpůsobuje rakovinotvorný efekt po dlouhou dobu expozice je 5 µg·m³. Částice v ovzduší jsou různé velikosti. Ty o velikosti 1 nm mohou hrát důležitou roli v toxicitě okolních částic. (18)

2.5.2 Opatření ke snížení emisí výfukových plynů

Opatření u vznětových motorů

Opatření ke snížení škodlivin u vznětových motorů je velmi mnoho. Už samotný způsob tvorby směsi velmi ovlivňuje emise. Komůrkové motory mají daleko nižší hodnoty emisí oxidů dusíku než motory s přímým vstřikem. Dále je velmi důležitý vliv způsobu přívodu dávky paliva, zdali je dávka paliva rozdělena nebo je vstříknuta standardně. Při rozdělení dávky se snižují oxidy dusíku a nespálené uhlovodíky. Pozdějším vstřikem jsou sice kladně ovlivněny emise oxidů dusíku, ale narůstá spotřeba paliva, čímž se navýší kouřivost a emise CO. Emise nespálených uhlovodíků je možno ovlivnit provedením vstřikovací soustavy a trysky. Kouřivost motoru je ovlivněna přebytkem vzduchu a rozprášením paliva do válce. Podstatné je docílení jemnějšího rozprášení paliva, pomocí vyšších vstřikovacích tlaků, což zvládnou moderní vstřikovací jednotky common rail. Pro snížení oxidů dusíku se využívá recirkulace výfukových plynů. Recirkulaci umožňuje EGR ventil, který spojuje výfukové vedení se sacím. Dalším důležitým opatřením za motorem je oxidační katalyzátor, který snižuje obsah oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků. Ke snížení pevných částic se musí použít speciální filtr pevných částic. V současnosti je využíváno katalytické redukce, kde je jako redukční činidlo používán amoniak nebo močovina, která dopomůže také ke snížení oxidu dusíku. (1)

Legislativa

Hlavním opatřením proti emisím výfukových plynů je zavádění stále přísnějších legislativních povinností. Legislativa týkající se biopaliv je aktuálně velmi žhavé téma. Za hlavní předpisy v České republice týkající se pohonných hmot je považován Zákon č. 201/2012 Sb. *o ochraně ovzduší* § 19 a § 20 a Zákon č. 311/2006 Sb. *Zákon o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů*. Nejpodstatnějšími povinnostmi pro dodavatele automobilového benzínu a motorové nafty, které uvádí do volného daňového oběhu, jsou:

- *ve výši 4,1 % objemových z celkového množství motorových benzinů přimíchaných do motorových benzinů*
- *ve výši 6,0 % objemových z celkového množství motorové nafty přimíchaných do motorové nafty*
- *je povinen snižovat emise skleníkových plynů na jednotku energie obsaženou v pohonné hmotě pro dopravní účely a elektřině pro dopravní účely tak, aby každoročně dosáhl, ve srovnání se základní hodnotou produkce emisí skleníkových plynů pro fosilní pohonné hmoty stanovenou prováděcím právním předpisem, snížení o 2 % do 31. prosince 2014 a v následujících letech, o 3,5 % do 31. prosince 2017 a v následujících letech, a o 6 % do 31. prosince 2020 a v následujících letech.*

Do výše uvedené národní legislativy jsou implementovány pokyny podle evropských směrnic: *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES, o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES*

Dne 11. 12. 2018 byla aktualizována výše zmíněná směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES na směrnici Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001 ze dne 11. 12. 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů. Bylo navýšeno OZE v dopravě z 10 % v roce 2020 na 14 % v roce 2030. Dále ze směrnice vyplývá, že se přestane používat do roku 2030 s největší pravděpodobností palmový olej, jako pohonná hmota. Bude zastaven vývoj biopaliv 1. Generace na úrovni dosažené v roce 2020. Velmi zásadní změnou je podíl biopaliv 2. generace do roku 2030, který by měl činit 3,5 %. (19) a (20)

3 Cíl a metodika práce

3.1 Cíl práce

Hlavním cílem výzkumné části diplomové práce bylo porovnání emisí a spotřeby paliva ve vznětových motorech při použití biopaliv na bázi alkoholu v tomto případě butanolu v motorové naftě při různých koncentracích. Spalovací motor byl zatěžován v rámci NRSC testu. Hlavní cíl byl realizován pomocí následujících dílčích cílů:

- Naměření a analýza dat pomocí příslušných strojů a zařízení.
- Výpočet a zhodnocení výsledné spotřeby paliva a produkováných emisí.
- Ekonomické zhodnocení testovaných paliv.

3.2 Metodika práce

V této kapitole je popsáno, jakým způsobem došlo k naplnění stanovených cílů výzkumné části diplomové práce. V první fázi bylo navrženo schéma měření, stanoven samotný průběh měření a jeho následná realizace. Ve druhé fázi byla naměřena data, která bylo nutné zpracovat a vyhodnotit. Pomocí výpočtu došlo ke zjištění, jaké produkuje palivo emise a jak se liší spotřeba paliva motorové nafty při různých koncentracích butanolu ve směsi. Následně došlo k jejich porovnání. V metodice je vysvětleno, jak probíhala jednotlivá měření a jaké byly použity stroje a měřící zařízení. V konečné fázi bylo provedeno ekonomické zhodnocení testovaných paliv. Nejdříve byla provedena analýza, z čeho vychází cena motorové nafty. Poté byla propočtena cena testovaných paliv a na závěr vyhodnocena objemová spotřeba traktoru a cena za spotřebované palivo.

3.2.1 Použité stroje a měřící zařízení

Traktor Zetor Forterra typ 8641 Obr. 10 – tento typ traktoru by používán pro měření různých druhů paliva. Traktor je poháněn vznětovým čtyřválcovým motorem, jehož označení je 1204. Motor je přeplňovaný turbodmychadlem a využívá přímého vstřiku paliva. V Tab. 9 jsou popsány základní technické parametry traktoru.

Tab. 9 - technické parametry traktoru (21)

Technické parametry traktoru		
Parametry	Jednotky	Hodnoty
Počet válců		4
Obsah válců	cm ³	4 156
Vrtání x zdvih	mm	105 x 120
Jmenovité otáčky	ot·min ⁻¹	2 200
Max. přeběhové otáčky	ot·min ⁻¹	2 460
Volnoběžné otáčky	ot·min ⁻¹	750±25
Čistý výkon při jmenovitých otáčkách měřený podle ISO 2288	kW	60
Specifická spotřeba paliva při uvedeném výkonu	g·kW ⁻¹ ·h ⁻¹	253
Maximální točivý moment (Mt)	Nm	351
Převýšení Mt	%	35
Maximální spotřeba oleje po 100 Mh záběhu motoru	g·kW ⁻¹ ·h ⁻¹	0,70
Tlak oleje při jmenovitých otáčkách motoru a teplotě oleje 80 °C	MPa	0,2 - 0,5
Minimální tlak oleje při otáčkách 750 ot·min ⁻¹ motoru a teplotě oleje 80 °C	MPa	0,05
Maximální teplota chladicí kapaliny	°C	106



Obr. 10 - traktor Zetor 8641 (22)

Analyzátoary výfukových plynů Brain Bee OPA - 100 a AGS – 200 na Obr. 11 - tyto přístroje byly využity pro měření emisí. Jsou schváleny ministerstvem dopravy v souladu s § 44 odst. 6 zákona č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních

komunikacích a také ve znění zákona č. 307/1999 Sb., a podle § 2 odst. 4 přílohy č. 2 vyhlášky č. 302/2001 Sb. o technických prohlídkách a měření emisí vozidel v aktuálním znění. Přístroje byly připojeny k výfukovému potrubí, odkud jsou emisní hodnoty přenášeny ve formě dat do příslušného softwaru. Pomocí přístroje AGS – 200 lze změřit emise NO, O₂, CO₂, CO a nespálené uhlovodíky HC. Pomocí FTIR analyzátoru značky Bruker, lze změřit i emise NO₂, N₂O. S použitím přístroje OPA – 100 lze měřit opacitu neboli kouřivost motoru. K sestavě je možno připojit také universální bezkabelový otáčkoměr a teploměr MGT – 300 EVO. Technické parametry analyzátorů výfukových plynů jsou v tabulce Tab. 10. (23)

Tab. 10 - Technické parametry emisních analyzátorů (15)

Složka	Rozlišení	Přesnost
CO	0,01 % V/V	0,03 % V/V nebo 5 % ČH
CO ₂	0,1 % V/V	0,5 % V/V nebo 5 % ČH
HC	1 ppm V/V	10 ppm V/V nebo 5 % ČH
O ₂	0,01 % V/V	0,1 % V/V nebo 5 % ČH
NO	1 ppm	10 ppm V/V nebo 5 % ČH
Opacita	0,10 %	2 %
Teplota	1 °C	2,5 °C



Obr. 11 - Analyzátor výfukových plynů Brain Bee OPA - 100 a AGS – 200 (23)

Dynamometr MAHA ZW – 500 je zobrazen na Obr. 12 - . Pro změření točivého momentu, otáček vývodového hřídele a výkonu motoru traktoru byla využita vířivá brzda neboli dynamometr MAHA ZW – 500. Vířivá brzda byla připojena k zadnímu vývodovému hřídeli traktoru. V Tab. 11 jsou uvedeny parametry vířivé brzd. Vířivá brzda vyžaduje 3 fázovou instalaci s jistěním 16 A. Chlazení dynamometru je zajištěno dvojicí ventilátorů. Zařízení je ovládáno pomocí bezdrátového radiového modulu, jenž umožňuje propojení ostatních měřících zařízení. (24)

Tab. 11 - parametry dynamometru MAHA ZW – 500 (24)

Parametry	Jednotky	Hodnoty
Maximální výkon vířivé brzd	kW	500
Maximální otáčky	ot·min ⁻¹	2500
Maximální točivý moment	Nm	6600
Pojistka	A	16
Zdroj napájení	V a Hz	400 a 50
Rozměry (délka x šířka x výška)	mm	3580 x 2110 x 1420
Hmotnost	kg	1300



Obr. 12 - Dynamometr MAHA ZW – 500 (25)

Váha – VIBRA 6200 J – sloužila k odečtení hmotnosti spotřebovaného paliva. Na váze byla umístěna externí palivová nádrž s aktuálně měřeným palivem. Provozní parametry váhy jsou uvedeny v Tab. 12.

Tab. 12 – parametry váhy VIBRA 6200 J (26)

VIBRA 6200 J	
maximální váživost [g]	6200
přesnost [g]	0,01
komunikační rozhraní	RS232C
Přípustná teplota prostředí	0 °C - 35 °C
Funkce	Vážení, tárování, počítání kusů, procentní vážení, nastavení a signalizace limit, stanovení hustoty látek, přepínání jednotek váhy
Jednotky vážení	g (gram), ct (karát), oz (unce), lb (libra), ozt (trojská unce)

FTIR analyzátor Bruker – tento použitý analyzátor hodnotí spektrum plynů a následně jej po vyhodnocení ukládá. Systém je založen na spektrometru MATRIX–F. Parametry analyzátoru jsou v Tab. 13. Byl použit pro získání emisních hodnot u testovaných paliv a to především u emisí – CO, CO₂, N₂O, NO, NO₂ atd.

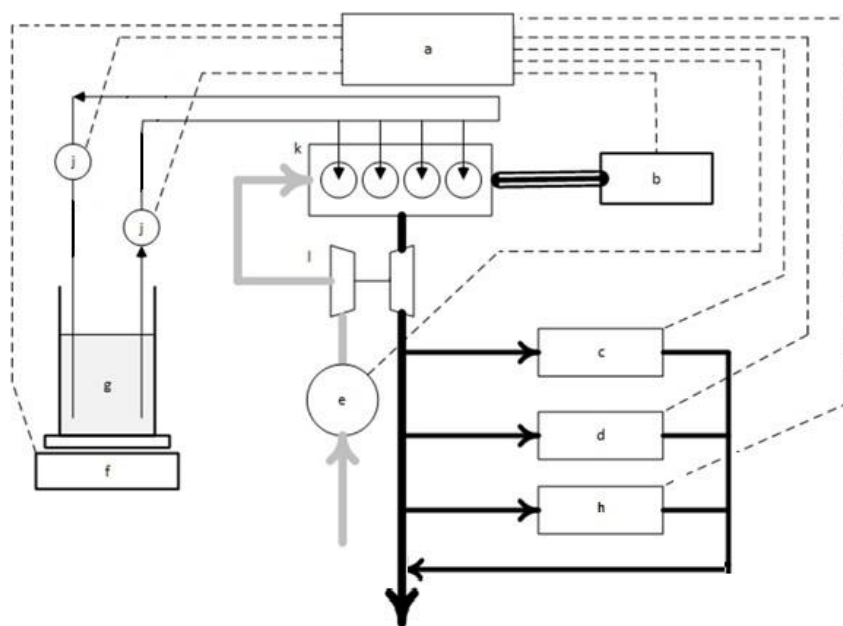
Tab. 13 – parametry FTIR analyzátoru Bruker (27)

FTIR analyzátor Bruker	
Spektrální rozsah:	650 – 5 000 cm ⁻¹ (volitelné rozsahy)
Rychlost skenování:	Až 32 spekter
Spektrální rozlišení:	1,0 cm ⁻¹
Přesnost vlnového čísla:	0,01 cm ⁻¹
Fotometrická přesnost:	0,1%
Interferometr:	RocksolidTM, trvalé vyrovnání
Detektor:	MCT, další detektory volitelné, např. DTGS, InSb
A / D převodník:	24 bitů
Plynový článek:	2 m, 26 m (vytápěné / nevytápěné)
Výkon ohřivače plynu:	220 W
Provozní výkon:	100 - 240 V, 50 - 60 Hz, 65 W (spektrometr)
Operační systém:	Windows XP, Windows 7
Rozhraní:	Ethernet
Spektroskopický software:	OPUS spektroskopický software
Rozsah teplot:	0 - 40 °C Rozměry: 312 x 291 x 242 mm (bez plynového článku)

3.2.2 Průběh měření pro naplnění cílů diplomové práce

Příprava měření

Všechna měření probíhala v budově technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze. Hlavním strojem pro měření byl použit traktor Zetor Forterra 8641 s označením motoru 1204 o výkonu 60 kW. U traktoru nebyla provedena úprava palivové soustavy. K traktoru byly postupně připojeny měřicí přístroje. K vývodové hřídeli traktoru byl připojen Dynamometr MAHA ZW – 500, kterým byl traktor zatěžován. K výfukovému potrubí byly připojeny zařízení Brain Bee OPA – 100, AGS – 200 a FTIR analyzátor Bruker. Hodnoty emisí byly měřeny při odlišných otáčkách a různém zatížení traktoru. Dále bylo připojeno zařízení MGT – 300/R pro měření teploty oleje a otáček motoru. Jelikož měření probíhala v uzavřeném prostředí, byly vyprodukované spaliny odsávány z haly do venkovního prostředí. Sání vzduchu bylo prodlouženo dvoumetrovým plastovým potrubím, kvůli zajištění laminárního proudění. V jedné části byl vytvořen otvor pro čidlo měřící proudění vzduchu – průtokoměr SIERA. Na konci potrubí byla upevněna bezztrátová vtoková dýza s u-manometrem. Dále musela být připojena externí palivová nádrž, ze které bylo možné odečíst spotřebované palivo, což bylo zajištěno pomocí váhy VIBRA 6200 J, na které byla nádrž umístěna. Jelikož traktor má objemové vstřikování a externí nádrž byla malého objemu, muselo být palivo ochlazováno, aby nebyl ovlivněn výkon motoru a ostatní měřené parametry. K palivovému systému bylo také připojeno externí podávací čerpadlo. Navržené schéma zapojení jednotlivých částí je na Obr. 13.



Obr. 13 - schéma zapojení (15)

- | | |
|--|---------------------------|
| a) zařízení pro sběr a ukládání informací + PC | g) externí nádrž |
| b) dynamometr | h) FTIR analyzátor Bruker |
| c) analyzátor AGS – 200 | j) teploměr |
| d) opacimetr | k) motor |
| e) čidlo pro měření nasávaného vzduchu | l) ventilátor |
| f) váha | |

Průběh měření

Během experimentu byly měřeny tři druhy paliva. Palivo č. 2 a č. 3 bylo vybráno z hlediska parametrů butanolu a řepkového oleje, které by mohly pozitivně ovlivnit spotřebu daného paliva a snížit produkci emisí při jejich spalování oproti čistému fosilnímu palivu.

1. Čistá motorová nafta bez přídavku biosložky.
2. Směs motorové nafty s butanolem v poměru 95 % NM a 5 % butanolu.
3. Směs motorové nafty s řepkovým olejem a butanolem v poměru 70 % NM, 20 % ŘO a 10 butanolu.

Po připojení všech nezbytných zařízení bylo potřeba motor traktoru zahřát na provozní teplotu. Motor byl zahříván při volnoběžných otáčkách. Po zahřátí motoru bylo odměřeno palivo do externí nádrže. Dále bylo zahájeno měření vnější otáčkové charakteristiky, při spuštění vývodové hřídele za plné dávky paliva a tedy maximálních otáček motoru.

V tomto případě je hodnota točivého momentu na nulové hodnotě. Pomocí vířivé brzdy docházelo k postupnému zatěžování motoru, což způsobovalo pokles otáček. Při určité hodnotě otáček byly zapisovány hodnoty, jako jsou otáčky vývodového hřídele, otáčky motoru, výkon motoru a točivý moment na brzdě. Točivý moment motoru byl přepočítán převodovým poměrem 3,543. Při dosažení hodnoty 1100 ot·min⁻¹ bylo měření zastaveno. Podle získané otáčkové charakteristiky byly stanoveny měřící body pro NRSC zkušební test neboli Non-Road Steady Cycle. Daný bod byl měřen alespoň minutu, kde mohlo docházet k drobným výchylkám. Zkušební test NRSC je složen z osmi režimů otáček a točivého momentu, který charakterizuje běžný provoz motoru u daného traktoru. V Tab. 14 – režimy a jejich váhové faktory jsou uvedeny jednotlivé režimy a jejich váhové faktory a na Obr. 14 – Zkušební test NRSC znázorněn graficky. Význam jednotlivých kritérií zkušebního cyklu je následovný:

1. Jmenovité otáčky motoru – jedná se o maximální otáčky motoru při plném zatížení, které jsou uvedeny výrobcem.
2. Mezilehlé otáčky – otáčky, které musí splňovat tyto podmínky: u motoru, které jsou stavěny na provoz v rozsahu otáček na křivce točivého momentu při úplném zatížení, jsou mezilehlé otáčky deklarované otáčky při maximálním točivém momentu, zdali tyto otáčky jsou v rozsahu od 60 do 75 % jmenovitých otáček; zdali jsou uvedené otáčky při maximálním točivém momentu menší než 60 % jmenovitých otáček, potom mezilehlé otáčky jsou 60 % jmenovitých otáček; zdali jsou uvedené otáčky při maximálním točivém momentu větší než 75 % jmenovitých otáček, potom mezilehlé otáčky jsou 75 % jmenovitých otáček.
3. Zatížení – jde o procentuální podíl maximálního využitelného momentu při určitých otáčkách.
4. Váhový faktor – jde o váhu daného režimu při výpočtu výsledné produkce emisí.

Výpočet emisí [g·kWh⁻¹] pro jednotlivé složky je podle vztahu:

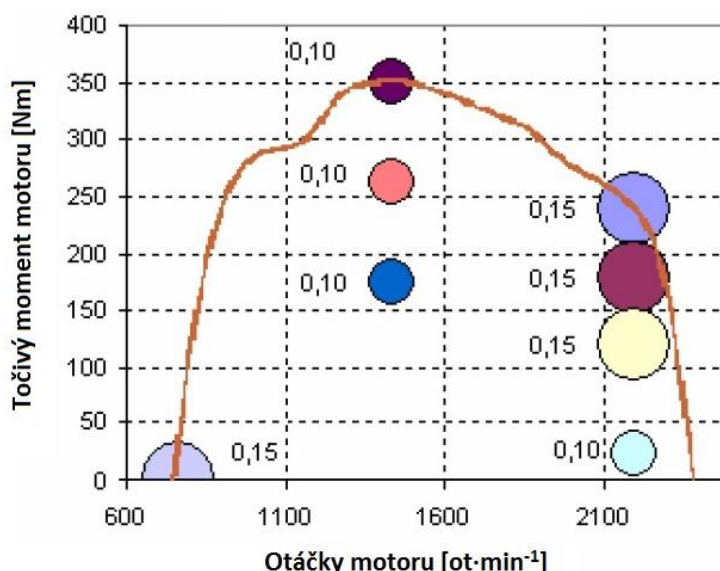
$$m_{NRSC} = \frac{\sum_{i=1}^8 (M_{P,i} \cdot VF_i)}{\sum_{i=1}^8 (P_{PTO,i} \cdot VF_i)}$$

Kde:

- m_{NRSC} – spotřeba paliva nebo měrné emise NRSC testu [$g \cdot kWh^{-1}$]
- $M_{p,i}$ – hodinová spotřeba paliva nebo emise v režimu i [$g \cdot h^{-1}$]
- VF_i – váhový faktor v režimu i [–]
- P_i – výkon motoru v režimu i [kW] (15)

Tab. 14 – režimy a jejich váhové faktory (28)

Režim	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



Obr. 14 – Zkušební test NRSC (28)

Po ukončení měření daného paliva o určité koncentraci, došlo k propláchnutí motoru dalším testovaným palivem, aby nedošlo ke kontaminaci předešlým palivem a znehodnocení celého procesu měření. U zkoumaných paliv byly zanalyzovány v každém bodě výsledné parametry týkající se spotřeby paliva a emisí v jednotkách $g \cdot h^{-1}$. Jednotky z % a ppm byly přepočteny na základě množství nasávaného vzduchu. V poslední fázi došlo k vyhodnocení vypočtených dat NRSC testu u spotřeby paliva a emisí v jednotkách $g \cdot kWh^{-1}$. Pro přehlednost byla výsledná data u směsných paliv ještě porovnána procentuálně s čistou motorovou naftou.

4 Výsledky

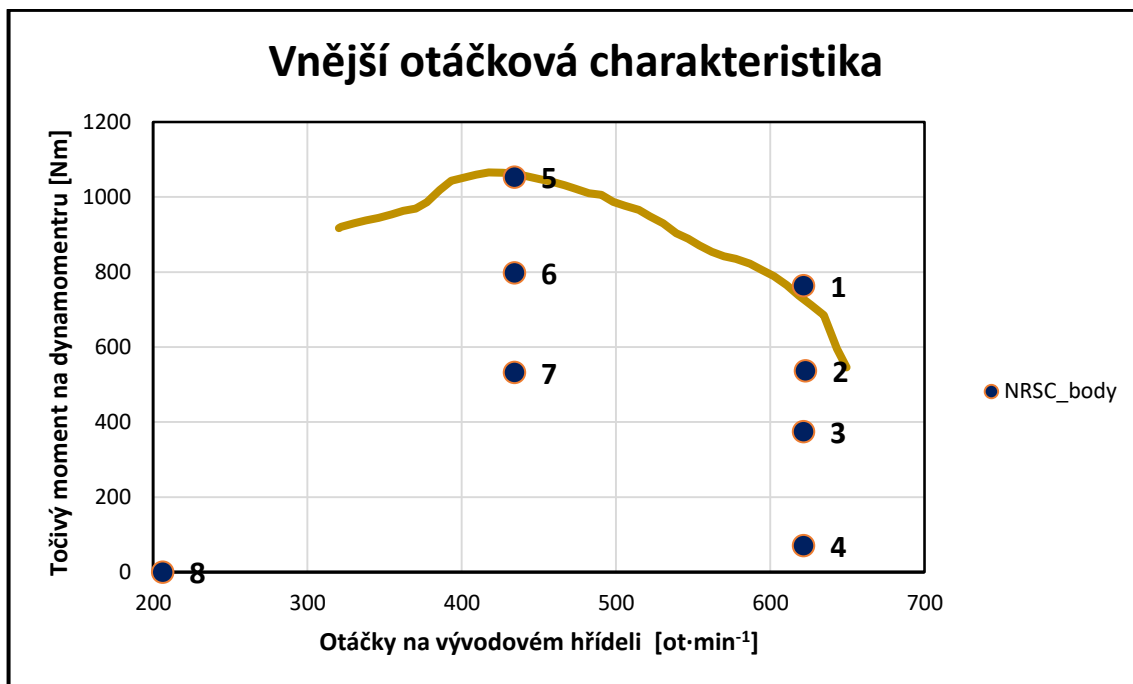
Předmětem této kapitoly je popsání a vysvětlení výsledků praktické části diplomové práce, které vzešly z předcházejících měření. V jednotlivých podkapitolách budou popsány výsledky měřených paliv a to čisté motorové nafty, motorové nafty s příměsí 5 % butanolu a motorové nafty s příměsí 20 % řepkového oleje a 10 % butanolu. Dále bude porovnávána spotřeba paliva a emisní parametry paliv při různých koncentracích biosložek v motorové naftě. K porovnání byly vybrány emise CO, CO₂, N₂O, NO a NO₂, které jsou škodlivé pro lidský organismus.

4.1 Motorová nafta bez obsahu biosložek

V této podkapitole bude podrobně rozebráno měření čisté motorové nafty v rámci NRSC testu. Byla zjištěna spotřeba paliva a emisní parametry motorové nafty. Z měření vzešla tabulka hodnot – Tab. 15, kde lze vyčíst zkoumané parametry, kterým je například spotřeba paliva, v jednotlivých bodech. Nejvyšší spotřebu 15 500,79 g·h⁻¹ traktor dosáhl ve jmenovitých otáčkách 2 201,77 ot·min⁻¹ při plném zatížení motoru v bodě č. 1. Oproti tomu nejnižší spotřeba traktoru dosahovala 900,04 g·h⁻¹ při volnoběžných otáčkách 730,00 ot·min⁻¹. Při snižujícím se zatížení zásadně klesala hodnota spotřeby paliva. Pro lepší představu jsou body NRSC testu zobrazeny na Obr. 15. Výsledná spotřeba paliva podle výpočtů NRSC testu, které je možno nalézt v příloze č. 1, činila 340,91 g·kWh⁻¹.

Tab. 15 – naměřené hodnoty v rámci NRSC testu u čisté motorové nafty

Motorová nafta bez obsahu biosložky							
číslo měřeného bodu	Otáčky vývodového hřídele [ot·min ⁻¹]	Otáčky motoru [ot·min ⁻¹]	Točivý moment na dynamometru [Nm]	Točivý moment motoru [Nm]	Výkon motoru [kW]	Spotřeba paliva [g·h ⁻¹]	Spotřeba paliva [g·kWh ⁻¹]
1	621,44	2 201,77	763,06	215,37	49,66	15 500,79	312,15
2	622,67	2 206,13	536,31	151,37	34,97	12 211,86	349,20
3	621,32	2 201,34	374,28	105,64	24,35	10 243,44	420,63
4	621,37	2 201,53	70,17	19,81	4,57	6 149,39	1 346,80
5	434,01	1 537,71	1 052,28	297,00	47,83	12 534,46	262,08
6	434,07	1 537,89	797,23	225,02	36,24	9 896,65	273,10
7	434,02	1 537,72	531,93	150,13	24,18	7 320,41	302,80
8	206,04	730,00	–	–	–	900,04	–



Obr. 15 – vnější otáčková charakteristika při použití motorové nafty bez obsahu biosložky

Dále byly zkoumány v rámci NRSC testu emisní parametry čisté motorové nafty, které lze vyčíst z Tab. 16. Tabulka je rozdělena do tří částí podle jednotek ppm, $\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ a $\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$. Maximální hodnota vyprodukovaných emisí u CO činila $183 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ v bodě č. 5 a minimální hodnota $20,71 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ v bodě č. 8 při volnoběžných otáčkách motoru. Maximální hodnota vyprodukovaných emisí u CO_2 dosahovala $58\,569,95 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ v bodě 1 a minimální hodnota $3049,18 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ byla opět při volnoběžných otáčkách. Nevyšší emisní hodnota u NO byla $399,62 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ v bodě 5 a nejnižší v bodě č. 8. Nejvyšší hodnota u N_2O a NO_2 byla v bodě č. 1 a nejnižší v bodě č. 8. Emisní hodnoty podle výpočtů NRSC testu, které je možno nalézt v příloze č. 2, jsou u CO $2,57 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$, CO_2 $1283,44 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$, N_2O $0,06 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$, NO $8,38 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$ a NO_2 $2,08 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$.

Tab. 16 – emisní parametry u motorové nafty bez obsahu biosložky

Emisní parametry u motorové nafty bez obsahu biosložky					
Č. BODU	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	N ₂ O [ppm]	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]
1	159,82	67 253,66	2,95	630,35	107,10
2	101,37	59 494,05	2,71	514,56	90,41
3	130,92	53 226,13	2,82	361,60	94,14
4	235,96	38 250,18	3,07	151,53	97,92
5	581,81	94 585,54	3,49	1 181,20	85,94
6	251,25	83 779,10	2,83	1 117,47	81,27
7	134,69	70 242,51	2,62	868,84	99,32
8	238,32	22 334,79	1,99	320,69	122,44
Č. BODU	CO [g·h ⁻¹]	CO ₂ [g·h ⁻¹]	N ₂ O [g·h ⁻¹]	NO [g·h ⁻¹]	NO ₂ [g·h ⁻¹]
1	88,58	58 569,95	2,57	374,29	97,50
2	49,97	46 082,83	2,10	271,75	73,21
3	60,82	38 851,53	2,06	179,96	71,83
4	90,80	23 125,87	1,86	62,46	61,89
5	183,74	46 933,50	1,73	399,62	44,58
6	70,11	36 730,94	1,24	334,04	37,25
7	34,13	27 965,40	1,04	235,85	41,34
8	20,71	3 049,18	0,27	29,85	17,47
Č. BODU	CO [g·kWh ⁻¹]	CO ₂ [g·kWh ⁻¹]	N ₂ O [g·kWh ⁻¹]	NO [g·kWh ⁻¹]	NO ₂ [g·kWh ⁻¹]
1	1,78	1 179,47	0,05	7,54	1,96
2	1,43	1 317,75	0,06	7,77	2,09
3	2,50	1 595,37	0,08	7,39	2,95
4	19,89	5 064,88	0,41	13,68	13,55
5	3,84	981,34	0,04	8,36	0,93
6	1,93	1 013,60	0,03	9,22	1,03
7	1,41	1 156,74	0,04	9,76	1,71
8	–	–	–	–	–

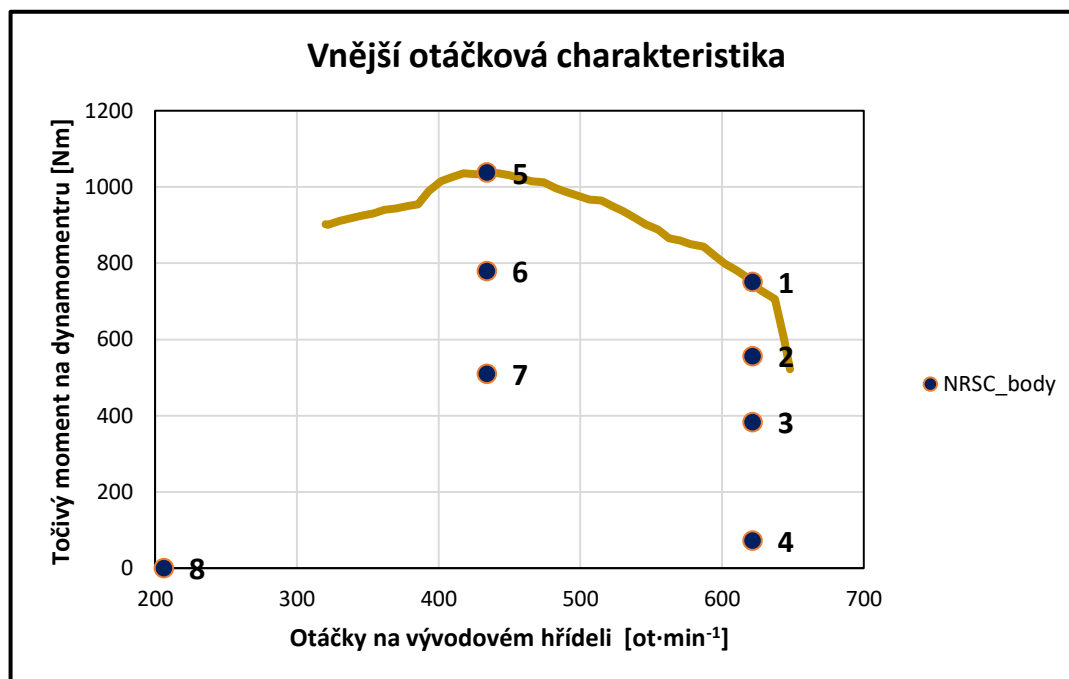
4.2 Motorová nafta s obsahem butanolu v poměru 95 % NM a 5 % BUT

V následujícím měření bylo zkoumáno směsné palivo – motorová nafta s obsahem butanolu v poměru 95 % motorové nafty a 5 % butanolu. Byly zkoumány stejné parametry, jako u předchozího měření, tedy především spotřeba paliva a emisní parametry. Detailní přehled naměřených parametrů je zobrazen v Tab. 17 – naměřené hodnoty v rámci NRSC testu u motorové nafty s obsahem butanolu Opět traktor dosáhl

nejvyšší spotřebu $15\,522,94\text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ v bodě č. 1 při jmenovitých otáčkách $2\,202,20\text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ při 100% zatížení. Nejnižší spotřeba traktoru byla znovu při volnoběžných otáčkách $730,00\text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ a to $956,64\text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$. Měřené body jsou zobrazeny na Obr. 16. Výsledná spotřeba paliva podle výpočtů NRSC testu, které je možno nalézt v příloze č. 3, činila $342,46\text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$.

Tab. 17 – naměřené hodnoty v rámci NRSC testu u motorové nafty s obsahem butanolu

Motorová nafta s butanolem v poměru 95 % NM a 5 % BUT							
číslo měřeného bodu	Otáčky vývodového hřídele [$\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$]	Otáčky motoru [$\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$]	Točivý moment na dynamometru [Nm]	Točivý moment motoru [Nm]	Výkon motoru [kW]	Spotřeba paliva [$\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$]	Spotřeba paliva [$\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$]
1	621,56	2 202,20	750,10	211,71	48,82	15 522,94	317,94
2	621,57	2 202,21	555,91	156,90	36,18	12 431,65	343,56
3	621,46	2 201,84	383,03	108,11	24,93	10 517,92	421,94
4	621,47	2 201,87	72,22	20,39	4,70	6 163,27	1 311,23
5	434,11	1 538,04	1 037,38	292,80	47,16	12 421,61	263,40
6	434,02	1 537,72	779,36	219,97	35,42	9 657,76	272,65
7	433,98	1 537,60	509,87	143,91	23,17	6 913,63	298,36
8	206,04	730,00	–	–	–	956,64	–



Obr. 16 – vnější otáčková charakteristika při použití motorové nafty ve směsi s butanolem

Dále byly zkoumány v rámci NRSC testu emisní parametry motorové nafty s obsahem butanolu, které lze vyčíst z Tab. 18. Tabulka je rozdělena do tří částí podle jednotek ppm,

$\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ a $\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$. Maximální hodnota u CO činila $159,23 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ opět v bodě č. 5. Minimální hodnota byla jako u všech emisí v bodě č. 8 – $21,26 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$. Maximální hodnota vyprodukovaných emisí u CO_2 dosahovala $58\,846,81 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ v bodě č. 1. Nevyšší emisní hodnota u NO byla $386,61 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ v bodě 5. Nejvyšší hodnota u N_2O a NO_2 byla opět v bodě č. 1. Emisní hodnoty podle výpočtů NRSC testu, které je možno nalézt v příloze č. 4, jsou u CO $2,41 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$, CO_2 $1\,243,56 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$, N_2O $0,08 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$, NO $8,16 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$ a NO_2 $1,93 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$.

Tab. 18 – emisní parametry motorové nafty s butanolem v poměru 95 % NM a 5 % BUT

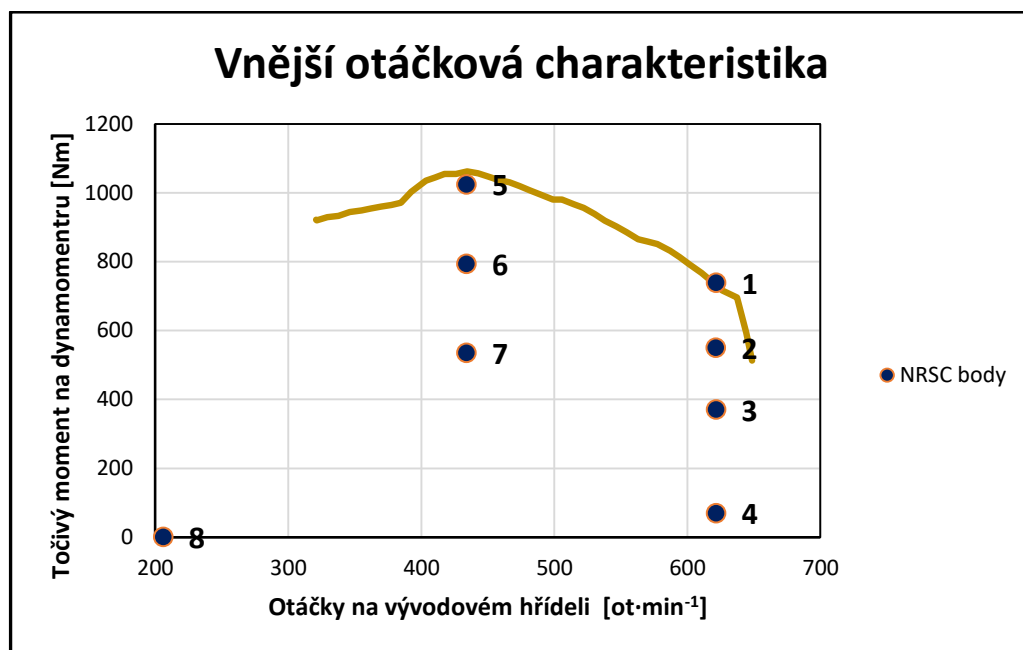
Motorová nafta s butanolem v poměru 95 % NM a 5 % BUT					
Č. BODU	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	N ₂ O [ppm]	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]
1	154,49	65 497,77	3,05	629,37	98,38
2	94,97	59 022,58	2,76	525,57	83,45
3	131,24	53 051,91	2,98	358,52	95,14
4	243,52	37 322,29	3,16	153,41	93,88
5	516,45	93 124,69	3,53	1 170,51	74,63
6	222,40	81 525,60	2,91	1 083,48	71,37
7	127,63	65 841,96	2,83	774,53	85,45
8	240,82	20 082,95	1,95	298,76	119,06
Č. BODU	CO [$\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$]	CO ₂ [$\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$]	N ₂ O [$\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$]	NO [$\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$]	NO ₂ [$\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$]
1	83,84	55 846,81	2,60	365,88	87,69
2	46,96	45 860,59	2,14	278,43	67,78
3	60,35	38 331,31	2,15	176,62	71,86
4	93,55	22 527,65	1,91	63,13	59,24
5	159,23	45 111,92	1,71	386,61	37,79
6	60,85	35 045,70	1,25	317,56	32,07
7	31,46	25 500,39	1,10	204,53	34,60
8	21,26	2 786,06	0,27	28,26	17,27
Č. BODU	CO [$\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$]	CO ₂ [$\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$]	N ₂ O [$\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$]	NO [$\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$]	NO ₂ [$\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$]
1	1,72	1 143,84	0,05	7,49	1,80
2	1,30	1 267,41	0,06	7,69	1,87
3	2,42	1 537,71	0,09	7,09	2,88
4	19,90	4 792,72	0,41	13,43	12,60
5	3,38	956,59	0,04	8,20	0,80
6	1,72	989,38	0,04	8,97	0,91
7	1,36	1 100,50	0,05	8,83	1,49
8	–	–	–	–	–

4.3 Motorová nafta s obsahem řepkového oleje a butanolu v poměru 70 % NM 20 % ŘO a 5 % BUT

V posledním měření bylo zkoumáno směsné palivo – motorová nafta s obsahem řepkového oleje a butanolu v poměru 70 % motorové nafty, 20 % řepkového oleje a 10 butanolu. Znovu došlo k posouzení spotřeby paliva a vyprodukovaných emisí. Detailní přehled hodnot souvisejících se spotřebou paliva je zobrazen v Tab. 19. Znovu byla dosažena nejvyšší spotřeba paliva v bodě č. 1 a to 15 799,47 g·h⁻¹ při jmenovitých otáčkách 2 202,47 ot·min⁻¹ při plném zatížení traktoru. Nejnižší spotřeba byla 939,25 g·h⁻¹ při volnoběžných otáčkách. Měřené body jsou zobrazeny na vnější otáčkové charakteristice na Obr. 17. Výsledná spotřeba paliva podle výpočtů NRSC testu, které je možno nalézt v příloze č. 5, činila 354,34 g·kWh⁻¹.

Tab. 19 – naměřené hodnoty v rámci NRSC testu u motorové nafty s obsahem řepkového oleje a butanolu

Motorová nafta s řepkovým olejem a butanolem v poměru 70 % NM, 20 % ŘO a 10 % BUT							
číslo měřeného bodu	Otáčky vývodového hřídele [ot·min ⁻¹]	Otáčky motoru [ot·min ⁻¹]	Točivý moment na dynamometru [Nm]	Točivý moment motoru [Nm]	Výkon motoru [kW]	Spotřeba paliva [g·h ⁻¹]	Spotřeba paliva [g·kWh ⁻¹]
1	621,64	2 202,47	738,66	208,48	48,09	15 799,47	328,57
2	621,45	2 201,80	549,40	155,07	35,75	12 841,61	359,16
3	621,52	2 202,03	370,25	104,50	24,10	10 545,42	437,61
4	621,55	2 202,14	69,25	19,55	4,51	6 424,22	1 425,23
5	433,99	1 537,63	1 024,06	289,04	46,54	12 668,70	272,21
6	434,02	1 537,72	793,43	223,94	36,06	10 046,92	278,61
7	433,98	1 537,58	534,99	151,00	24,31	7 523,38	309,44
8	206,04	730,00	–	–	–	939,25	–



Obr. 17 – vnější otáčková charakteristika při použití motorové nafty ve směsi s řepkovým olejem a butanolem

V neposlední řadě byly zkoumány v rámci NRSC testu emisní parametry motorové nafty s obsahem řepkového oleje a butanolu, které lze vyčíst z Tab. 20. Maximální hodnota u CO činila $120,41 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ také v bodě č. 5. Nejnižší hodnota byla $30,49 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ při volnoběžných otáčkách v bodě 8. Maximální hodnota vyprodukovaných emisí u CO₂ dosahovala $44\,910,19 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ v bodě č. 1, což je výrazně nižší než u předchozích dvou paliv. Nevyšší emisní hodnota u NO byla $318,97 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ v bodě č. 5. Nejvyšší hodnota u N₂O a NO₂ byla znovu v bodě č. 1. Nejnižší hodnota u NO₂ byla ojedinele v bodě č. 5 – $17,77 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$. Emisní hodnoty podle výpočtů NRSC testu, které je možno nalézt v příloze č. 6, jsou u CO $2,25 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$, CO₂ $1\,000,69 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$, N₂O $0,05 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$, NO $6,79 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$ a NO₂ $1,28 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$.

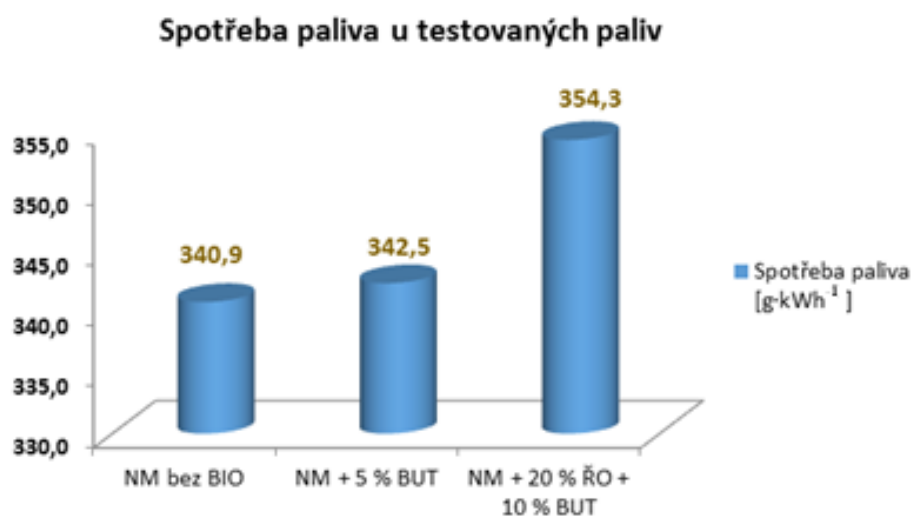
Tab. 20 – emisní parametry motorové nafty s řepkovým olejem a butanolem v poměru 70 % NM, 20 % ŘO a 5 % BUT

Motorová nafta s řepkovým olejem a butanolem v poměru 70 % NM, 20 % ŘO a 10 % BUT					
Č. BODU	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	N ₂ O [ppm]	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]
1	184,86	65 785,94	2,88	647,52	70,70
2	113,49	58 980,72	2,59	540,93	69,69
3	160,94	52 708,74	2,81	358,58	82,43
4	296,22	37 598,65	3,16	150,23	85,82

5	494,02	93 302,53	3,25	1 221,64	44,38
6	234,80	83 014,58	2,67	1 146,89	53,16
7	165,07	68 174,26	2,76	867,00	81,88
8	393,28	20 995,38	2,38	296,63	142,09
Č. BODU	CO [g·h ⁻¹]	CO ₂ [g·h ⁻¹]	N ₂ O [g·h ⁻¹]	NO [g·h ⁻¹]	NO ₂ [g·h ⁻¹]
1	80,32	44 910,19	1,97	301,39	50,46
2	44,07	35 985,54	1,58	225,02	44,45
3	58,16	29 926,87	1,60	138,81	48,92
4	90,20	17 989,36	1,51	49,01	42,93
5	120,41	35 729,94	1,25	318,97	17,77
6	51,21	28 449,56	0,91	267,98	19,05
7	32,79	21 278,14	0,86	184,50	26,71
8	30,49	2 557,13	0,29	24,63	18,09
Č. BODU	CO [g·kWh ⁻¹]	CO ₂ [g·kWh ⁻¹]	N ₂ O [g·kWh ⁻¹]	NO [g·kWh ⁻¹]	NO ₂ [g·kWh ⁻¹]
1	1,67	933,97	0,04	6,27	1,05
2	1,23	1 006,47	0,04	6,29	1,24
3	2,41	1 241,90	0,07	5,76	2,03
4	20,01	3 990,98	0,34	10,87	9,52
5	2,59	767,71	0,03	6,85	0,38
6	1,42	788,92	0,03	7,43	0,53
7	1,35	875,18	0,04	7,59	1,10
8	–	–	–	–	–

4.3.1 Celkové posouzení spotřeby paliva u měřených paliv

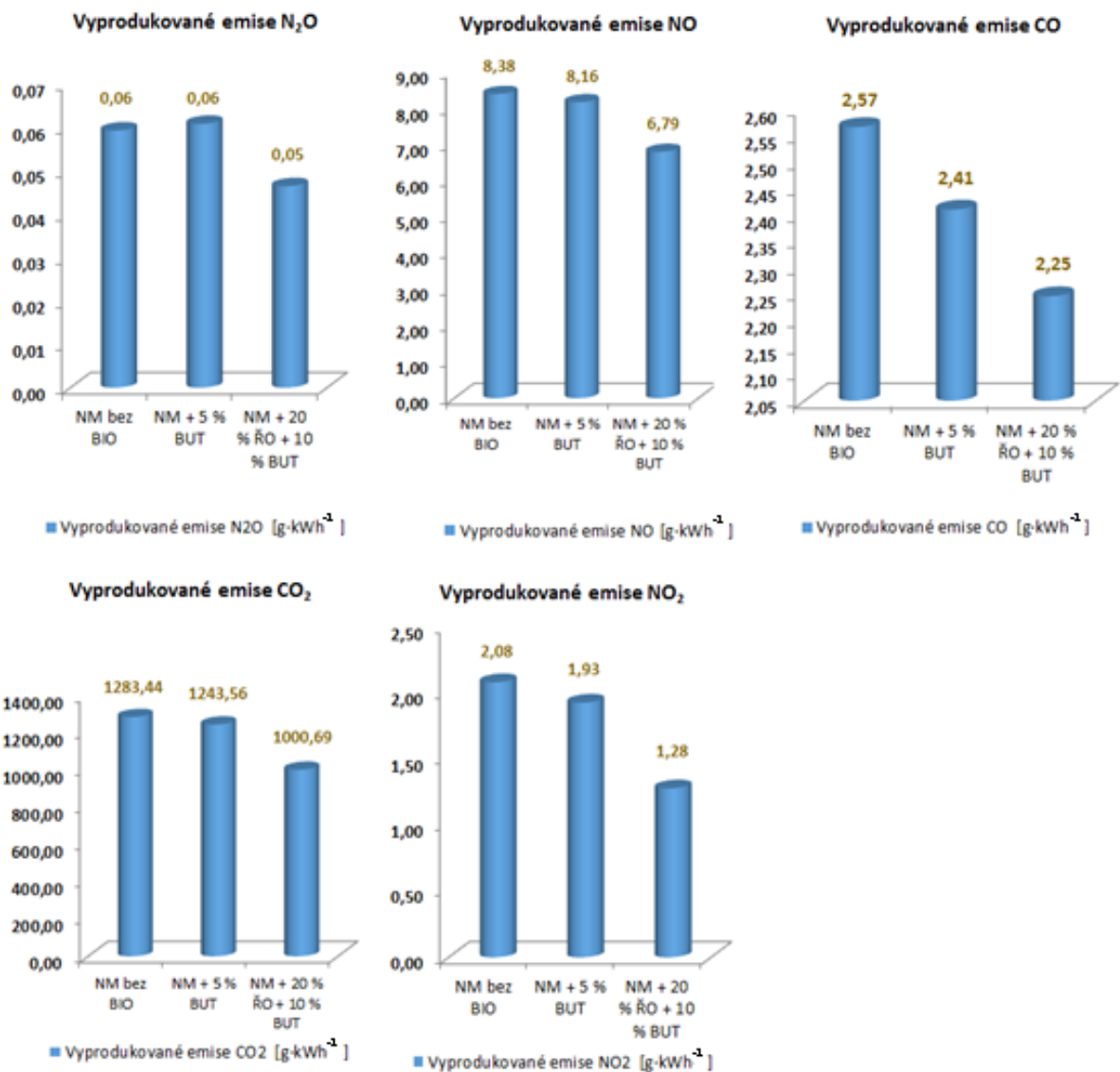
Při celkovém srovnání spotřeby paliva v rámci NRSC testu u zkoumaných paliv, které je zobrazeno na Obr. 18 lze vyčíst, že nejnižší spotřeba paliva byla u čisté motorové nafty, jen nepatrně vyšší, přesněji o 0,5 %, byla u směsného paliva, kterým byla motorová nafta s 5 % butanolu. Nejvyšší spotřeba byla u posledního měřeného paliva a to motorové nafty s 20 % řepkového oleje a 10 % butanolu, přesněji byla o 3,9 % vyšší než u čisté motorové nafty.



Obr. 18 – srovnání spotřeby paliva v rámci NRCS testu u zkoumaných paliv

4.3.2 Celkové posouzení produkovaných emisí u měřených paliv

V rámci NRCS testu bylo vybráno pro srovnání pět druhů emisí – CO, CO₂, N₂O, NO a NO₂. Při celkovém srovnání emisí vyšlo jednoznačně nejlépe poslední zkoumané palivo – 70 % motorové nafty, 20 % řepkového oleje a 10 % butanolu naopak nejhůře vyšla čistá motorová nafta. U motorové nafty, kde byl přítomen řepkový olej a butanol vyšly emise následovně: CO 2,25 g·kWh⁻¹, CO₂ 1000,69 g·kWh⁻¹, N₂O 0,05 g·kWh⁻¹, NO 6,79 g·kWh⁻¹ a NO₂ 1,28 g·kWh⁻¹ a u čisté motorové nafty CO 2,57 g·kWh⁻¹, CO₂ 1283,44 g·kWh⁻¹, N₂O 0,06 g·kWh⁻¹, NO 8,38 g·kWh⁻¹ a NO₂ 2,08 g·kWh⁻¹. Palivo s 5 % procenty butanolu vyšlo o něco málo lépe, než čistá motorová nafta: CO 2,41 g·kWh⁻¹, CO₂ 1243,56 g·kWh⁻¹, N₂O 0,06 g·kWh⁻¹, NO 8,16 g·kWh⁻¹ a NO₂ 1,93 g·kWh⁻¹. U čisté motorové nafty vyšly emise takto: CO 2,57 g·kWh⁻¹, CO₂ 1283,44 g·kWh⁻¹, N₂O 0,06 g·kWh⁻¹, NO 8,38 g·kWh⁻¹ a NO₂ 2,08 g·kWh⁻¹. Grafický detail je zobrazen na Obr. 19. Pro přehlednost je nutno uvést procentuální srovnání čisté motorové nafty, která vyšla z testu nejhůře a směsného paliva složeného ze 70 % motorové nafty, 20 % řepkového oleje a 10 % butanolu, které vyšlo z testu nejlépe. Emise čisté motorové nafty jsou u CO o 14 % vyšší, u CO₂ o 28 % vyšší, u N₂O o 20 % vyšší, u NO o 23 % a u NO₂ o 63 % vyšší.



Obr. 19 – celkové srovnání vyprodukovaných emisí u zkoumaných paliv

5 Ekonomické zhodnocení

Tato kapitola je zaměřena na propočtení ceny paliv, které byly použity během experimentu. Cena směsných paliv bude porovnávána s běžně využívanou motorovou naftou bez přídavku biosložky. Motorovou naftu bez biosložky není na trhu úplně jednoduché sehnat, kvůli plnění zákonné biopovinnosti. Palivo je možné zakoupit u vybraných společností, jako je síť čerpacích stanic EuroOil nebo KM-PRONA. Cena byla vypočtena s ohledem na procentuální zastoupení jednotlivých komponent v čisté motorové naftě. Obecně lze říci, že biopaliva momentálně nejsou cenově výhodná oproti fosilním palivům a pokud nejsou dotována státem, nemají na trhu silné zastoupení. Pro příklad lze uvést zavedení spotřební daně na palivo B100 od roku 2016, která činila 4,59 Kč·l⁻¹. Od této doby se prakticky 100% biopalivo pro pohon motorů neprodává.

- V prvním bodě bude detailně rozebrán vývoj ceny čisté motorové nafty.
- Ve druhém bodě budou porovnány ceny směsných paliv s čistou motorovou naftou.
- Ve třetím bodě je vypočtena cena za spotřebu paliva v jednotkách [Kč·h⁻¹].

Rozbor ceny motorové nafty

Cenu motorové nafty je nutné rozebrat již od úplného začátku vstupní suroviny, kterou je ropa. Určování ceny ropy je velmi komplikovaný proces, který ovlivňuje mnoho faktorů jako je měnová politika, kurz dolaru, sezónnost, světové politické konflikty, inflace, uměle vyvolané faktory, živelné katastrofy, nabídka a poptávka. Cena ropy také zahrnuje samotnou těžbu, investice pro vyhledávání nových ropných nalezišť a také náklady na zahájení těžby. Cena ropy Brent se nyní pohybuje na burze okolo 9 Kč·l⁻¹. K této ceně je připočítávána cena za dopravu a marže těžební společnosti. Cena motorové nafty na čerpacích stanicích dále zahrnuje velkoobchodní cenu, spotřební daň, daň z přidané hodnoty a maloobchodní cenu paliva.

V ČR velkoobchodní cena motorové nafty nejčastěji vychází z cen kotací Platts Barges FOB Rotterdam, která se nyní pohybuje okolo 12 Kč·l⁻¹. K této ceně je připočítána tzv. inland premie (IP zahrnuje - dopravu zboží do místa plnění a skladování, náklady na administrativu, clo a celní poplatky, veškeré jiné náklady a poplatky nezbytné pro řádné plnění smlouvy) v USD·t⁻¹, která se pohybuje v rozmezí 20 – 50 USD·t⁻¹. Dále je připočítávaná dopravní marže z místa plnění do místa dodání. Dle zákona č. 353/2003 Sb. Zákon o spotřebních daních, se musí k motorové naftě po výdeji pohonné hmoty z daňového skladu připočítat spotřební daň, která činí 10,95 Kč·l⁻¹. Pro představu je na Obr. 20 výpočet velkoobchodní ceny společnosti ČEPRO, a.s.

VZOREC PRO VÝPOČET NABÍDKOVÉ CENY

Nabídková cena pro naftu motorovou bude stanovena dle následujícího vzorce:

$$NC = ((93\%PTMN + 7\%PTBIO) + IP \text{ dodavatele}) \times KT \times DR / 1000 + SPD + DM \text{ dodavatele}$$

kde:

NC	je nabídková cena za 1 litr nafty motorové nebo arktické (v Kč bez DPH)
%	jsou procenta
PTMN	je aritmetický průměr všech uveřejněných denních kotací Platts Barges FOB Rotterdam Mean pro naftu motorovou i arktickou za minulý týden pondělí 9. 7. 2018 až pátek 13. 7. 2018 v USD, platný pro období od úterý 17. 7. 2018 do pondělí 23. 7. 2018 v USD
PTBIO	je aritmetický průměr všech uveřejněných denních kotací Platts Barges FOB Rotterdam Mean FAME -10 RED (biosložka) za minulý týden pondělí 9. 7. 2018 až pátek 13. 7. 2018 v USD, platný pro období od úterý 17. 7. 2018 do pondělí 23. 7. 2018 v USD
IP	je prémium tuzemského trhu v USD za 1 t paliva
KT	je aritmetický průměr denních kotací kurzů Kč/USD vydaných ČNB za minulý týden pondělí 9. 7. 2018 až pátek 13. 7. 2018, platný pro období od úterý 17. 7. 2018 do pondělí 23. 7. 2018
DR	je referenční hustota (koeficient), nafta (včetně arktické) = 0,845 kg/m ³
SPD	je spotřební daň, nafta (včetně arktické) = 10,95 Kč bez DPH
DM	je dopravní marže v Kč bez DPH za 1 litr

Obr. 20 - výpočet velkoobchodní ceny společnosti ČEPRO, a.s.

V maloobchodní ceně je zahrnuta marže obchodníka a čerpací stanice. Obvykle jde o 1 – 4 Kč·l⁻¹. K celkové ceně je ještě připočítáno DPH 21 %.

Porovnání čisté motorové nafty se směsnými palivy

- Přibližná cena motorové nafty je 30,90 Kč·l⁻¹
- Přibližná cena butanolu je 38 Kč·l⁻¹
- Přibližná cena řepkového oleje je 29,90 Kč·l⁻¹

U směsného paliva, které bylo složeno z 95 % motorové nafty a 5 % butanolu vyšla cena na 31,26 Kč·l⁻¹, což je o 1,17 % více než cena motorové nafty. U druhého směsného paliva, které bylo složeno ze 70 % motorové nafty, 20 % řepkového oleje a 10 % butanolu vyšla cena na 31,46 Kč·l⁻¹, což je o 1,81 % více než cena motorové nafty.

Spotřeba paliva traktoru [Kč·h⁻¹]

Jelikož traktor spotřebovává palivo objemově, je nutné spotřebu přepočítat z [kg·h⁻¹] na [l·h⁻¹] z čehož následně lze vypočítat cenu spotřebovaného paliva za jednu hodinu. Pro výpočet byly použity hodnoty z NRSC testu. Dále bylo nutné znát hustoty použitých paliv.

Výpočet objemové spotřeby paliva je podle vztahu:

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^8 (M_{p,i} \cdot VF_i)}{\rho}$$

V_s – objemová spotřeba paliva v rámci NRSC testu [l·h⁻¹]

$M_{p,i}$ – hodinová spotřeba paliva nebo emise v režimu i [g·h⁻¹]

VF_i – váhový faktor v režimu i [–]

ρ – hustota daného paliva [kg·m⁻³]

V Tab. 21 – výsledné ceny za spotřebu daného paliva je přehled výsledků objemové spotřeby traktoru pro dané palivo a výsledná cena spotřebovaného paliva za jednu hodinu provozu traktoru. U čisté motorové nafty vyšla objemová spotřeba nejnižší a to 11,15 l·h⁻¹ o ceně 344,54 Kč·h⁻¹. U směsného paliva č. 2 vyšla objemová spotřeba 11,19 l·h⁻¹ o ceně 349,8 Kč·h⁻¹. U směsného paliva č. 3 vyšla objemová spotřeba nejvyšší

a to 11,31 l·h⁻¹ o ceně 355,81 Kč·h⁻¹. Butanol velmi prodražoval cenu směsného paliva z důvodu jeho vysoké ceny. Nejnižší cena paliva byla u čisté motorové nafty.

Tab. 21 – výsledné ceny za spotřebu daného paliva

Palivo	Vážená spotřeba paliva v rámci NRSC [g·h ⁻¹]	Hustota daného paliva [kg·m ⁻³]	Objemová spotřeba daného paliva [l·h ⁻¹]	Výsledná cena spotřebovaného paliva [Kč·h ⁻¹]
1. Čistá motorová nafta	9 419	845	11,15	344,54
2. Motorová nafta s butanolem v poměru 95 % NM a 5 % BUT	9 430	843	11,19	349,8
3. Motorová nafta s řepkovým olejem a butanolem v poměru 70 % NM, 20 % ŘO a 10 BUT	9 685	856	11,31	355,81

6 Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na porovnání emisí a spotřebu paliva při použití různých koncentrací alkoholového paliva v motorové naftě ve vznětovém motoru, v tomto případě traktoru značky Zetor. Zkoumat množství produkovaných emisí a spotřebu paliva, je velmi důležité z hlediska životního prostředí a zdraví všech organismů. Jelikož biopaliva patří do rychle obnovitelných zdrojů energie, jsou vhodná pro nahrazování fosilních paliv. Jako alkoholové palivo do motorové nafty byl vybrán butanol, jelikož má daleko lepší cetanové číslo, není tak hydrokopický a celkově jsou jeho vlastnosti lepší než častěji používaný ethanol. Nejprve byla zkoumána motorová nafta bez obsahu biosložky, která sloužila především pro porovnání parametru u směsných paliv. První směsné palivo bylo tvořeno z 95 % čisté motorové nafty a z 5 % butanolu. Druhé směsné palivo bylo tvořeno ze 70 % čisté motorové nafty, 20 % řepkového oleje a 10 % butanolu. Všechna paliva byla testována v rámci NRSC testu.

Z počátku je práce zaměřena na současná teoretická východiska a má spíše popisný charakter. Jsou zde popsány spalovací motory, výroba paliv, biopaliva a legislativa spojená s touto problematikou. Následuje metodika a stanovení cílů. V konečné fázi byla vyhodnocena naměřená data u testovaných paliv a provedeno ekonomické zhodnocení.

Nejnižší spotřeby v jednotkách $[g \cdot kWh^{-1}]$ bylo dosaženo u čisté motorové nafty a naopak nejvyšší spotřeby u druhého směsného paliva, které bylo tvořeno ze 70 % čisté motorové nafty, 20 % řepkového oleje a 10 % butanolu. Spotřeba tohoto paliva byla vyšší o 3,9 %, než u čisté motorové nafty. Spotřeba paliva tvořeného z 95 % čisté motorové nafty a 5 % butanolu vyšla prakticky stejně, jako u čisté motorové nafty. Spotřeba tohoto paliva byla pouze 0,5 % vyšší. Z ekonomického hlediska vyšla nejlépe čistá motorová nafta.

S ohledem na životní prostředí vyšlo nejlépe směsné palivo složené ze 70 % čisté motorové nafty, 20 % řepkového oleje a 10 % butanolu. Produkované emise u čisté motorové nafty byly u CO o 14 % vyšší, u CO₂ o 28 % vyšší, u N₂O o 20 % vyšší, u NO o 23 % a u NO₂ o 63 % vyšší než u paliva složeného ze 70 % čisté motorové nafty, 20 % řepkového oleje a 10 % butanolu.

V průběhu let bylo na traktoru testováno více druhů paliv různých směsí. Z krátkodobého hlediska významně neovlivňují palivové směsi mechanické části traktoru. Otázkou je, jaké aspekty by přineslo dlouhodobé používání těchto paliv u mechanických částí traktoru, což je předmětem dalšího výzkumu. Během životnosti stroje se budou měnit i provozní parametry, proto je vhodné měřit u strojů spotřebu i emise z dlouhodobého hlediska.

Závěrem lze konstatovat, že biopaliva budou v palivářském průmyslu hrát velmi významnou roli a ve vzdálené budoucnosti lze předpokládat, že velkou část trhu s palivy přebere trh s elektřinou, který je více šetrný k životnímu prostředí.

7 Seznam použité literatury

1. **HROMÁDKO, J., HROMÁDKO J., HÖNIG, V., MILER P.** *Spalovací motory. Komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilových škol.* Praha : Grada Publishing a.s., 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
2. **PEKÁREK, S.** *Technologie oprav 1.* Nový Jičín : Střední škola technická a zemědělská, 2016. ISBN 978-80-88058-23-6.
3. **MATĚJOVSKÝ, V.** *Automobilová paliva.* Praha : Grada Publishing, a.s., 2005. ISBN 80-247-0350-5.
4. **BUDÍN, J.** OENERGETICE.CZ. *OENERGETICE.CZ.* [Online] 12. květen 2015. [Citace: 24. listopad 2018.] Dostupné z <http://oenergetice.cz/ropa/zpracovani-ropy-1-cast-zakladni-zpracovani-ropy/>.
5. **ČSN EN 590+A1.** *Motorová paliva – Motorové nafty – Technické požadavky a metody zkoušení.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
6. **MARITZOVÁ, CH., MARČÍK F.** Česko proti chudobě a nerovnostem. *Česko proti chudobě a nerovnostem.* [Online] Prosinec 2011. [Citace: 8. Prosinec 2018.] Dostupné z <https://www.ceskoprotichudobe.cz/pdf/glopolis-biopaliva-paliva-za-jidlo.pdf>.
7. **TŘEBICKÝ, Vladimír.** Vlastnosti paliv s obsahem biosložek. *Biom.cz.* [Online] 17. Srpen 2009. [Citace: 15. Prosinec 2018.] Dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vlastnosti-paliv-s-obsahem-bioslozek.1801-2655>.
8. **ČAPPO – Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu.** Biopaliva třetí generace. *ROPA.cz.* [Online] [Citace: 22. Prosinec 2018.] Dostupné z <https://www.ropa.cz/zpravy/biopaliva-treti-generace-2/>.
9. **LEE A.R., LAVOIE, J.M.** *From first- to third-generation biofuels: Challenges of producing a commodity from a biomass of increasing complexity.* místo neznámé : Animal Frontiers, 2013.
10. **HROMÁDKO, J., et. al.** *Výroba bioetanolu.* Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2010.
11. **LAURIN, J.** Butanol jako motorové palivo. *Envi Web.* [Online] 31. Červenec 2012. [Citace: 22. Prosinec 2019.] Dostupné z <http://www.enviweb.cz/92143>.

12. *Zákon č. 353/2003 Sb., ze dne 26. září 2003 o spotřebních daních.* místo neznámé : Sběrka zákonů České republiky., 2003.
13. **Fojtík, L.** *Biopaliva nyní musí vykazat úsporu emisí skleníkových plynů, schválila vláda. Pokud kritéria nesplní, podlehnou spotřební dani.* Praha : Hospodářské Noviny – Economica a. s., 2018. 1213-7693.
14. **HÖNIG, V., et al.** *Změny daňové politiky na trhu s bioetanolem.* Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2017.
15. **PEXA, M., ČEDÍK, J., HÖNIG, V., PRAŽAN, R.** *Lignocellulosic Biobutanol as Fuel for Diesel Engines.* Prague : Czech University of Life Sciences Prague, 2016. 6006–6016.
16. **HÖNIG, V., HROMÁDKO, J., ORSÁK, M.** *Využití biobutanolu ve vznětových motorech a jeho vliv na parametry motorové nafty.* Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2015.
17. **GIAKOUMIS E. G., RAKOPOULOS, C. D., DIMARATOS, M. A.** *Exhaust emissions with ethanol or n-butanol diesel fuel blends during transient operation: A review.* Athens : autor neznámý, 2013.
18. **HROMÁDKO, J.** *Speciální spalovací motory a alternativní pohony.* Praha : Grada Publishing, a.s., 2012. 978–80–247–4455–1.
19. *Zákon č. 201/2012 Sb., ze dne 2. května 2012 o ochraně ovzduší.* místo neznámé : Sběrka zákonů České republiky, 2012.
20. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/2001 ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů.* Štrasburk : autor neznámý, 2018.
21. **ZETOR.** Zetor - Návod k obsluze a údržbě. *CALS SERVIS.* [Online] únor 2004. [Citace: 15. leden 2019.] Dostupné z http://www.cals.cz/zetorservice/files/1/Forterra_Z_8641-Z11741_CZ.pdf.
22. —. ZETOR. [Online] 26. duben 2018. [Citace: 15. leden 2019.] Dostupné z <https://www.zetor.com/20-years-of-zetor-forterra-that-is-21-500-stories-of-satisfied-customers-in-55-countries-of-the-world>.
23. **TECHNOLOGY - GARAGE spol s.r.o.** TECHNOLOGY - GARAGE. *TECHNOLOGY - GARAGE.* [Online] [Citace: 15. leden 2019.] Dostupné z <http://www.technology-garage.cz/infraanalyzator-brain-bee-ags-200-sestava-02#prod-desc>.

24. **MAHA.** *MAHA.* [Online] [Citace: 15. leden 2019.] Dostupné z <http://www.maha.com.au/power-take-off-dynamometer-lps-zw-500.htm>.
25. **ČZU v Praze.** Katedra jakosti a spol. strojů. [Online] [Citace: 15. leden 2019.] Dostupné z <https://katedry.czu.cz/kjss/dynamometr>.
26. **SHINKO DENSHI CO., LTD.** AJ/AJH series. [Online] [Citace: 16. únor 2019.] Dostupné z: <http://www.vibra.co.jp/global/products/detail/12>.
27. **BRUKER.** Gas Analysis. [Online] BRUKER. [Citace: 16. únor 2019.] Dostupné z: <https://www.bruker.com/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/gas-analysis.html>.
28. **PEXA, M., KUBÍN, K.** AGRITECH SCIENCE. *Vliv podílu biosložky v palivu na spotřebu a paliva emise traktoru Zetor Forterra 8641.* [Online] duben 2010. [Citace: 15. leden 2019.] Dostupné z http://svtpisek.cz/VUZT1/index.php?P=P2010_18.1802-8942.

8 Seznam zkratek

ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
NM	motorová nafta
BUT	butanol
ŘO	řepkový olej
Obr.	obrázek
Tab.	tabulka
LPG	Liquified Petroleum Gas – zkapalněný ropný plyn
CNG	Compressed Natural Gas – stlačený zemní plyn
LNG	Liquefied Natural Gas – zkapalněný zemní plyn
E85	85 % ethanol a 15 % Natural 95
E5	5 % ethanol a 95 % Natural 95
E10	10 % ethanol a 90 % Natural 95
M85	85 % metanolu a 15 % benzínu
SMN30	směsná motorová nafta
B7	7 % FAME a 93 % motorová nafta
B100	100 % FAME
MEŘO	Methylester řepkového oleje
FAME	Fatty acid methyl ester
ETBE	Ethyl-terc. butyl éter
MTBE	Methyl terc. butyl éther
CO ₂	oxid uhličitý
CO	oxid uhelnatý
NO	oxid dusnatý
NO ₂	oxid dusičitý
N ₂ O	oxid dusný
NO _x	oxidy dusíku
SO _x	oxidy síry
EGR	Exhaust Gas Recirculation
HC	nespálené uhlovodíky
PM	particulate matter – pevné částice
OZE	obnovitelné zdroje energie
NRSC	Non-Road Steady Cycle
NEDC	New European Driving Cycle
CFPP	Cold Filter Plugging Point
ČSN EN	Česká verze evropské normy
ČSN	Česká technická norma
ČH	Čtená hodnota
ABE	fermentace aceton – butanol – ethanol

9 Seznam obrázků

OBR. 1 - SCHÉMA PŘEMĚNY ENERGIE VE SPALOVACÍCH MOTORECH (1)	3
OBR. 2. ZÁKLADNÍ SCHÉMA ČTYŘDOBÉHO MOTORU (2)	4
OBR. 3 - ZÁKLADNÍ ČÁSTI A SLOŽENÍ ČTYŘDOBÉHO ZÁŽEHOVÉHO MOTORU (2)	6
OBR. 4 - SCHÉMA PROCESU ODSOLOVÁNÍ (4)	11
OBR. 5 - SCHÉMA ATMOSFÉRICKÉ DESTILACE (4)	12
OBR. 6 - SCHÉMA ZPRACOVÁNÍ ATMOSFÉRICKÝCH A VAKUOVÝCH DESTILÁTŮ NA PALIVA (4).....	13
OBR. 7 - REDUKCE CO ₂ (1)	19
OBR. 8 - ALTERNATIVNÍ KAPALNÁ PALIVA (3)	22
OBR. 9 - SLOŽENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ U VZNĚTOVÉHO A ZÁŽEHOVÉHO MOTORU (1)	25
OBR. 10 - TRAKTOR ZETOR 8641 (22)	30
OBR. 11 - ANALYZÁTORY VÝFUKOVÝCH PLYNŮ BRAIN BEE OPA - 100 A AGS – 200 (23).....	31
OBR. 12 - DYNAMOMETR MAHA ZW – 500 (25).....	32
OBR. 13 - SCHÉMA ZAPOJENÍ (15)	35
OBR. 14 – ZKUŠEBNÍ TEST NRSC (28).....	37
OBR. 15 – VNĚJŠÍ OTÁČKOVÁ CHARAKTERISTIKA PŘI POUŽITÍ MOTOROVÉ NAFTY BEZ OBSAHU BIOSLOŽKY	39
OBR. 16 – VNĚJŠÍ OTÁČKOVÁ CHARAKTERISTIKA PŘI POUŽITÍ MOTOROVÉ NAFTY VE SMĚSI S BUTANOLEM	41
OBR. 17 – VNĚJŠÍ OTÁČKOVÁ CHARAKTERISTIKA PŘI POUŽITÍ MOTOROVÉ NAFTY VE SMĚSI S ŘEPKOVÝM OLEJEM A BUTANOLEM	44
OBR. 18 – SROVNÁNÍ SPOTŘEBY PALIVA V RÁMCI NRCS TESTU U ZKOUMANÝCH PALIV.....	46
OBR. 19 – CELKOVÉ SROVNÁNÍ VYPRODUKOVANÝCH EMISÍ U ZKOUMANÝCH PALIV	47
OBR. 20 - VÝPOČET VELKOOBCHODNÍ CENY SPOLEČNOSTI ČEPRO, A.S.	49

10 Seznam tabulek

TAB. 1 - SROVNÁNÍ TEPLOT VZNÍCENÍ A VZPLANUTÍ U JEDNOTLIVÝCH SLOUČENIN (3)	9
TAB. 2 - OBSAH SÍRY U JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ (3)	14
TAB. 3 - NORMA ČSN EN 590+A1 (656506) (5)	14
TAB. 4 - POŽADAVKY ZÁVISLÉ NA KLIMATICKÝCH PODMÍNKÁCH A METODY ZKOUŠENÍ (5)	15
TAB. 5 - MOTOROVÁ NAFTA PRO ARKTICKÉ KLIMA (5)	15
TAB. 6 - GENERACE BIOPALIV (6).....	18
TAB. 7 - PRODUKČNÍ POTENCIÁL BIOETHANOLU Z JEDNOTLIVÝCH SUROVIN (10).....	20
TAB. 8 - PARAMETRY BIOPALIV A FOSILNÍCH PALIV (3) A (16).....	23
TAB. 9 - TECHNICKÉ PARAMETRY TRAKTORU (21)	30
TAB. 10 - TECHNICKÉ PARAMETRY EMISNÍCH ANALYZÁTORŮ (15).....	31
TAB. 11 - PARAMETRY DYNAMOMETRU MAHA ZW – 500 (24).....	32
TAB. 12 – PARAMETRY VÁHY VIBRA 6200 J (26)	33
TAB. 13 – PARAMETRY FTIR ANALYZÁTORU BRUKER (27)	33
TAB. 14 – REŽIMY A JEJICH VÁHOVÉ FAKTORY (28)	37
TAB. 15 – NAMĚŘENÉ HODNOTY V RÁMCI NRSC TESTU U ČISTÉ MOTOROVÉ NAFTY.....	38
TAB. 16 – EMISNÍ PARAMETRY U MOTOROVÉ NAFTY BEZ OBSAHU BIOSLOŽKY	40
TAB. 17 – NAMĚŘENÉ HODNOTY V RÁMCI NRSC TESTU U MOTOROVÉ NAFTY S OBSAHEM BUTANOLU	41
TAB. 18 – EMISNÍ PARAMETRY MOTOROVÉ NAFTY S BUTANOLEM V POMĚRU 95 % NM A 5 % BUT	42
TAB. 19 – NAMĚŘENÉ HODNOTY V RÁMCI NRSC TESTU U MOTOROVÉ NAFTY S OBSAHEM ŘEPKOVÉHO OLEJE A BUTANOLU	43
TAB. 20 – EMISNÍ PARAMETRY MOTOROVÉ NAFTY S ŘEPKOVÝM OLEJEM A BUTANOLEM V POMĚRU 70 % NM, 20 % ŘO A 5 % BUT	44
TAB. 21 – VÝSLEDNÉ CENY ZA SPOTŘEBU DANÉHO PALIVA	51

11 Přílohy

Příloha č. 1: Výpočet spotřeby paliva v rámci NRSC testu u motorové nafty bez biosložky

NRSC test – motorová nafta bez obsahu biosložky					
Spotřeba paliva					
Spotřeba [g·h ⁻¹]	Výkon [kW]	Vážený výkon	Váhy		Vážená spotřeba
900,036	0	0	0,15		135,0054491
10 243,439	24,35272883	3,653	0,15		1536,515898
12 211,862	34,9709398	5,246	0,15		1831,779311
15 500,794	49,65801875	7,449	0,15		2325,119093
6 149,394	4,565926803	0,457	0,1		614,9394063
7 320,413	24,1760937	2,418	0,1		732,041323
9 896,648	36,23819695	3,624	0,1		989,664817
12 534,458	47,82596521	4,783	0,1		1253,445816
	Suma	27,62787137		Suma	9418,511112
					NRSC spotřeba [g·kWh ⁻¹]
					340,91

Příloha č. 2 : Výpočet emisních parametrů v rámci NRSC testu u motorové nafty bez biosložky

NRSC test – motorová nafta bez obsahu biosložky									
Emise									
NO [g·h ⁻¹]	vážené NO	CO ₂ [g·h ⁻¹]	Vážené CO ₂	N ₂ O [g·h ⁻¹]	Vážené N ₂ O	NO ₂ [g·h ⁻¹]	Vážené NO ₂	CO [g·h ⁻¹]	Vážené CO
29,8505	4,4776	3049,1826	457,3774	0,2722	0,0408	17,4737	2,6211	20,7080	3,1062
179,9598	26,9940	38851,5293	5827,7294	2,0569	0,3085	71,8303	10,7745	60,8238	9,1236
271,7507	40,7626	46082,8323	6912,4248	2,0969	0,3145	73,2070	10,9811	49,9742	7,4961
374,2906	56,1436	58569,9457	8785,4919	2,5660	0,3849	97,5019	14,6253	88,5841	13,2876
62,4623	6,2462	23125,8743	2312,5874	1,8554	0,1855	61,8854	6,1885	90,7969	9,0797
235,8462	23,5846	27965,4032	2796,5403	1,0419	0,1042	41,3375	4,1338	34,1289	3,4129
334,0411	33,4041	36730,9450	3673,0945	1,2405	0,1241	37,2463	3,7246	70,1093	7,0109
399,6203	39,9620	46933,4967	4693,3497	1,7325	0,1732	44,5791	4,4579	183,7417	18,3742
suma	231,5747	suma	35458,5954	suma	1,6358	suma	57,5068	suma	70,8912
	NRSC NO [g·kWh ⁻¹]		NRSC CO ₂ [g·kWh ⁻¹]		NRSC N ₂ O [g·kWh ⁻¹]		NRSC NO ₂ [g·kWh ⁻¹]		NRSC CO [g·kWh ⁻¹]
	8,38		1283,44		0,06		2,08		2,57

Příloha č. 3: Výpočet spotřeby paliva v rámci NRSC testu u motorové nafty s obsahem butanolu v poměru 95 % NM a 5 % BUT

NRSC test – Motorová nafta s butanolem v poměru 95 % NM a 5 % BUT					
Spotřeba paliva					
Spotřeba [g·h ⁻¹]	Výkon [kW]	Vážený výkon	Váhy		Vážená spotřeba
956,6447261	0	0	0,15		143,4967089
10517,91531	24,92749	3,739	0,15		1577,687296
12431,65468	36,18449	5,428	0,15		1864,748201
15522,93955	48,82407	7,324	0,15		2328,440933
6163,266717	4,700386	0,470	0,1		616,3266717
6913,630668	23,17173	2,317	0,1		691,3630668
9657,760229	35,42205	3,542	0,1		965,7760229
12421,60582	47,15885	4,716	0,1		1242,160582
	Suma	27,5357091		Suma	9429,999483
					NRSC spotřeba [g·kWh ⁻¹]
					342,46

Příloha č. 4 : Výpočet emisních parametrů v rámci NRSC testu u motorové nafty s butanolem v poměru 95 % motorové nafty a 5 % butanolu

NRSC test – Motorová nafta s butanolem v poměru 95 % NM a 5 % BUT									
Emise									
NO [g·h ⁻¹]	vážené NO	CO ₂ [g·h ⁻¹]	Vážené CO ₂	N ₂ O [g·h ⁻¹]	Vážené N ₂ O	NO ₂ [g·h ⁻¹]	Vážené NO ₂	CO [g·h ⁻¹]	Vážené CO
28,2582	4,2387	2786,0568	417,9085	0,2707	0,0406	17,2664	2,5900	21,2628	3,1894
176,6181	26,4927	38331,3077	5749,6962	2,1549	0,3232	71,8581	10,7787	60,3525	9,0529
278,4324	41,7649	45860,5904	6879,0886	2,1448	0,3217	67,7795	10,1669	46,9647	7,0447
365,8836	54,8825	55846,8114	8377,0217	2,6048	0,3907	87,6883	13,1532	83,8409	12,5761
63,1336	6,3134	22527,6459	2252,7646	1,9076	0,1908	59,2379	5,9238	93,5541	9,3554
204,5256	20,4526	25500,3888	2550,0389	1,0951	0,1095	34,5969	3,4597	31,4612	3,1461
317,5616	31,7562	35045,7035	3504,5703	1,2523	0,1252	32,0703	3,2070	60,8468	6,0847
386,6059	38,6606	45111,9199	4511,1920	1,7078	0,1708	37,7922	3,7792	159,2298	15,9230
suma	224,561518	suma	34242,28075	suma	1,6725733	suma	53,05856754	suma	66,37232638
	NRSC NO [g·kWh ⁻¹]		NRSC CO ₂ [g·kWh ⁻¹]		NRSC N ₂ O [g·kWh ⁻¹]		NRSC NO ₂ [g·kWh ⁻¹]		NRSC CO [g·kWh ⁻¹]
	8,16		1243,56		0,06		1,93		2,41

Příloha č. 5 : Výpočet spotřeby paliva v rámci NRSC testu u motorové nafty s obsahem řepkového oleje a butanolu v poměru 70 % NM, 20 % ŘO a 10 % BUT

NRSC test – Motorová nafta s řepkovým olejem a butanolem v poměru 70 % NM, 20 % ŘO a 10 BUT					
Spotřeba paliva					
Spotřeba [g·h ⁻¹]	Výkon [kW]	Vážený výkon	Váhy		Vážená spotřeba
939,2507648	0	0	0,15		140,8876147
10545,41554	24,09766636	3,614649953	0,15		1581,812331
12841,60612	35,7541144	5,363117161	0,15		1926,240918
15799,4723	48,08545978	7,212818968	0,15		2369,920844
6424,221637	4,507498282	0,450749828	0,1		642,4221637
7523,375689	24,31299921	2,431299921	0,1		752,3375689
10046,9161	36,0613463	3,60613463	0,1		1004,69161
12668,70465	46,54083827	4,654083827	0,1		1266,870465
	Suma	27,33285429		Suma	9685,183515
					NRSC spotřeba [g·kWh ⁻¹]
					354,34

Příloha č. 6 : Výpočet emisních parametrů v rámci NRSC testu u motorové nafty s obsahem řepkového oleje a butanolu v poměru 70 % NM, 20 % ŘO a 10 % BUT

NRSC test – Motorová nafta s řepkovým olejem a butanolem v poměru 70 % NM 20 % ŘO a 5 % BUT									
emise									
NO [g·h ⁻¹]	vážené NO	CO ₂ [g·h ⁻¹]	Vážené CO ₂	N ₂ O [g·h ⁻¹]	Vážené N ₂ O	NO ₂ [g·h ⁻¹]	Vážené NO ₂	CO [g·h ⁻¹]	Vážené CO
24,6323	3,6949	2557,1271	383,5691	0,2901	0,0435	18,0909	2,7136	30,4864	4,5730
138,8116	20,8217	29926,8683	4489,0303	1,5954	0,2393	48,9225	7,3384	58,1569	8,7235
225,0238	33,7536	35985,5405	5397,8311	1,5785	0,2368	44,4492	6,6674	44,0716	6,6107
301,3898	45,2085	44910,1940	6736,5291	1,9661	0,2949	50,4567	7,5685	80,3219	12,0483
49,0087	4,9009	17989,3563	1798,9356	1,5113	0,1511	42,9262	4,2926	90,2044	9,0204
184,5007	18,4501	21278,1352	2127,8135	0,8615	0,0862	26,7137	2,6714	32,7915	3,2792
267,9835	26,7983	28449,5556	2844,9556	0,9145	0,0914	19,0459	1,9046	51,2150	5,1215
318,9703	31,8970	35729,9357	3572,9936	1,2464	0,1246	17,7673	1,7767	120,4073	12,0407
suma	185,5249323	suma	27351,65776	suma	1,267901929	suma	34,93320247	suma	61,41733199
	NRSC NO [g·kWh ⁻¹]		NRSC CO ₂ [g·kWh ⁻¹]		NRSC N ₂ O [g·kWh ⁻¹]		NRSC NO ₂ [g·kWh ⁻¹]		NRSC CO [g·kWh ⁻¹]
	6,79		1000,69		0,05		1,28		2,25