



**TECHNICKÁ FAKULTA**

**KATEDRA JAKOSTI A SPOLEHLIVOSTI STROJŮ**

**VLIV BIOPALIV NA PRODUKCI OXIDU DUSÍKU**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

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

**Autor diplomové práce : Bc. Marek Beneš**

**Praha 2017**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Marek Beneš

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Vliv biopaliv na produkci oxidů dusíku**

Název anglicky

**Influence of biofuels on the production of nitrogen oxides**

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je posoudit vliv biopaliv na velikost produkce emisí oxidů dusíku a navrhnout nejlepší palivo i s ohledem na konstrukci spalovacího motoru.

### Metodika

- 1) Úvod
- 2) Rozbor současného stavu (popis konstrukce motoru, popis biopaliv a jejich očekávaného vlivu na emise, popis emisí oxidů dusíku)
- 3) Cíl práce
- 4) Metodika práce
- 5) Výsledky (ověření produkce emisí oxidů dusíku na zvolených biopalivech použitých ve vznětových spalovacích motorech, návrh nejvhodnějšího paliva)
- 6) Závěr

**Doporučený rozsah práce**

50-60

**Klíčová slova**

emise oxidy dusíku, biopaliva

---

**Doporučené zdroje informací**

HROMÁDKO, J. HROMÁDKO, J., MILER, P., HÖNIG, V.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0

LEE, S., SHAH, Y.T.: Biofuels and bioenergy : processes and technologies. Boca Raton : CRC Press, 2013. ISBN 1420089552

LEE, S., SPEIGHT, J.G., LOYALKA, S.K. : Handbook of alternative fuel technologies. Boca Raton : CRC Press, 2015. ISBN 146659456X

Normy a předpisy, periodika a firemní literatura

ŠEBOR, G., POSPÍŠIL, M. a ŽÁKOVEC, J. Technickoekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě. Praha, červen 2006. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

---

Elektronicky schváleno dne 7. 12. 2015

**doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 5. 1. 2016

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2017

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv biopaliv na emise NO<sub>x</sub> vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 26.02.2017

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Martin Pexovi, Ph.D. za vstřícný přístup k mým nesčetným otázkám, za jeho rady, poznámky a čas mně věnovaný.

## **ABSTRAKT:**

Diplomová práce se zabývá problematikou emisí NO<sub>x</sub> při spalování biopaliv a jejich porovnání se základním vzorkem paliva. Práce obsahuje jak literární rešerši, tak praktickou část s měřeními (a vyhodnocením) dat. V literární rešerši je řešena problematika biopaliv od výroby po konečné přeměnění v teplo ve vznětovém motoru. V praktické části se rozbor zabývá hodnocením naměřených hodnot při NRSC testu a vyvození nejlepšího možného paliva z hlediska nejvyšší možné úspory emisí NO<sub>x</sub>.

## **KLÍČOVÁ SLOVA:**

Biopalivo, butanol, etanol, MEŘO, rostlinný olej, NO<sub>x</sub>, NRSC test

## **SUMMARY**

Diploma thesis is focused on problematics of NO<sub>x</sub> emission during combustion of biofuels and their comparison with standard sample of fuel. Thesis include a literature review and practical part with experimental measurements and evaluation of data. The literature review deals with the issue of biofuels from production to final conversion into heat in a diesel engine. The practical part of analysis deals with the evaluation of the measured values from NRSC test and draw the best possible fuel from the perspective of the best saving of NO<sub>x</sub> emission.

### **Key words:**

Biofuel ,ethanol, FAME, buthanol, vegetable oil, NO<sub>x</sub>, NRSC test

## Obsah

1.	Úvod .....	1
2.	Legislativa biopaliv .....	2
3.	Spalování ve vznětových motorech.....	5
3.1.	Motorová nafta .....	5
3.2.	Bioetanol .....	8
3.3.	Rostlinné oleje.....	13
3.4.	Methylester řepkového oleje ( MEŘO) .....	17
3.5.	Směsná motorová nafta .....	20
3.6.	Bioplyn.....	22
3.7.	Butanol .....	25
4.	Emise oxidů dusíku .....	28
4.	Cíl práce.....	32
5.	Metodika .....	33
5.1.	Naměření hodnot NRCS testu.....	34
5.2.	Přepočet NO .....	41
5.3.	Posouzení vlivu biosložek na hodnoty NOx.....	44
5.3.1.	20% MEŘO .....	45
5.3.2.	5% ŘEPKOVÉHO OLEJE .....	46
5.3.3.	20% ŘEPKOVÉHO OLEJE .....	48
5.3.4.	30% HVO.....	49
5.3.5.	10% butanolu .....	51
6.	Závěr.....	54



## 1. Úvod

Zvyšující se industrializace a životní úroveň jde ruku v ruce se zhoršováním životního prostředí. K pohonu strojů a výrobě energie se nejčastěji používají paliva vyrobená z ropy, která pokrývají až 80 % spotřeby energie na světě a z toho 32 % jenom samotná doprava. Bohužel při spalování ropných produktů dochází k tvorbě skleníkových plynů a znečišťování prostředí. Proto se od 70. let minulého století řeší problematika škodlivosti emisí a jejich omezení. Jako vhodná alternativa se jeví používání biopaliv.

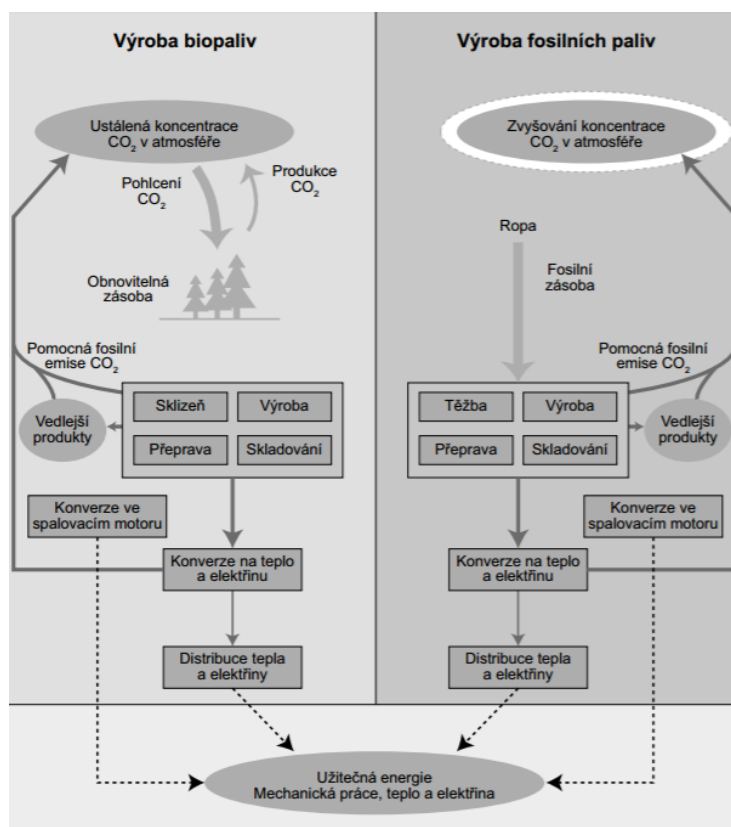
Biopalivo by mělo být alternativou ke stávajícím ropným palivům. Mělo by mít ideálně stejné mechanické vlastnosti, být šetrné k přírodě a v celém svém životním cyklu vyprodukovat méně skleníkových plynů než stávající paliva. Jako náhražka podobných vlastností motorové nafty, která je v dnešní době k dostání, je methylester mastných kyselin (MEŘO,FAME). Jedná se o bionaftu první generace, která je vyráběna z rostlinných olejů nebo živočišných tuků. Palivo má podobné parametry jako motorová nafta, a proto se může spalovat v konvenčních vznětových motorech bez nutnosti konstrukčních zásahů do jednotlivých skupin motoru. Jelikož se jedná o obnovitelný zdroj energie, je to velice perspektivní palivo, kde u některých složek emisí dochází k poklesu, jako třeba u emisí oxidů dusíku  $\text{NO}_x$ . Samozřejmostí jsou i další alternativy k FAME, ale většinou je nutné samotné palivo aditivovat či upravit konstrukční řešení motoru tak, aby bylo možné alternativní palivo spalovat (bez havarijních stavů).

Dusík ve své základní podobě v malé koncentraci má příznivý vliv na růst rostlin. Často je podstatnou složkou průmyslových půdních hnojiv. Jenže právě zvyšování koncentrace oxidů dusíku má za následek fotochemický smog a spolu s oxidy síry může vytvářet kyselé deště, které ovlivňují vegetaci.

Proto je dobré si uvědomit, zda biopaliva přinesou kýžený efekt na životní prostředí, když se do roku 2020 musí zvýšit minimální podíl bioložek v palivu na 20 % podle plánu evropského parlamentu. Praktická část práce se z tohoto důvodu bude zabývat právě vlastnostmi biopaliv a vznikem emisí při spalování.

## 2. Legislativa biopaliv

Biopaliva jsou (nové) zdroje čisté energie vyráběné z obnovitelných zdrojů rostlinného nebo živočišného původu. Produkce biopaliv ve formě kapalin, plynů a pevných látek zaznamenala celosvětovou expanzi z důvodu zvyšující se spotřeby energie a zvýšeného globálního povědomí o nutnosti snižování průmyslové stopy na životním prostředí. Kapalná biopaliva jsou důležitým zdrojem energie pro možný budoucí vývoj paliv v dopravě a jeví se jako vhodná alternativa pro nahrazení fosilních paliv, jako jsou ropné produkty. Lipidy, jako jsou triglyceridy a vyšší mastné kyseliny, se získávají z široké škály surové biomasy. Nejčastějšími produkty jsou řepkový olej, slunečnicový olej, ale také i například odpadní kafilerní tuk. Díky této hojnosti lipidy začaly hrát roli jako jedny z nejdůležitějších obnovitelných paliv z biomasy. Hlavním přínosem biopaliv je snižování emisí skleníkových plynů a příspěvek ke snížení klimatických změn. [22]



Obrázek 1 : Produkce emisí skleníkových plynů při výrobě fosilních paliv [41]

Základními dokumenty pro uplatňování politiky obnovitelných zdrojů jsou legislativními předpisy – zákony

- a) Zákon č. 180/2007 Sb. o ochraně ovzduší,
- b) Zákon č. 221/2011 Sb. O ochraně ovzduší,
- c) novela zákona č. 201/2012 Sb. O ochraně ovzduší ,

Přimíchat povinně biosložky do motorových paliv nařizuje zákon č. 180/2007 Sb. o ochraně ovzduší, kterým se novelizoval zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší. Tento zákon byl zrušen v roce 2012 a byl nahrazen novelou zákona č. 201/2012 Sb. Jedná se primárně o výrobce paliv, rafinerie, dovozce paliv a některé distributory.

Zákonem o ochraně ovzduší č. 221/2011 Sb. se implementuje do České legislativy ustanovení směrnice evropského parlamentu a rady č. 2009/28/ES, která určuje kritéria pro udržitelnost biopaliv a povinnost dosáhnout snížení skleníkových plynů v určitém časovém horizontu. Kritériem udržitelnosti se rozumí minimální hodnota úspory emisí skleníkových plynů v porovnání s ekvivalentním fosilním palivem. Od roku 2012 je předem definováno, do jaké výše a který rok musí úspora dosáhnout dané hodnoty. V roce 2012 kritérium udržitelnosti je pro každé biopalivo 35 %, od roku 2017 50 % a rok 2018 činí 60 % úspor skleníkových plynů vzniklých spalováním. [15]

Na základě směrnice evropského parlamentu a rady č. 2009/30/ES mají členské státy EU povinnost snižovat skleníkové plyny ze spalovacích hmot schválené evropským parlamentem. V české legislativě je tato směrnice implementována novelizací zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, který nařizuje snížení emisí skleníkových plynů ze spalování motorových paliv o 6 % z počítaného základu, kterým je rok 2010. [15][16]

Nařízením vlády č. 86/2002 jsou stanovena technická pravidla, která slouží pro udělení certifikace a akreditace a způsoby výpočtu snížení emisí. Toto nařízení uplatňuje ministerstvo životního prostředí. [15]

Ostatní legislativou jsou normy:

- a) ČSN EN 228 ČSN 65 6505 – povinnost mísit benzín s bio-etanolem (E5 – E10),
- b) ČSN EN 590 ČSN 65 6506 – povinnost přimíchávat FAME/MEŘO (MOTOROVÁ NAFTA B7) ,
- c) ČSN 65 6608 (SMN 30 – B30) povinnosti a kritéria směsné motorové nafty s obsahem 30% FAME/ MEŘO,
- d) ČSN EN 14 214 ČSN 65 6507 nafta první generace FAME/MEŘO,
- e) ČSN 65 6500 Motorová paliva – podmínky pro skladování a dobou jejich použitelnosti.

Legislativa používání bio-složek a bio-paliv v evropských státech Unie je dána závaznými směrnici Evropského parlamentu a komise a prováděcím rozhodnutím komise.

- a) směrnice evropského parlamentu a rady 2009/28/ES,
- b) směrnice evropského parlamentu a rady 2009/30/ES,
- c) směrnice evropského parlamentu a rady 98/70ES a 2009/ES,
- d) směrnice evropského parlamentu a rady 2015/652 a rady 98/70/ES.

Směrnice 2009/28/ES stanoví společný rámec pro podporu energie z obnovitelných zdrojů. Stanoví závazné národní cíle, pokud jde o celkový podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie a podíl energie z obnovitelných zdrojů v dopravě. Směrnice stanoví pravidla týkající se statistických převodů mezi členskými státy, společných projektů členských států a členských států a třetích zemí, záruk původu, správních postupů, informování a vzdělávání a přístupu energie z obnovitelných zdrojů k distribuční soustavě. Stanoví kritéria udržitelnosti pro bio-paliva a bio-kapaliny. Směrnice nařizuje, aby do roku 2020 podíl konečné spotřeby energie v dopravě byl z 10 % tvořen obnovitelnými zdroji a zavádí tzv. kritérium udržitelnosti pro biopaliva. [15]

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/30/ES ze dne 23. dubna 2009, kterou se mění směrnice 98/70/ES pokud jde o specifikaci benzínu, motorové nafty a plynových olejů, zavedení mechanismu pro sledování a snížení emisí skleníkových plynů. Je sledováno uplatňování směsných paliv (fosilní palivo s bio-složkou) a čistých biopaliv v časovém horizontu do roku 2020. Směrnice je úzce spjata se směrnicí 2009/28/ES. [15] [40]

### 3. Spalování ve vznětových motorech

U vznětových motorů není nutný tak velký zdroj energie, aby zapálil směr paliva se vzduchem jako u zážehového motoru. Do válce je nasáván filtrovaný vzduch, který je stlačen při kompresi na zápalnou teplotu paliva. Tato teplota by měla být těsně před vstřikem paliva minimálně 500 °C. Do takto zahřátého vzduchu je vstřikováno přesně odměřené množství paliva pod vysokým tlakem. Tvůrcem vznětového motoru a jeho základní modifikace je Rudolf Diesel (1858 – 1913) [10]

#### 3.1. Motorová nafta

Jedná se o složité sloučeniny kapalných uhlovodíků a části tuhé látky rozpuštěné v kapalině. Hlavní složkou jsou n-alkany, známé jako parafíny. Ty při klesající teplotě přecházejí z kapaliny do pevného skupenství a snižují schopnost filtrace paliva a jeho dopravu za snížených teplot.

Motorové nafty patří do střední skupiny destilátů, které mají bod varu při teplotě 150 ÷ 360 °C. Tvořeny jsou směsí plynových olejů, v případě zimních měsíců i směsí petroleje. Čistota motorové nafty je zaručena tzv. hydrogenačním odsiřováním. Stejnou technologií je snižován obsah aromatických uhlovodíků, které mají nízká cetanová čísla. [47]

Motorové nafty obsahují stejně jako benzíny směsi uhlovodíků:

- a) normální alkany,
- b) izoalkany,
- c) alkeny,
- d) nafteny,
- e) aromáty.

### **Vlastnosti nafty:**

Nafty mají vyšší hustotu a viskozitu než benzíny. Uhlovodíky mají vyšší bod varu 150 – 360 °C. Míra hodnoty spalování paliva je vyjádřena cetanovým číslem nafty. Stejně jako u benzínu jde o bezrozměrné číslo. Platí obecně, že uhlovodíky s vysokým cetanovým číslem mají nízké oktanové číslo a opačně. Na této vlastnosti se nejvíce podílí zejména parafínový obsah. [47]

### **Cetanové číslo**

Cetanové číslo udává tzv. vznětlivost paliva a z něho odvozený průtah vznícení paliva. Cetanové číslo vyjadřuje objemové zastoupení cetanu ve směsi s 1-metyl-naftalenem. Příklad: nafta 51 je směs 51 % objemu cetanu a 49 % objemu 1-metyl-naftalenu. [48]

Protože je zkoušení paliva drahé a ne vždy dostupné, vzhledem k malému počtu zkušebních motorů bylo cetanové číslo nahrazeno vypočteným číslem – cetanovým indexem. Cetanový index se stanovuje výpočtem z hustoty paliva, z destilační křivky paliva a jeho vybraných bodů. Jedná se o jednoduchou metodu po laboratorním rozboru. U mnoha druhů dosahuje cetanový index skutečné hodnoty cetanového čísla. Norma ČSN EN 590 předepisuje hodnotu cetanového indexu minimálně 46 jednotek a cetanové číslo minimálně 51. [49]

Cetanové číslo ovlivňuje zejména:

- a) odpařování paliva při chodu studeného motoru s možností kondenzace na stěnách válce,
- b) barvu výfukových plynů vlivem nespáleného paliva,
- c) hlučnost motoru. Vyšší cetanové číslo má vliv na tvrdý chod motoru,
- d) zvýšenou tvorbu CO, sazí a nespálených uhlovodíků.[11]

## **Viskozita**

Je dána mírou tekutosti paliva. Nízká viskozita snižuje mazací schopnosti paliva, kterým jsou mazány vnitřní součásti vstřikovací soustavy

## **Bod vzplanutí**

Je nejnižší teplota za přesně definovaných podmínek, kdy se vytvoří nad hladinou hořlavé kapaliny takové množství par se vzduchem, že při přiblížení inicializačního plamene vzplane a ihned uhasne. Nejčastější laboratorní metody jsou metoda otevřeného kelímku nebo metoda uzavřeného kelímku. [50]

## **Obsah síry**

Limitován hodnotou 10 mg/kg paliva. Stejně hodnoty platí i pro motorové benzíny. Snižováním obsahu síry v palivu je chráněno životní prostředí a korozivní účinek produktů spalování. [30]

## **Oxidační stabilita**

Je to čas, po který je obsah paliva stabilní ve svém složení vlivem působení kyslíku na palivo. Obsah oxidačních produktů pak může být maximálně 26 g/kg paliva. [51]

## **Výhřevnost paliva**

Množství tepla uvolněného ve válci k objemu náplně válce. To je množství energie uvolněné dokonalým shořením objemové nebo hmotnostní jednotky paliva. Často bývá výhřevnost stažena na jednotku  $\text{MJ.l}^{-1}$  nebo hmotnostní jednotku  $\text{MJ.kg}^{-1}$ . Výhřevnost přímo ovlivňuje množství uhlíku, vodíku a částečně kyslíku v oleji. Kyslík se podílí nepřímo na výhřevnosti, protože přispívá k lepšímu spalování. [7]

## 3.2. Bioetanol

Z pohledu historie není výroba etanolu ze zemědělských produktů ničím novým, s čím by přišla současná doba. Etanol jako palivo zažil rozmach před druhou světovou válkou, avšak mělo to spíše agrární důvody, a během druhé světové války jako povinná příměs do benzínu, který se ke konci války stával cennou komoditou. Po válce se s rostoucím trhem a zlepšující se logistikou dostal do popředí trh s ropou a výroba etanolu se stala neperspektivní/ztrátová. Zájem o etanol projevil trh až začátkem 80. let vzhledem k rostoucí ceně ropy. [12]

V dnešní době je stanoveno povinné množství možného přimíchání denaturovaného bio-etanolu k benzínu normou ČSN EN 228 povinně do 5 % -> podle EU min 4,1 %. Pro zajímavost: v USA je dovolené přimíchat do benzínu až 10 % a v Brazílii dokonce 22 %. Rozmach etanolu platí především pro motory zážehové. V současné době je možné pořídit na čerpacích stanicích etanolové palivo s označením E85 (85 % etanolu a 15 % benzínu), avšak pro takový poměr směsi je třeba zážehového motoru s označením Flex Fuel Vehicle (FFV).

U vznětových motorů s přidavkem etanolu lze pozorovat příznivý pokles složek emisí nespálených uhlovodíků (HC), oxidů uhlíku (CO), oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) a pevných částic (dále jen PM), než je tomu u esterů mastných kyselin. V tomto případě je pro trh se vznětovými motory dodáváno palivo E95, kde 95 % objemu je tvořeno etanolem a 5 % aditivací, která zvyšuje cetanové číslo a nahrazuje mazací vlastnosti nafty. S ohledem na nižší koncentrace emisí než u konkurenčních biopaliv, zdá se být vhodnou variantou pro městskou hromadnou dopravu - viz Švédské království. [1]

Švédsko má jeden z největších autobusových parků na světě, který je právě přizpůsoben na palivo E95. První autobus vyjel již v roce 1986 a v současnosti celá flotila čítá kolem 600 autobusů na celé Švédsko, z toho 400 ve Stockholmu. [52]



## Charakteristika paliva

Etanol patří do skupiny mezi nižší alkoholy, je to bezbarvá kapalina, reaktivní a snadno zápalná již při 78 °C. Etanol se vyznačuje vyšším oktanovým číslem než benzín. Proto je vhodný pro použití v zážehových motorech bez nutnosti větších konstrukčních změn motoru. Etanol dále má nižší výhřevnost viz Tabulka 1, která se kompenzuje vyšší dávkou vstřikovaného paliva, a která má přímou úměru na růst spotřeby vozidla. Stechiometrický poměr etylalkoholu a vzduchu je 9,0 :1[7][2]

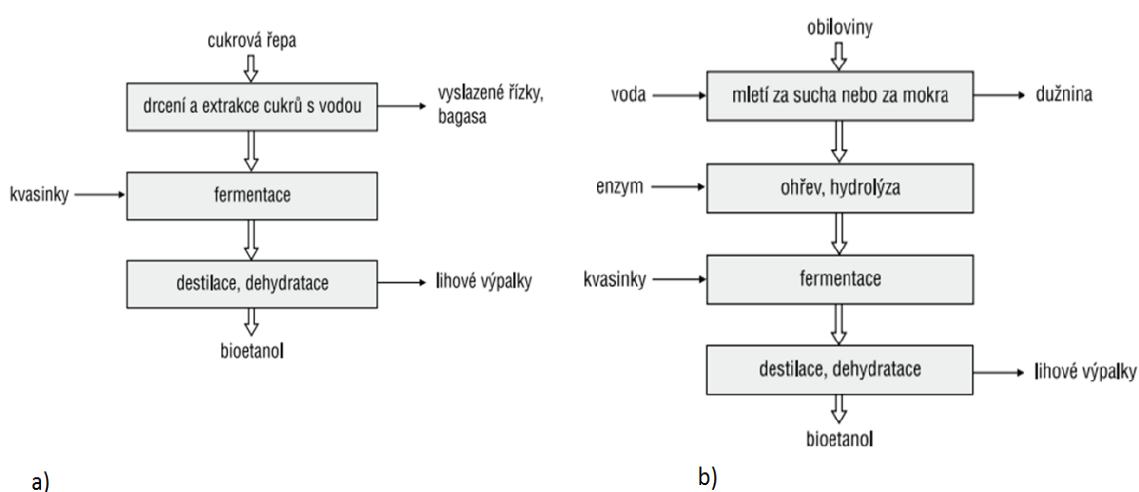
Tabulka 1: Charakteristika bioetanolu [23]

Parametr	Bioetanol	Nafta
Hustota při 15°C (kg.m <sup>-3</sup> )	789	820 - 845
Cetanové číslo	7	>51
Oktanové číslo VM	108	-
Výhřevnost (MJ.dm <sup>-3</sup> )	21	36
Výhřevnost hmotnostní (MJ.kg <sup>-1</sup> )	28,9	42,6
bod tání °C	-114,4	-
Bod varu°C	78	163-357
Obsah kyslíku (% hm.)	34,7	-

Pro vznětové motory není vhodné nízké cetanové číslo udávající vznětlivost paliva. Proto je nutná bezpodmínečná aditivace (až 5 %) pro zvýšení cetanového čísla na hodnotu 50+. Aditivace dále slouží jako mazání vstřikovacího čerpadla a vstřikovačů pro lepší mísitelnost (nafty a etanolu) a lepší antikorozi vlastnosti paliva. Samotný etanol může způsobit korozi palivové soustavy a jejího příslušenství. Dále může agresivně působit na pryžové a plastové díly. [7]

## Výroba etanolu

Bioetanol je etanol, který je vyroben technologií alkoholové fermentace z biomasy, a to převážně z plodin obsahujících větší množství sacharidů (cukrová řepa, obilniny) nebo škrobů (brambory, kukuřice, atd.). U plodin obsahujících sacharidy, se fermentace provádí přímo viz. Obrázek 2. Plodiny obsahující větší množství oligosacharidů a polysacharidů se musí hydrolyzovat na jednoduché sacharidy. Pro výrobu etanolu je v Evropě hlavní surovinou pšenice a cukrová řepa. Cukrová řepa má pro výrobu etanolu ve srovnání s pšenicí několik výhod. Hlavní výhodou jsou vyšší výnosy a kratší doba vegetačního růstu. [19][2]



Obrázek 2 – Výrobní postup bioetanolu; a) výroba z jednoduchých sacharidů, b) výroba z poly/oligo sacharidů citace[2]

Pro výrobu kvasného etanolu přicházejí v úvahu následující sacharidy:

- Monosacharidy - glukósa, fruktósa, manósa, galaktósa ( $C_6H_{12}O_6$ )
- Disacharidy, které mohou z větší části kvasinky rozložit na monosacharidy (díky působení svých vlastních enzymů) - sacharósa, maltósa, laktósa, celobiósa ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )
- Trisacharidy, které mohou být působením některých enzymů kvasinek rozštěpeny na jednotlivé monosacharidy, resp. na mono-a di-sacharid. Nejběžnějším trisacharidem je rafinósa ( $C_{18}H_{32}O_{16}$ ).
- Polysacharidy nemohou být přímo lihovarskými kvasinkami zkvašovány, protože nemají k dispozici odpovídající enzymy štěpící tyto substráty na jednoduché, zkvasitelné cukry. [19]

## **Spalování ve vznětových motorech**

Nevýhodou spalování etanolu v konvenčních vznětových motorech je jeho nízké cetanové číslo (8-9), které je podmíněno úpravou jeho kompresního poměru na hodnotu 25+ a předimenzováním dávky přivedeného paliva do spalovacího prostoru kvůli nízké výhřevnosti etanolu. Možnosti spalování etanolu ve vznětovém motoru jsou: [3]

- a) přimíchávání bioetanolu do motorové nafty,
- b) jedno-palivový systém pro E95,
- c) dvou-palivový systém, pro oddělené nádrže nafty a bioetanolu. [9]

## **Přimíchání bioetanolu do motorové nafty**

V případě míšení etanolu s motorovou naftou je nutno brát v potaz problém s mísitelností obou složek. Proto je vhodné použít pro tvorbu homogenní směsi aditivum (např. butanol).[53]

Vhodný poměr míšení, který je laboratorně dokázán, je cca 5 % koncentrace etanolu v motorové naftě. Tento poměr příznivě ovlivní tvoření emisí HC a CO, ale i NO<sub>x</sub> a PM. Pokles emisí uhlíku je dán kyslíkem, který je vázán v etanolu, a tím dochází k lepší oxidaci uhlíku obsaženého v palivové směsi. Pokles emisí dusíku je dán nižší teplotou spalování paliva. Při vyšším poměru etanolu ve směsi dochází nejen k poklesu emisí CO, ale i k horšímu mazání komponentů mazací soustavy jako je vstřikovací čerpadlo a vstřikovače. [3]

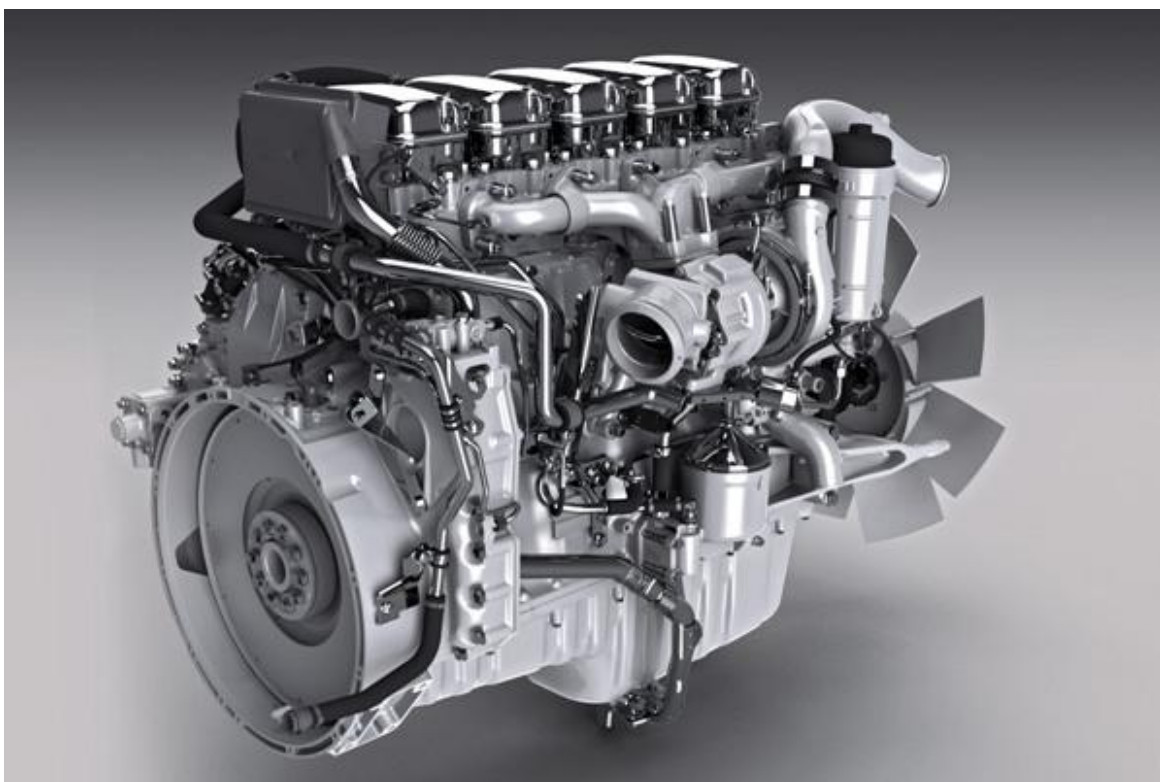
## **Jedno-palivový systém pro E95**

Pro jedno-palivový systém je nutné zvýšení kompresního poměru, zvýšení cetanového čísla a dávky paliva. U dávky paliva se předpokládá výměna vstřikovacích zařízení, protože ne všechna zařízení již instalovaná od výrobce jsou schopna zvýšit velikost dávky na požadovanou hodnotu. Nevýhodou takto upraveného motoru je již neschopnost provozu na klasickou motorovou naftu. [1][3]

## Dvoupalivový systém pro oddělené nádrže nafty a etanolu

Jedná se o systém dvou nádrží s rozdílným palivem, kdy dochází ke smíšení paliva až ve spalovacím prostoru motoru. Jednou z možností je vstřikovač pro každé palivo – 2 vstřikovače celkově. Nebo realizovat smíšení paliva tak, že první vstřikovač bude použit pro naftu a etanol se bude vstřikovat druhým vstřikovačem buď před sací ventil do proudu vzduchu, nebo míšením se vzduchem pomocí difuzoru v karburátoru. Zapálení směsi zajišťuje iniciační dávka motorové nafty. [3]

Kombinace systému common-rail a vstříknutí etanolu do proudu nasávaného vzduchu před sací ventil umožňuje snížit emise dusíku  $\text{NO}_x$  a pevných částic PM o 35-85 %.[9] V současné době tento systém používá firma Scania u motorů DC9 E02 270, používaných v autobusech městské hromadné dopravy ve Švédsku. Tento typ motoru je téměř u poloviny autobusů. Používaný motor je doplněn o nový management palivové soustavy, upravené vstřikovače, vyšší kompresní poměr, jiný tvar spalovacího prostoru v pístu, přeplňování, EGR a oxidační katalyzátor. [29]



Obrázek 3: motor Scania DC9 E02 270

### 3.3. Rostlinné oleje

O možném využití rostlinných olejů jako paliva se začalo plošně uvažovat až ve druhé polovině osmdesátých let 20. století. Do té doby nepředstavovala cena nafty a ekologie dostatečný podnět pro realizaci a výzkum alternativy k motorové naftě. Pouze existovala výjimka už v dvacátých letech 20. století v britských koloniích, kam by se dovážení ropy stávalo neekonomické. Jako zdroj oleje se používal např. palmový, bavlníkový, sojový a olej z podzemnice olejně. [20]

V Evropě slouží jako zdroj oleje nejčastěji rostlina řepka olejná. Z 1 hektaru řepky olejně se získají zhruba 3 tuny olejnatých semen, z nichž se vylisuje přibližně 1100 kg řepkového oleje. V celosvětovém měřítku jsou nejpoužívanější palmový a sojový olej. Každý z této dvojice olejů se podílí zhruba 30 % na celkové produkci rostlinných olejů. [20]

#### Charakteristika paliva

Rostlinné oleje jsou oleje získávané ze semen rostlin bohatých na olej vyznačujících se vyšší viskozitou. Oleje rostlin obsahují různorodou paletu triglyceridů. Podíl triglyceridů může být v závislosti na druhu oleje až 99 % viz Tabulka 2. Jsou to estery především nenasycených mastných vyšších kyselin, jako je např. kyselina olejová, linolová a linoleová. Nejčastěji jsou to kyseliny s 18-ti členným uhlíkatým řetězcem. [6] [20]. [40]

Tabulka 2: Složení rostlinného oleje [7]

Složky RO	Podíl [%]
Triglyceridy	94,4 ÷ 99,1
Fosfolipidy	> 2,5
Volné mastné kyseliny	0,4 ÷ 1,2
Nezmýdelnitelné podíly	0,07 ÷ 0,12
Chlorofyl	0,005 ÷ 0,035
Síry	0,0005 ÷ 0,0020

Poměr kyselin v oleji je klíčový pro fyzikální vlastnosti oleje jako paliva. Důležitým kritériem, které se sleduje, je cetanové číslo, viskozita a oxidační stabilita.

Tabulka 3: Parametry RO a motorové nafty [20]

Parametr	řepkový olej	slunečnicový olej	Nafta
Hustota při 15°C (kg.m <sup>-3</sup> )	915	920	820 - 845
Výhřevnost hmotnostní (MJ.kg <sup>-1</sup> )	36	36,5	42,5
Kinematická viskozita (40°C)	35	34	3
Teplota vzplanutí P-M	246	274	55
Cetanové číslo	38	37	51

#### Kinematická viskozita

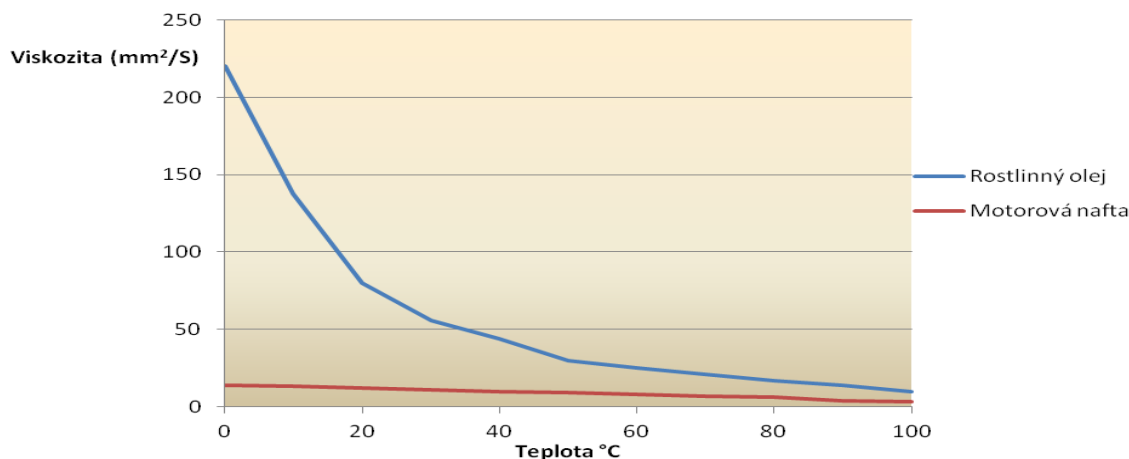
Kinematická viskozita je ukazatelem tření v kapalinách a je přímo závislá na tlaku a teplotě viz Obrázek 4. S rostoucí teplotou kinematická viskozita klesá. Funkce má cca od 30°C téměř lineární charakter. Je důležité se viskozitou přiblížit motorové naftě např. kvůli palivovému čerpadlu a vstřikovačům, které měly problémy s viskózní kapalinou a nedocházelo by k dokonalému vstřiku a dávkování paliva. [7][40]

v ... kinematická viskozita [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>]

$$v = \frac{\eta}{\rho_k}$$

$\rho_k$  - hustota dané tekutiny

S vyšší teplotou vzniká problém s tzv. polymerizací RO, jejíž produkt vede k ucpaní filtrů paliva, vstřikovačů a regulačních členů.



Obrázek 4: Závislost teploty RO na teplotě [40]

Rostlinné oleje se vyznačují cetanovým číslem 38 a nižším. Rozdíl mezi klasickou naftou a RO je více jak 10 jednotek viz Tabulka 3. Norma ČSN 590 udává minimální cetanové číslo u nafty 51. Nízké cetanové číslo způsobuje tvrdý chod motoru v důsledku dlouhé prodlevy vznícení. Dlouhá prodleva vznícení způsobí vypaření větší části paliva a jeho následné vznícení s příliš rychlým nárůstem tlaku ve spalovacím prostoru a tzv. tvrdému chodu motoru a jeho hlučnost. [7] [30]

### Spalování ve vznětovém motoru

Vývoj vznětových motorů byl primárně řešen pro motorovou naftu, a proto přímé použití RO v moderních konvenčních vznětových motorech je možno jen po dobu desítek hodin, než dojde k havarijnímu stavu. Tímto používáním však přijde motor o záruku. Proto je třeba motor pro použití RO upravit. [25].

Používání RO má mnoho výhod jako je dostatečné množství stechiometrického kyslíku, lepší vznětové vlastnosti díky struktuře obsahu kyslíku v oleji a jeho cena. Nevýhodou se stává jeho vysoká viskozita, nízká těkavost a působení nenasycených uhlovodíkových řetězců na vznik usazenin, karbonů a tzv. polymerace motorového oleje (tuhnutí). RO obsahují delší řetězce glyceridů, které způsobují postupné narůstání uhlíkových úsad. Tyto úsady způsobují časté problémy vstřikovačům, na kterých se tvoří vrstvy napečených úsad a není možné, aby docházelo k dokonalému vznícení paliva, což vede ke

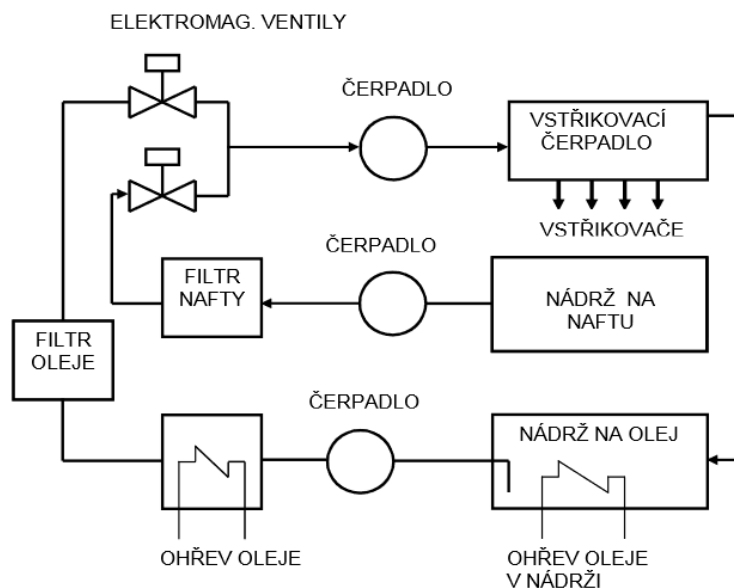
snížení výkonových parametrů motoru, zvýšení emisí a spotřeby paliva. Tento stav může vést k vážnému defektu motoru. Při spalování neupraveného oleje jsou též nutné časté výměny jak palivového filtru, který se častěji ucpává, tak kratší intervaly výměny motorového oleje. Vlivem napečení těsnících a stíracích kroužků pístu může dojít k pronikání paliva do motorového oleje a dochází k jeho rychlejší degradaci. Tento stav se nazývá polymerizace a dochází k částečné nebo úplné ztrátě mazacích schopností oleje viz Obrázek 5. Nutností pro používání RO jsou konstrukční zásahy u běžných vznětových motorů. Je potřeba vyměnit přívod paliva a velikost vstřikovacích trysek. [25]. [40]



Obrázek 5: Polymerace motorového oleje – olejová vana [42]

Nejběžnější konstrukční řešení jak spalovat v neupravených vznětových motorech čistý RO je dvoupalivový systém nafta/RO s předehřevem RO oleje. RO se zahřívá na teplotu 70-80°C kvůli snížení jeho viskozity. Samotný ohřev je realizován tepelným výměníkem na chladícím okruhu motoru. Hlavní výhodou tohoto řešení lze pozorovat při studených startech motoru, kdy RO kvůli své malé viskozitě má problémy se vznícením a vstřikovač s dávkováním paliva. Proto se při startu motoru používá jako palivo motorová nafta. Motorová nafta se používá i před ukončením práce motoru z důvodů pročistění palivové soustavy od RO, který by mohl degradovat a tvořit úsady. Stejný princip dvou nádrží se používá i v Elsbettově duotermickém motoru přímo konstruovaném na RO. [17][40]





**Obrázek 6 : Dvoupalivový systém pro provoz na RO[20]**

### 3.4. Methylester řepkového oleje ( MEŘO)

Jak již bylo popsáno výše, pro chod motoru na RO je potřeba přizpůsobit motor. V případě bionafty je tomu naopak a musí se přizpůsobit parametry paliva tak, aby co nejvíce odpovídala svými vlastnostmi motorové naftě. Vlastnosti jsou[24]

- použití ve vznětových motorech bez konstrukčního zásahu,
- mísitelnost s motorovou naftou,
- stejně výkonové parametry motoru.

Snahou je mít palivo o srovnatelné viskozitě, filtrovatelnosti, stejného cetanového čísla a biologické stability co nejblíže motorové naftě. Jsou možné následující postupy výroby[22; 20]

- Transesterifikace RO,
- Hydrogenace RO,
- Termická/katalytická pyrolýza RO,
- Hydrolytické zmýdelnění RO, následované pyrolýzou s uhlíčanem sodným,
- Hydrolyza RO na mastné kyseliny a poté dekarboxylace vzniklých volných mastných kyselin v přítomnosti katalyzátorů,

V praxi se používají téměř výhradně dva procesy a to transesterifikace mastných kyselin na estery a bezkyslíkatá biopaliva vyrobená procesem hydrogenace (HVO). [22][28]

V české republice se nejčastěji používá jako vstupní surovina řepkový olej, který prochází esterifikací a nazývá se MEŘO. V zahraničí se transesterifikovaný rostlinný či živočišný olej nazývá zkratkou FAME (fatty acid methyl ester).

### Charakteristické vlastnosti MEŘO

MEŘO je bezbarvá, (výjimečně) nažloutlá tekutina bez zápachu s neomezenou mísitelností s motorovou naftou. Neobsahuje těžké kovy, není toxická a v případě úniku nepůsobí devastujícím způsobem na životní prostředí (ekologicky rozložitelná). [18][24]

Nevýhodou MEŘO jsou možná rizika s použitým katalyzátorem (hydroxidem sodným/draselným), který je nebezpečný, žíravý a hygroskopický. Z toho plyne agresivita k použitým konstrukčním materiálům palivové soustavy, která způsobuje např. korodování, degradaci motorového oleje či pryžových dílů. [24]

Tabulka 4 : Vlastnosti metylesterů mastných kyselin [20]

Parametr	Metylestery RO		Motorová nafta
	Řepkový	Slunečnicový	
Hustota při 15°C [kg.m <sup>-3</sup> ]	882	820 - 845	820 - 845
Cetanové číslo	51-60	>51	>51
Výhřevnost [MJ.dm <sup>-3</sup> ]	32,8	36	36
jodové číslo	114	129	
obsah uhlíku [%hm.]	77,2	77,2	86,5
obsah vodíku [%hm.]	12	11,9	13,4
obsah kyslíku [%hm.]	10,8	10,9	0
obsah síry [mg/kg]	<1	<1	<50

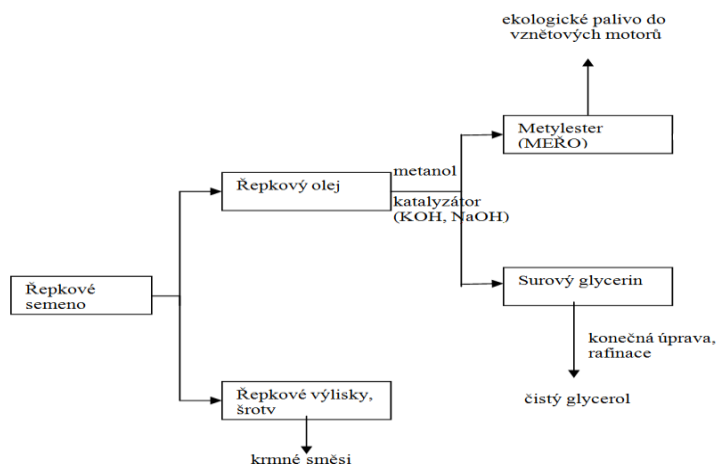
Vlivem esterifikace se sníží kinematická viskozita, která je důležitým kritériem pro čerpatelnost paliva. MEŘO má menší výhřevnost viz Tabulka 4 v řádu procent, která je dána molekulami kyslíku. Obsah kyslíku se může snížit použitím jiného postupu úpravy RO a to hydrogenací na bezkyslíkatá paliva. Nižší výhřevnost se nemusí projevit ve snížení výkonu resp. točivého momentu motoru, ale jen ve vyšší spotřebě pohonných hmot. [18][24]

Slabou stránkou je hodnota cetanového čísla MEŘA viz Tabulka 4 , která má přímý vliv na průběh destilační křivky. Vlivem vysoké teploty počátku destilační křivky je způsobeno smíšení zbytku MEŘA, který je setřen pístitními kroužky do motorového oleje a způsobuje jeho dřívější degradaci. Degradace nastává díky nemožnosti odpařitelnosti, která navíc může způsobit vyšší viskozitu oleje a jeho nižší čerpatelnost, což vede k havarijnímu stavu motoru. Teplota počátku destilační křivky je rozdílná mezi naftou a MEŘO o více než 120 °C. [18][24]

Přítomnost glycerinu má za následek tvorbu úsad při dlouhodobém skladování a zvyšuje viskozitu MEŘA. To vede k defektům na palivové soustavě a častějšímu ucpání palivových filtrů. Může docházet i ke vzniku kyselých kalů kvůli přítomnosti vody, která podporuje růst mikroorganismů. [18][26]

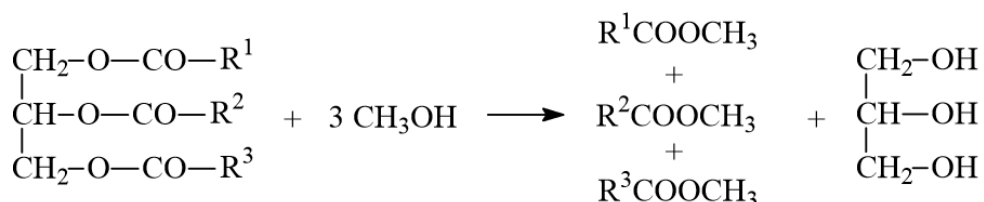
## Výroba MEŘO

Pro výrobu procesem esterifikace jsou vhodné jak všechny rostlinné oleje, tak i živočišné tuky. V Evropě se jako výchozí surovina používá výhradně řepkový olej zastoupený v počtu 80 % k ostatním zdrojů RO. Schématický postup výroby z řepkového oleje viz Obrázek 7 [24]



Obrázek 7: Technologický postup výroby MEŘO [43]

Proces esterifikace se provádí nízkomolekulárním alkoholem za homogenní katalýzy. Vhodným alkoholem pro reakci je metanol. Celý výrobní proces se tak skládá z lisování oleje, filtrování a následné chemické reakce metanolu a stylizátoru na metyl-ester a glycerin viz Obrázek 8. [20] Při reakci vzniká ester a glycerol. Hlavním důvodem použití metanolu jsou příznivé vlastnosti získaného MEŘA/FAME (hustota, viskozita, palivářské vlastnosti).(20)



Obrázek 8 : Esterifikace [20]

### Spalování ve vznětových motorech

Transesterifikace mění viskozitu RO. Příznivě ovlivňuje i mísitelnost s motorovou naftou v daném poměru. Vlivem esterifikace se viskozita esterů mastných kyselin a motorové nafty rovnají a není problém MEŘO použít ve stávajících konvenčních vznětových motorech. [17]

Ve srovnání s čistou motorovou naftou má bionafta několik předností. Hlavní předností je vyšší hmotnostní obsah kyslíku v palivu, než je tomu u motorové nafty. Kyslík podporuje hoření a dokonalé spalování, které snižuje hodnoty CO, HC a PM, ale vyšší teplotou spalování je zřetelný nárůst emisí NO<sub>x</sub>. [24] [18]

Nižší hodnota ohřevu a vyšší hustota bionafty vyžaduje větší dávky paliva na jeden pracovní cyklus, aby bylo dosaženo stejného výkonu na výstupu z motoru, jako při použití motorové nafty. [18]

### 3.5.Směsná motorová nafta

Jedná se o směs metylesteru řepkového oleje a motorové nafty v poměru min. 1: 3,33 (30 %) a nejčastěji se označuje SMN30 či B30. Kvalitativní parametry směsné motorové nafty jsou definovány normou ČSN 65 6508 viz. Tabulka 5. [25]

Smíšení probíhá smícháním motorové nafty definované parametry podle ČSN 590 a metyl-esteru řepkového oleje dle ČSN EN 14 214 + AC. Výrobce paliva, tak i samotná norma udávají rizikové doporučení týkající se užívání paliva. Důležité upozornění je v oblasti dobré biologické odbouratelnosti paliva. Tzn. doporučení k omezení dlouhodobé skladování. [25]

**Tabulka 5: Parametry směsné motorové nafty [31]**

<b>Parametr</b>	<b>SMN 30 (B, D, F)</b>
Hustota při 15°C (kg.m <sup>-3</sup> )	820,0 ÷ 860,0
Cetanové číslo	min. 51
Viskozita při 40°C	2,00-4,50
Bod Vzplanutí °C	min. 55
Destilační zkouška	
- při 250 °C předest. %(V/V)	< 65
- při 350 °C předest. %(V/V)	min. 85
- 95% (V/V) předest. °C	max. 360
Filtrovatelnost (CFPP) °C	0; -10 ; -20
Obsah MEŘO %(V/V)	min. 30%

Vydání z roku 2003 požaduje cetanové číslo minimálně 51, ale jen jako informativní hodnotu. Dále požaduje, aby 95 % objemu předestilovalo při maximální teplotě 360 °C, u třídy F požaduje Cloud Point maximálně 8 °C, obsah polycyklických aromatických uhlovodíků maximálně na 11 %, u druhu SMN 30 zůstává horní mez hustoty maximálně 860 kg/m<sup>3</sup>, maximální obsah vody je snížen na 300 mg/kg, obsah síry je snížen na maximálně 40 mg/kg, číslo kyselosti na maximálně 0,20 mgKOH/g, obsah fosforu a alkalických kovů je limitován hodnotami 2,0 mg/kg. Nejdůležitějšími změnami je zavedení požadavku na mazivost HFRR, stejně jako u motorové nafty tzn. 460 micrometrů a požadavkem na oxidační stabilitu srovnatelnou s motorovou naftou 25 g úsad na m<sup>3</sup>. [4]

## Provoz ve vznětových motorech

Společnost PREOL a.s. Lovosice v roce 2010 provedla dlouhodobé provozní sledování používání B30 k provozu vozidel splňujících EURO 3 – Euro 5 firmy PENAM a Kostecké uzeniny a jeho vliv na kvalitu motorového oleje. Zbytkové palivo, které se nestihlo spálit, mohou pístní kroužky setřít do klikové skříně motoru, kde se může mísit s motorovým olejem a bude docházet vlivem polymerizace ke snížení viskozity a dřívější degradaci motorového oleje a součástí závislých na mazání. [37]

Pokles viskozity je závislý na obsahu esteru v motorovém oleji. Jsou možné tři stavy. Obsah do 1 %, kdy nehrozí riziko, 2-3 % je riziko zvýšené a 4 % a více je doporučená okamžitá výměna oleje. Při tak velké koncentraci je již stav alarmující a nedoporučuje se motor do další výměny provozovat.[37]

Měření v časovém horizontu od ledna 2010 do září 2010 prokázalo, že průnik esteru bioložek do motorového oleje neohrozil mazání motoru, nebylo zaznamenáno korozivní napadení ocelových a barevných kovů (např. ložiska), zanášení olejových filtrů a palivových filtrů bylo přijatelné – funkční a průchodné. Přesto je doporučeno snížit interval výměny o 1/3. [37]

## 3.6.Bioplyn

Činnost spalovacího motoru nemusí být spjata pouze s kapalnými palivy, ale též i plynými palivy. V rámci obnovitelných zdrojů je nazývají jako bioplyny. Plyné palivo má příznivý charakter rozprášení paliva ve spalovacím prostoru a v porovnání s motorovou naftou, která obsahuje těžké frakce, se daleko lépe rozpráší, prohoří a dochází tím k poklesu emisí výfukových plynů. To je obzvláště vhodné v zastavěných městských aglomeracích, kde koncentrace emisí už tak v zatíženém prostředí individuální dopravou je velká. Těchto poznatků využívá např. Švédské království, kde spotřeba bioplynu převyšuje spotřebu CNG (Compressed Natural Gas). Vlastnosti čištěného bioplynu jsou stejné, jako vlastnosti CNG. Velké uplatnění by bioplyn našel i jako palivo pro traktory vzhledem k podobajícím se charakteristikám motorů již používaným v autobusech, ale prozatím zatím žádný výrobce nemá v portfoliu traktor s možností použití paliva CNG či bioplynu. Problémem je umístění tlakových nádrží. [32] [38]

## Charakteristika bioplynu

Princip vzniku bioplynu je stejný jako u jiných zemních plynů (důlní plyn, zemní plyn, skládkový, kalový, atd.), ale jeho fyzikální a chemické vlastnosti se liší v závislosti na materiálových a procesních parametrech. Ideální případ by byl bioplyn složený jen z metanu CH<sub>4</sub> a oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>. V praxi je však plyn tvořen dalšími minoritními plyny, které mohou signalizovat např. pochybení při postupu v průběhu anaerobní fermentace. Nejčastější koncentrace majoritních plynů je 50÷75 % metanu a v ideálním případě jej doplní 25÷50 % oxidu uhličitého a minoritních plynů jako dusík, sulfan a vodík v řádu jednotkách procent viz Tabulka 6. Bioplyn a jeho výhřevnost je závislá na obsahu metanu. Čištěním bioplynu se může dosáhnout vyššího obsahu metanu v plynu, ale je zapotřebí více kapacitních tlakových nádob, které kompenzují malou energetickou hustotu. Ideální čistota bioplynu se rovná vlastnostem CNG, ale těmito úpravami se přijde až o 5 % energie obsažené v palivu, která se spotřebuje jeho dodatečným čištěním. Zajímavé je srovnání z energetického hlediska CNG/bioplynu a nafty. 1kg CNG/bioplynu má výhřevnost 49,12MJ/kg, což v porovnání s motorovou naftou = 42,5 MJ/kg je o téměř 7 Mj/kg více. [7][38]

Tabulka 6: Složky bioplynu

Parametr	Metan CH <sub>4</sub>	Oxid uhličitý CO <sub>2</sub>	Vodík H <sub>2</sub>	Sulfan H <sub>2</sub> S	Bioplyn 60 % CH <sub>4</sub> 40 % CO <sub>2</sub>
Objemový podíl (%)	55 ÷ 70	27,47	1	3	100
Výhřevnost (MJ/m <sup>3</sup> )	35,8	/	10,8	22,8	21,5
Hranice zápalnosti (obj. %)	5 ÷ 15	/	4 ÷ 80	4 ÷ 45	6 ÷ 12
Teplota vznícení °C	650 ÷ 750	/	585	/	650 ÷ 750
Hustota (Kg/m <sup>3</sup> )	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

## Výroba bioplynu

Proces vzniku bioplynu se nazývá anaerobní fermentace. Jedná se o fermentaci organických látek, tedy o jejich rozklad za absence vzduchu. Výsledný plyn je směsí metanu, oxidu uhličitého a 1÷3 % minoritních plynů. Využití plynu takového složení má však malou výhřevnost a pro využití ve spalovacích motorech určených k dopravě se musí čistit, aby odpovídal kvalitě/parametry CNG. [46]

Pro výrobu v zemědělství se používá převážně kejda, siláž, senáž, pokrutiny z výroby řepkového oleje, cukry. Z jednoho prasete (70 kg) lze za den průměrně získat až 0,2m<sup>3</sup> bioplynu. [7]

Proces lze rozdělit do čtyř základních fází:

1. **Hydrolyza** - Změna polymerů (polysacharidy, proteiny, lipidy) na jednodušší látky (monomery) hydrolytickými organizmy, které ještě nevyžadují striktně bezkyslíkaté prostředí.
2. **Acidogeneze** - V této fázi dochází k vytvoření anaerobního prostředí. Vzniklý CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> a CH<sub>3</sub>COOH podněcuje u metanogenních bakterií tvorbu metanu.
3. **Autogeneze** - Kmeny acidogenních bakterií přemění vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou (CH<sub>3</sub>CCOOH), H<sub>2</sub> a oxid uhličitý
4. **Melanogeneze** - Dochází působením autotrofních bakterií k rozkladu kyseliny octové CH<sub>3</sub>COOH na metan CH<sub>4</sub> a oxid uhličitý CO<sub>2</sub>, nebo v případě hydrogenických bakterií produkci CH<sub>4</sub> z vodíku H<sub>2</sub> a oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>[46]

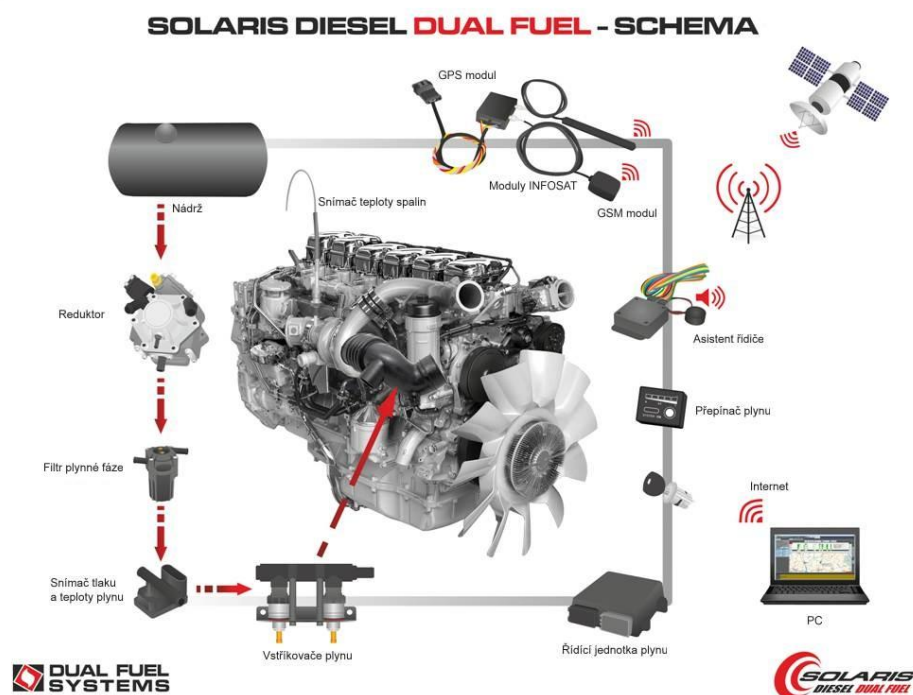
## Spalování ve vznětových motorech

Spalování plyných paliv ve vznětových motorech je velmi problematické z několika důvodů, které vycházejí z výrazně odlišných fyzikálně – chemických vlastností motorové nafty, pro kterou jsou konstruovány. Jedná se především o vysokou teplotu vznícení a prakticky nulové cetanové číslo, které neumožňuje vznícení směsi během komprese jako u běžných vznětových motorů. Dále je to nízká rychlost hoření, hustota nebo ideální množství vzduchu pro dokonalé spalování. [7]

Proto se využívá u vznětového motoru tzv. dvoupalivový systém, který je obdobný jako u spalování etanolu. [26][38]



Do spalovacího prostoru se vstřikuje inicializační dávka motorové nafty pro vznícení a sacím potrubím je přivedena směs bioplynu se vzduchem. Lze se setkat i s injektáží bioplynu rovnou do spalovacího prostoru. Motory pro provoz na zemní plyn a bioplyn mají jinou palivovou soustavu, modifikované hlavy válců, písty, tvar spalovacího prostoru aj. Tento druh bivalentního motoru nabízí například firma Steyr, která uvádí ve svých katalogových listech úsporu nákladů 40 % v porovnání s motorovou naftou a emise  $\text{NO}_x$  nižší o 17 %.[7](38)

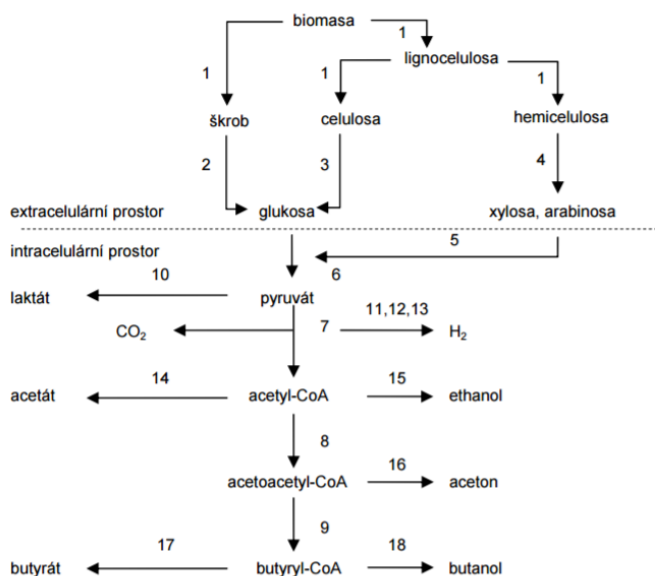


Obrázek 9: Bivalentní přestavba vznětového motoru od firmy solaris; zdroj: <http://www.diesel-gas.cz/>

### 3.7. Butanol

Nejnámější a nejčastěji aplikovanou metodou pro výrobu butanolu je tzv. aceton-butanolové kvašení. Ke kvašení se používají rody bakterií Clostridium (Clostridium acetobutylicum, Clostridium beijerinckii, Clostridium saccharobutylicum), které v první ze dvou fází vytvoří kyselinu máselnou a octovou. Další fází je tvorba acetonu, butanolu a malého množství etanolu. Ovšem aby výtěžnost butanolu (n- butanolu, iso- butanolu) byla co nejvyšší je třeba upravit genom bakteriového kmene daného kultivačního média. V případě n-butanolu a iso-butanolu je třeba využít pokaždé jiného kmene, protože jeden kmen umí vytvořit n-butanol či iso-butanol. [33] [36]

K výrobě jsou nutné stejně jako u výroby etanolu sacharidy/cukry. Proto se nejvíce vhodnou surovinou pro výrobu jeví taková plodina, která má jejich vysoké zastoupení. V naší republice jsou to zejména brambory (plodiny s vysokým obsahem škrobů), obiloviny a kukuřice. V pohledu celosvětovém se jako ideální surovina jeví třeba rýže či různé druhy mořských řas, které nechají volnou ornou půdu pro potřeby konzumních plodin. [34] [36]



**Obrázek 10 : Zjednodušená konverze rostlinné biomasy na rozpouštědla u bakterií rodu Clostridium;**

1. předúprava zrna / lignocelulosa; 2. hydrolýza škrobu ( $\alpha$ -amylasa,  $\beta$ -amylasa, pullulanasa, glukoamylasa,  $\alpha$ -glukosidasa); 3. hydrolýza celulosy (celulasa,  $\beta$ -glukosidasa); 4. hydrolýza hemicelulosy; 5. absorpce xylosy/arabinosy a následná transformace transketolasovou-transaldolasovou sekvencí na fruktosa 6-fosfát a glyceraldehyd 3-fosfát postupnou metabolizací Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) drahou; 6. přenos glukosy fosfotransferasovým systémem a konverze na pyruvát EMP drahou; 7. pyruvát-ferredoxin oxidoreduktasa; 8. thiolasa; 9. 3-hydroxybutyl-CoA dehydrogenasa, krotonasa a butyryl-CoA dehydrogenasa; 18. butyraldehyd dehydrogenasa, butanol dehydrogenasa, [34]

### Bod vzplanutí

U motorové nafty činí hodnota min. 55°C podle ČSN EN 590. Při smíšení s butanolem dochází k poklesu teploty vzplanutí pod tento bod v závislosti na velikosti poměru složek. Už při koncentraci 2,5obj.% dochází k poklesu pod stanovenou mez podle normy. Při koncentraci > 25obj.% je již bod vzplanutí roven bodu vzplanutí čistého butanolu. Z pohledu funkčnosti chodu motoru však tento pokles nemá dramatický vliv na jeho funkci. [14]

## Mazivost

Vstřikovací čerpadla a vstřikovače vznětových motorů počítají se samomaznou vlastností motorové nafty. Norma stanovuje minimální mazivost jako průměr otěrové plochy, která vznikne třením kuličky o kovový povrch. Průměr dovolené plochy činí 460 nm. Ve směsi do 25 % obj. splňuje normu. Mazivost se však dá upravit na parametry motorové nafty přidáním vhodného aditiva. [35]

## Hustota

Přidáním butanolu do max. podílu 30 % obj. je stále splněna podmínka normy  $820 \text{ kg m}^{-3}$  při  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ovšem s hustotou souvisí pokles výkonu motoru. Vstřikovací čerpadlo dává palivo o stejném objemu, ale o menší výhřevnosti. Tudíž dochází k poklesu výkonu motoru cca o 0,4 – 1,6 % [35]

## Cetanové číslo

Cetanové číslo má samotný butanol nižší než motorová nafta a již při 5 % obj. ve směsi dochází ke snížení hodnoty cetanového čísla pod stanovou mez normy. Snížení cetanového čísla se může projevit tvrdým chodem motoru a zvýšenou koncentrací emisí v důsledku neprohoření celé vstřikované dávky paliva. Zvýšené emise se převážně vytvářejí při studených startech, kdy nemá spalovací prostor ideální teplotu pro jeho celé prohoření. [14]

Hodnota malého cetanového čísla se dá zvýšit přidáním dinitropropanu či jiného vhodného aditiva. [35]

Uvažovat o butanolu jako o vhodné alternativě k fosilním palivům se dá stejně jako u již zmíněného etanolu. Butanol se nehodí k použití jako samostatné palivo, ale je vhodné k míšení s motorovou naftou. V porovnání se zmiňovaným etanolem je však dobrá mísitelnost a homogenita směsi (jejích složek) při nízkých teplotách. Vhodný způsob spalování ve vznětovém motoru je smíchání butanolu a motorové nafty v poměru 3:7, oddělené vstřikování paliv s přímým vstřikem paliva, nebo vstřikování butanolu do proudu nasávané vzduchu před sací ventil. [35] [13]

Tabulka 7:Vlastnosti butanolu [14]

Parametr	Isobutanol	n-butanol
Obsah kyslíku	21,62	21,62
Hustota (Kg/m <sup>3</sup> )	0,802	0,802
Výhřevnost (MJ/m <sup>3</sup> )	33,17	33,21
cetanové číslo	<15	15-25
Teplota vznícení °C	390	340
viskozita	2,62	2,63
Teplota varu °C	108	118

#### 4. Emise oxidů dusíku

Oxidy dusíku tvoří NO – oxid dusnatý, N<sub>2</sub>O – oxid dusný a NO<sub>2</sub> – oxid dusičitý. Oxidy dusíku vznikají při vysokých teplotách spalování (nutná velká aktivační energie pro zahájení reakcí), vysokých tlacích ve spalovacím prostoru a jejich tvorba je tedy závislá na bohatosti směsi a koncentraci kyslíku. Množství oxidů dusíku u vznětových motorů se zvyšuje s rostoucím součinitelem přebytku vzduchu. Svého maxima pak dosahuje při hodnotách 1,6 – 1,8. Tato hranice odpovídá i největší bohatosti směsi u vznětových motorů. Při vzniku NO<sub>x</sub> tak v tomto režimu práce převládá vliv velikosti teploty ve spalovacím prostoru nad koncentrací kyslíku. V literatuře se uvádí tvorba NO jako termická v oblasti plamene s nízkým obsahem kyslíku při teplotách od 1300 °C, kdy dochází k disociaci dusíku. Ve spalovacím motoru je to až od 1900 °C. Kromě toho vzniká rychlý NO z HC a vzdušného kyslíku při teplotách 920-1320 °C. Největší zastoupení má oxid dusnatý z 95 %, který je také toxický. Při ochlazení pod 650 °C, např. ve výfuku, dochází k jeho oxidaci na NO<sub>2</sub>. [7] Pro tvorbu oxidů dusíku je charakteristické, že svého maxima dosahuje v režimu motoru, kde pracuje s největší účinností a koncentrace ostatních emisí je velmi nízká, především HC a CO.[9]

Oxid dusičitý společně s kyslíkem a těkavými látkami přispívá k takzvanému přízemnímu ozonu a vzniku fotochemického smogu. Tento jev se děje především v městských a průmyslových aglomeracích. [54]

Emise  $\text{NO}_x$  jsou přímo spjaté s použitým palivem. Dalším parametrem ovlivňujícím tvorbu  $\text{NO}_x$  je tvar spalovací komory a materiál, z které je tvořena. Pro maximální energetickou účinnost motoru jsou důležité vysoké teploty a tlaky. Tyto procesy však vedou ke zvýšené tvorbě  $\text{NO}_x$ , které jsou velmi citlivé na teplotu. Výsledné  $\text{NO}_x$  jsou tvořené především z oxidu dusnatého (NO) a malého množství oxidu dusičitého ( $\text{NO}_2$ ). Tato skutečnost se však může eliminovat opatřením za motorem. Tzn. redukcí emisí za spalovacím prostorem ve výfukovém vedení. [9]

Emise  $\text{NO}_x$  jsou vytvářeny třemi základními mechanismy:

- a)  $\text{NO}_x$  vzniklé oxidací dusíku vázaného v palivu,
- b) rychlé  $\text{NO}_x$  – reakce dusíku a kyslíku v nasátém vzduchu (78 % dusíku a 21 % kyslíku),
- c)  $\text{NO}_x$  vzniklé v průběhu spalování –  $\text{NO}_x$  vytvořen v pozdějších fázích spalování za vysokých teplot.[54]

Literatura uvádí tři možné způsoby snižování emisí  $\text{NO}_x$ :

- a) opatření před motorem,
- b) opatření v motoru (při spalování),
- c) opatření za motorem.

### **Opatření před motorem**

Potlačení mechanismu tvorby  $\text{NO}_x$  řízením parametrů vstupního média – palivo a oxidační činidlo (okysličovadlo). Ideální je vyhnout se palivu s vyšším obsahem dusíků, než je průměrná hodnota. Ideální by bylo použití jiného oxidačního činidla než atmosférického vzduchu a použít čistý kyslík. To by ale bylo velmi nerentabilní v porovnání s ostatními mechanismy omezujícími vznik  $\text{NO}_x$ . [11]

### **Opatření v motoru (při spalování)**

Jde o optimální řízení spalovacích parametrů – teplota, tlak, stechiometrický poměr. Nejznámější konstrukční řešení ke snížení teploty spalování je systém s EGR ventilem. EGR ventil umožní částečnou recirkulaci spalin a jejich nasátí s čerstvým vzduchem do spalovacího prostoru. Recirkulace spalin má za následek snížení maximální teploty, při které je nevyšší tvorba NO<sub>x</sub>. [11]

### **Opatření za motorem**

Opatření za motorem se soustředí na již vzniklé NO<sub>x</sub> a jejich eliminaci – tzn. rozkladem na benigní chemické látky. Jde o tzv. selektivní redukci. Selektivní redukce má dvě možná provedení: [11]

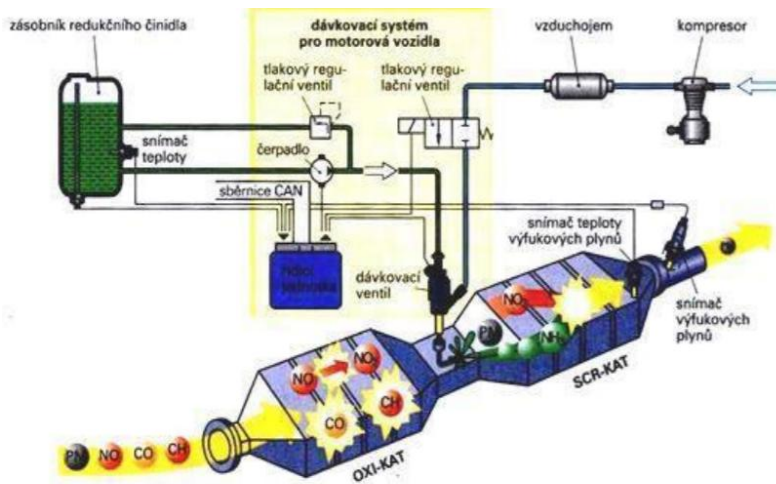
- a) selektivní katalytická redukce - selective catalytic reduction (SCR)
- b) selektivní nekatalycká redukce - selective non-catalytic reduction (SNCR)

### **Selektivní katalytická redukce**

SCR systém využívá chemické reakce čpavku a oxidů dusíku. Čpavek je vstřikován do proudu spalin před katalyzátor za filtrem pevných částic viz Obrázek 11. Čpavek se vstřikuje ve formě AdBlue (33% čpavek, 67% H<sub>2</sub>O). S vyšší teplotou spalin roste i účinnost eliminace NO<sub>x</sub>. Vyšší teplota je z důvodu co nejdokonalejšího odpaření Adblue a jeho přeměně na H<sub>2</sub>O a čpavek, který reaguje s NO<sub>x</sub>. Po reakci zůstává přeměněný N a vodní páry H<sub>2</sub>O. Ovšem účinnost nabývá SCR v rozmezí teplot 150 – 600 °C, kdy může dojít k poklesu až 80 % NO<sub>x</sub>. [34]

$2 \text{NH}_3 + \text{NO} + \text{NO}_2 \rightarrow 2 \text{N}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$  reakce amoniaku s oxidy dusíku [11]

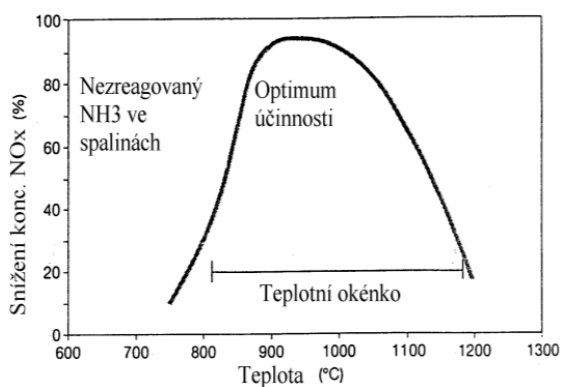
Rozmezí teploty maximální účinnosti SCR je podmíněno použitým druhem katalyzátoru. Rozdíl pracovních teplot je především patrný při použití katalyzátoru na bázi aktivních uhlíkových materiálů a na bázi kovových aktivních složek.



Obrázek 11: Schéma funkce SCR katalyzátoru s oxidačním činidlem; zdroj : <http://is.muni.cz/>

### Selektivní nekatalická redukce

Princip obdobný jako u SCR, ale bez katalyzátoru a při vyšších provozních teplotách pracujících v rozmezí 900 – 1150 °C. Provozní teplota určuje, že není třeba ochlazování spalin, jako se musí provádět u systému SCR. Výhodou oproti systému SCR je šetření nákladů, má ale nižší účinnost danou užším pásmem teplot spalin viz Obrázek 12. Při nedodržení optimálního pásma teploty uniká spolu s proudem spalin nespálený amoniak do ovzduší. Levá část grafu je mimo optimální účinnost a je charakteristická právě nespáleným amoniakem. [44]



Obrázek 12: Účinnost SNCR na teplotě spalin [44]

## 4. Cíl práce

Cílem této práce je zjistit vliv biopaliv (MEŘO, řepkový olej, butanol a HVO) v motorové naftě na velikost tvorby  $\text{NO}_x$  ve spalínách vznětového motoru. Na základě těchto výsledků následně porovnat naměřené hodnoty s hodnotami vzorku 5% MEŘA a 95% motorové nafty. Data pro čistou motorovou naftu nebylo s ohledem na časové podmínky možno získat. Ostatní data byla získána měřením dle tzv. NRCS 8 bodového testu viz Obrázek 14, která jsem získal od doc. Ing. Martina Pexi, Ph.D.

Cíle experimentu lze rozdělit do tří částí:

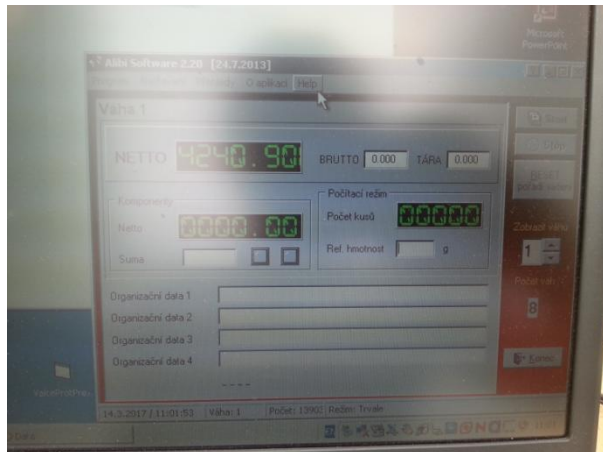
- **Naměření hodnot při parametrech NRCS testu**
- **Přepočítání hodnot emisí  $\text{NO}_x$  z jednotek ppm na g/kWh**
- **Posouzení vlivu biosložek na produkci  $\text{NO}_x$**



## 5. Metodika

Metodika měření byla provedena na školním traktoru Zetor Frontera 8641, 60 kW. Vzhledem k velikosti traktoru není vhodné použití válcové zkušebny a tak se použilo hydraulického dynamometru připojeného na vývodový hřídel traktoru. Nad vývod výfukového potrubí bylo nutné umístit odsávání spalin, jelikož celý cyklus se vyznačuje různým spektrem otáček, časovou náročností a proměnlivým zatížením. Nežli samotný test mohl začít, bylo nutné motor resp. motorový olej zahřát na provozní teplotu blízko 100°C. Přibližně po 40 minutách chodu traktorového motoru na volnoběžné otáčky se mohlo začít s měřením.

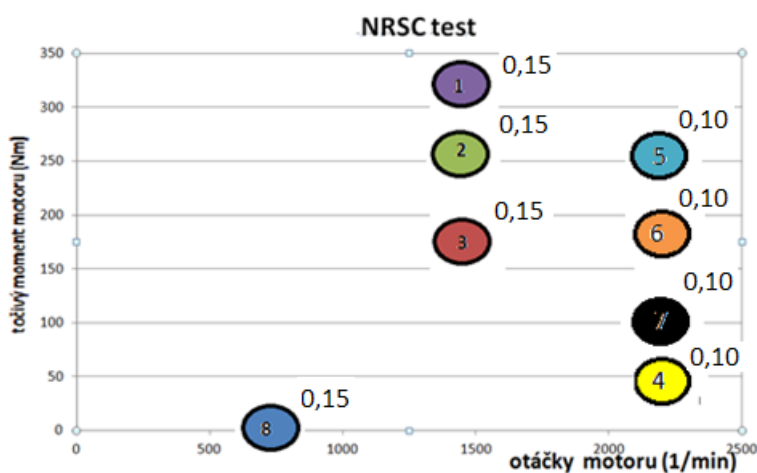
Prvně se přes odměrný válec naplnila nádrž umístěná na digitální váze, která propojena s PC viz. Obrázek 13, aby bylo možné měřit spotřebu paliva. Sonda pro snímání emisí byla vkládána zvlášť pro každé měření s rozdílnými otáčkami a zatížením na dynamometru. Měřicí analyzátor emisí je znám pod obchodním označením BraiBee a je v majetku univerzity.



Obrázek 13- Váhové měření paliva

## 5.1. Naměření hodnot NRCS testu

Pro posouzení technického stavu motoru nesilničních vozidel (traktorů, lesnických strojů atd.) je používán test z řady osmi režimů otáček a točivého momentu splňující platné předpisy vycházející ze směrnice 97/68/ES a na ní navazujících směrnic 2004/26/ES, 2000/25/ES a 2005/13/ES viz . Každý režim se snaží co nejvíce přiblížit provozním stavům traktorového motoru. Celý postup a ucelený obsah měřených režimů je popsán v normě ISO 8178.



Obrázek 14 - NRSC Test - 8 měřených bodů ( s váhovými faktory)

Každý z osmi režimů je uveden spolu s jejich váhovými faktory viz . Určení jednotlivých parametrů se provede podle následujících definic:

Jmenovité otáčky :

- max. otáčky klikového hřídele dovolené regulátorem při plném zatížení motoru dle údajů výrobce

Mezilehlé otáčky musí splňovat alespoň jednu z následujících podmínek :

- Pro motory, které pracují (jsou konstrukčně řešeny) pro provoz v rozsahu otáček na křivce točivého momentu při plném zatížení, jsou deklarované mezilehlými otáčkami otáčky při při maximálním točivém momentu a tyto otáčky jsou v intervalu od 60% – 70 % jmenovitých otáček

- Otáčky při maximálním točivém momentu nepřesahují hranici 60% jmenovitých otáček, tak mezilehlé otáčky mají hodnotu 60% jmenovitých otáček
- Otáčky při maximálním točivém momentu nepřesahují hranici 7% jmenovitých otáček, mezilehlé otáčky tak mají hodnotu 75% jmenovitých otáček.

Hodnoty NO<sub>x</sub> při volnoběžných otáčkách nejsou relevantní. Jelikož odebíraný výkon při volnoběhu je téměř rovný nule, hodnoty NO<sub>x</sub> jsou zkrácené a nebudou zahrnuty do vyhodnocení experimentu.

Číslo režimu	Otáčky motoru	Zatížení [%]	Váhový faktor
1	jmenovité	100	0,15
2	jmenovité	75	0,15
3	jmenovité	50	0,15
4	jmenovité	10	0,10
5	mezilehlé	100	0,10
6	mezilehlé	75	0,10
7	mezilehlé	50	0,10
8	volnoběžné	–	0,15

Obrázek 15 : NRSC test - váhové faktory

## Použité přístroje při měření

Přístroje použité při měření jsou vesměs majetkem univerzity, od měřících přístrojů a až po měřený traktor.

## Měřené vozidlo

Měření bylo provedeno na traktoru značky Zetor Fronterra 8641. Rok výroby 2006. Vozidlo je vybaveno čtyřválcovým vznětovým motorem s označením výrobce 1204. Motor je s přímým vstřikováním paliva a je přeplňovaný turbodmychadlem. Výkon 60 kW při 2200 ot/min s max. točivým momentem 351N.m. Měření proběhlo v laboratořích technické fakulty na ČZU. Jedná se o vozidlo, které je běžně k vidění na českých polích či v lesích. Vozidlo splňuje emisní limity pro normu EUROII.



TECHNICKÁ DATA MOTORŮ TRAKTORŮ Z 8641, Z 9641, Z 10641, Z 11441					
Typ traktoru		Z 8641	Z 9641	Z 106 41	Z 114 41
Typ motoru		1204	1004	1304	1404
Druh motoru		vznětový, čtyřdobý s přímým vstřikem paliva, přeplňovaný turbodmychadlem			
Provedení motoru		řadový, stojatý, chlazený vodou			
Počet válců		4	4	4	4
Obsah válců	cm <sup>3</sup>	4156	4156	4156	4156
Vrtání x zdvih	mm	105x120	105x120	105x120	105x120
Jmenovité otáčky	ot/min <sup>-1</sup>	2200	2200	2200	2200
Pořadí vstřiku		1-3-4-2	1-3-4-2	1-3-4-2	1-3-4-2
Kompresní poměr		17	17	17	17
Max. přeběhové otáčky	ot/min <sup>-1</sup>	2460	2460	2460	2460
Volnoběžné otáčky	ot/min <sup>-1</sup>	750±25	750±25	750±25	750±25
Čistý výkon při jmenovitých otáčkách měř. podle ISO 2288	kw	60	66	74	81
Specifická spotřeba paliva při uvedeném výkonu	g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>	253	254	252	257
Max. točivý moment (Mt)	Nm	351	391	440	480
Převýšení Mt	%	35	36	37	36
Mazání motoru		tlakové s čerpadlem Gerotor			
Maximální spotřeba oleje po 100 Mh záběhu motoru	g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>	0,7	0,7	0,7	0,7
Tlak oleje při jmenovitých otáčkách motoru a teplotě oleje 80°C	MPa	0,2 - 0,5	0,2 - 0,5	0,2 - 0,5	0,2 - 0,5
Minimální tlak oleje při otáčkách 750 ot/min <sup>-1</sup> motoru a teplotě oleje 80°C	MPa	0,05	0,05	0,05	0,05
Max.teplota chladicí kapaliny	°C	106			

Obrázek 16 - <http://www.agportal.cz>

## Hydraulický dynamometr

Použitým dynamometrem byl zapůjčený hydraulický dynamometr AW NEB 400 z Výzkumného ústavu zemědělské techniky při ČVUT, který se připojil na zadní vývodový hřídel traktoru. Základní parametry použitého dynamometru jsou:

Popis	Hodnota	Jednotky
maximální točivý moment	2850	Nm
rozsah otáček na vývodovém hřídeli	0-3 200	min <sup>-1</sup>
brzdové bubny	2	ks
chyba měření	2	%
max výkon motoru při otáčkách na vývodovém hřídeli:		
1000 min <sup>-1</sup>	298	kW
540 min <sup>-1</sup>	172	kW

Mobilní hydraulický dynamometr AW NEB 400 je zařízení, kterým se používá k měření výkonů traktorových motorů na vývodovém hřídeli a to až do výkonu 298 kW. Ovládání je realizováno pomocí řídicího software na malém přenosném počítači. Základní součástí dynamometru je brzdový buben, ke kterému je přitlačováno brzdové obložení, čímž je vyvozen potřebný brzdový moment a ten je přenášen na tenzometrický snímač pomocí pohyblivého řemene. Tlak hydraulického oleje potřebný pro přitlačování brzdového obložení k bubnu ovládá elektronicky řízený ventil.



Obrázek 17- [www.agrojournal.cz](http://www.agrojournal.cz)

## Průtokoměr paliva

Pro zjištění spotřeby paliva bylo použito dvou průtokoměrů značky FLOWMETER M2ASP-1R. Měří se hodnota množství paliva dodávaného do motoru a druhý průtokoměr měří palivo vracející se zpět do nádrže z přepadu.

Tabulka 8- Tech. parametry průtokoměru paliva

Popis	Hodnota	Jednotky
Maximální průtok	500	l/H
Rozlišení	400	pulsů/l
Chyba měření	2	%

## Analyzátor spalin BrainBEE

Byl použit pro měření emisních skupin ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_2$ , kouřivost). Přesnost analyzátoru spalin je v Tabulka 9. Sada analyzátorů je složena z přístroje AGS – 200 a OPA 100. OPA-100 je opacitometr a slouží k měření kouřivosti. AGS-200 je analyzátor ostatních složek emisí výfukových plynů.



Tabulka 9 - Tech. parametry BrainBEE

Složka	Rozlišení	Přesnost
CO	0,01 % vol	0,03 % obj nebo 5% ČH
CO <sub>2</sub>	0,1 % vol	0,5 % obj nebo 5 % ČH
HC	1 ppm vol	10 ppm obj nebo 5 % ČH
O <sub>2</sub>	0,01 % vol	0,1 % obj nebo 5 % ČH
NO	1 ppm	
Opacita	0,1%	
Teplota	1°C - 2,5 °C (ČH - čtená hodnota)	

Naměřené hodnoty NO pomocí analyzátoru v jednotkách ppm:

Tabulka 10 - Měřené body NRSC testu - 5% MEŘO

5 % MEŘO					
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)
0	725	0,00	0,00	1,2	347
37	2195,5	69,40	21,55	7,1	158
38	2202	402,90	125,09	12,4	402
39	2199	590,60	183,36	14,6	560
40	2199	770,10	239,09	18,5	670
41	1439,6	536,00	166,41	8	971
42	1440,2	822,60	255,39	11,3	1240
43	1440,2	1038,50	322,42	14,4	1272

Tabulka 11- Měřené body NRSC testu - 20% MEŘO

20% MEŘO					
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)
0	726	0,00	0,00	1,2	327
40	2197,8	81,30	25,24	7,1	179
41	2200,2	402,90	125,09	12,4	399
42	2196,7	605,50	187,99	14,6	641
43	2197,8	798,30	247,85	18,5	798
44	1468,6	568,70	176,57	8	1078
45	1470,3	846,10	262,69	11,3	1296
46	1470,3	1058,30	328,57	14,4	1334

Tabulka 12 - Měřené body NRSC testu - 5% řepkového oleje

5% řepkového oleje					
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)
0	724,0	0,00	0,00	1,1	323
1	2196,7	87,8	24,8	7,7	168
2	2196,0	423,1	119,4	12,3	398
3	2196,7	632,8	178,6	15,5	598
4	2200,2	837,1	236,3	18,8	770
5	1479,2	577,8	163,1	8,3	1021
6	1482,7	869,4	245,4	11,9	1293
7	1484,5	1129,7	318,9	15,1	1334

Tabulka 13 - Měřené body NRSC testu - 20% řepkového oleje

20% řepkového oleje					
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)
0	717	0,00	0,00	1,1	358
1	2194,3	85,1	24,0	7,7	178
2	2196,7	412,4	116,4	12,1	417
3	2203,7	616,5	174,0	15,0	640
4	2201,4	826,5	233,3	19,0	822
5	1481,0	575,3	162,4	8,2	1059
6	1481,0	863,6	243,7	11,5	1330
7	1481,0	1113,5	314,3	15,0	1353



Tabulka 14 - Měřené body NRSC testu - 30% HVO

30% HVO					
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)
0	715	0,00	0,00	0,99	225
8	1472,1	535,6	151,2	6,57	918
9	1476,2	794,6	224,3	8,91	1199
11	1476,0	994,4	280,7	12,06	1268
1	2195,6	79,4	22,4	6,69	134
3	2198,8	409,2	115,5	11,12	368
4	2199,4	570,3	161,0	13,37	516
5	2202,2	729,1	205,8	15,98	611

Tabulka 15 - Měřené body NRSC testu -10% butanolu

10% BUTANOLU					
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)
0	726	0,0	0,00	1,2	259
3	1515,0	472,2	133,3	8,1	782
4	1514,2	724,7	204,5	10,8	1074
5	1518,1	934,1	263,6	13,3	1145
6	2196,1	68,2	19,3	8,1	124
8	2196,5	328,1	92,6	11,3	267
9	2197,3	494,0	139,4	13,7	433
10	2201,6	688,7	194,4	16,9	555

Jednotky ppm jsou základní výstup z analyzátoru BrainBee. Pro určení NRSC testu je však podstatné určit si jednotky g/kWh, které se vypočítají ze vztahu v další kapitole.

## 5.2.Přepočet NO

V jednotkách g/kWh se běžně udává množství emisí motoru. Aby bylo možné adekvátně porovnat naměřené hodnoty a použít je v NRSC testu je nutné jednotky přepočítat.

Výpočet pro specifické NO<sub>x</sub> v g/kWh:

Kde:

Rovnice 1 - Přepočítání emisí NO na g/kWh

$$SE = \frac{\sum_{i=1}^8 (HE_i \cdot VF_i)}{\sum_{i=1}^8 (P_i \cdot VF_i)}$$

$SE$  – specifické emise dané složky [g/kWh]  
 $HE_i$  – hmotnostní průtok složky v režimu  $i$  [g/h]  
 $VF_i$  – váhový faktor režimu  $i$  [-]  
 $P_i$  – výkon motoru v režimu  $i$  [kW]

Přepočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce níže:

Tabulka 16 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 5% MEŘO

5 MEŘO						
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)	mNO (g/kWh)
0	725	0	0	1,2	347	-
37	2195,5	69,4	21,5	7,1	158	21,0
38	2202	402,9	125,1	12,4	402	10,9
39	2199	590,6	183,4	14,6	560	11,3
40	2199	770,1	239,1	18,5	670	10,5
41	1439,6	536	166,4	8	971	15,0
42	1440,2	822,6	255,4	11,3	1240	13,6
43	1440,2	1038,5	322,4	14,4	1272	12,2

Tabulka 17 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 20% MEŘO

20% MEŘO						
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)	mNO (g/kWh)
0	726	0	0	1,2	327	-
40	2197,8	81,3	25,24	7,1	179	20,0
41	2200,2	402,9	125,09	12,4	399	10,5
42	2196,7	605,5	187,99	14,6	641	12,4
43	2197,8	798,3	247,85	18,5	798	12,8
44	1468,6	568,7	176,57	8	1078	15,5
45	1470,3	846,1	262,69	11,3	1296	13,8
46	1470,3	1058,3	328,57	14,4	1334	12,4

**Tabulka 18 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 5% řepkový olej**

5% řepkového oleje						
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)	mNO (g/kWh)
0	724,0	0	0	1,1	323	-
1	2196,7	87,8	24,8	7,7	168	19,3
2	2196,0	423,1	119,4	12,3	398	11,3
3	2196,7	632,8	178,6	15,5	598	12,3
4	2200,2	837,1	236,3	18,8	770	13,2
5	1479,2	577,8	163,1	8,3	1021	16,1
6	1482,7	869,4	245,4	11,9	1293	14,7
7	1484,5	1129,7	318,9	15,1	1334	13,0

**Tabulka 19 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 20% řepkového oleje**

20% řepkového oleje						
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)	mNO (g/kWh)
0	717	0	0	1,1	358	-
1	2194,3	85,1	24,0	7,7	178	21,2
2	2196,7	412,4	116,4	12,1	417	12,1
3	2203,7	616,5	174,0	15,0	640	13,6
4	2201,4	826,5	233,3	19,0	822	14,3
5	1481,0	575,3	162,4	8,2	1059	16,8
6	1481,0	863,6	243,7	11,5	1330	15,4
7	1481,0	1113,5	314,3	15,0	1353	13,5

**Tabulka 20 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 30% HVO**

30% HVO						
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)	mNO (g/kWh)
0	715	0	0	0,99	225	-
8	1472,1	535,6	151,2	6,57	918	15,0
9	1476,2	794,6	224,3	8,91	1199	14,5
11	1476,0	994,4	280,7	12,06	1268	13,5
1	2195,6	79,4	22,4	6,69	134	16,7
3	2198,8	409,2	115,5	11,12	368	10,5
4	2199,4	570,3	161,0	13,37	516	11,5
5	2202,2	729,1	205,8	15,98	611	11,7

**Tabulka 21 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 10% butanolu**

10% BUTANOLU						
Bod	n [ot/min]	Mt [N*m]	Mt [N*m]	Spotřeba (l/h)	NO (ppm)	mNO (g/kWh)
0	726	0,0	0	1,2	259	-
3	1515,0	472,2	133,3	8,1	782	14,3
4	1514,2	724,7	204,5	10,8	1074	14,1
5	1518,1	934,1	263,6	13,3	1145	12,7
6	2196,1	68,2	19,3	8,1	124	18,9
8	2196,5	328,1	92,6	11,3	267	9,4
9	2197,3	494,0	139,4	13,7	433	10,8
10	2201,6	688,7	194,4	16,9	555	11,1

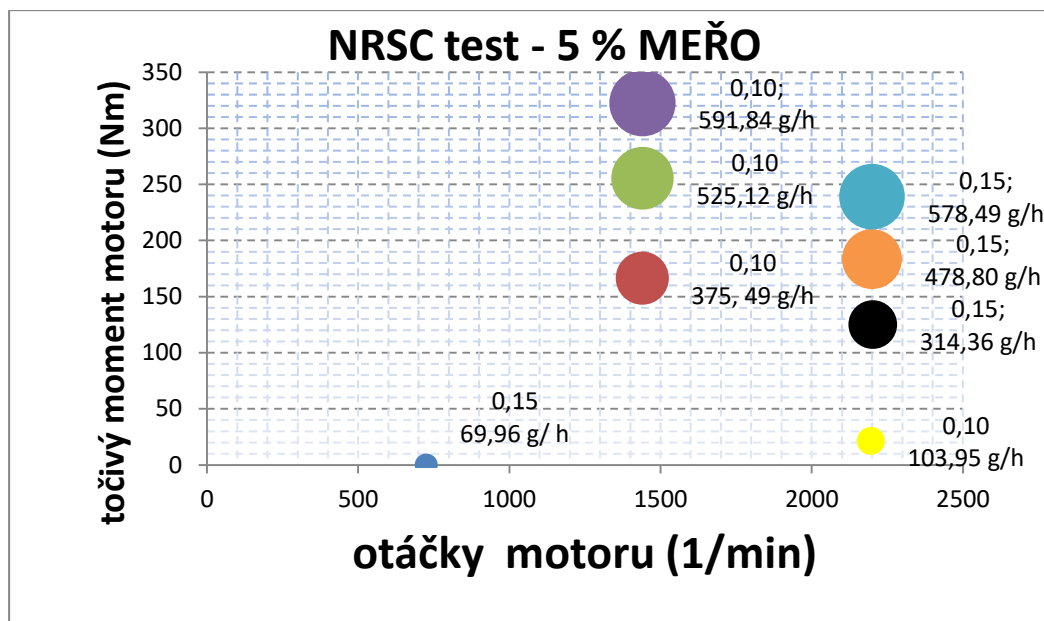
Přepočítané hodnoty již mají vypovídající charakter a můžeme je v dalším kroku porovnat se základním vzorkem.

### 5.3.Posouzení vlivu biosložek na hodnoty NO<sub>x</sub>

Data získaná z měření jsou zanesena do (bublinového) grafu pro snadnější prezentaci výsledků a porovnání jednotlivých paliv a jejich velikost je prezentována velikostí plochy bubliny. Plocha bublin odpovídá jednotkám g/h. Při přepočtu na g/kWh vycházejí hodnoty pro volnoběh blízké nekonečnu (odebíraný výkon při volnoběhu je téměř nulový) a graf by nebyl vhodný k určení rozdílu hodnot jednotlivých zkušebních vzorků.

Emise NO<sub>x</sub> vznikají při vysoké teplotě spalování a dostatečném množství kyslíku ve válci. Jak již bylo popsáno v teoretické části, tak MEŘO obsahuje větší množství kyslíku než je tomu u motorové nafty, což by mělo podmínit i vyšší tvorbu NO<sub>x</sub>. První měření s 5% MEŘO je zamýšleno jako srovnávací vzorek pro ostatní biopaliva a jejich koncentrace v motorové naftě. Vzhledem k podobným palivářským vlastnostem je možné tímto vzorkem nahradit motorovou naftou, která se porovná s ostatními palivy .

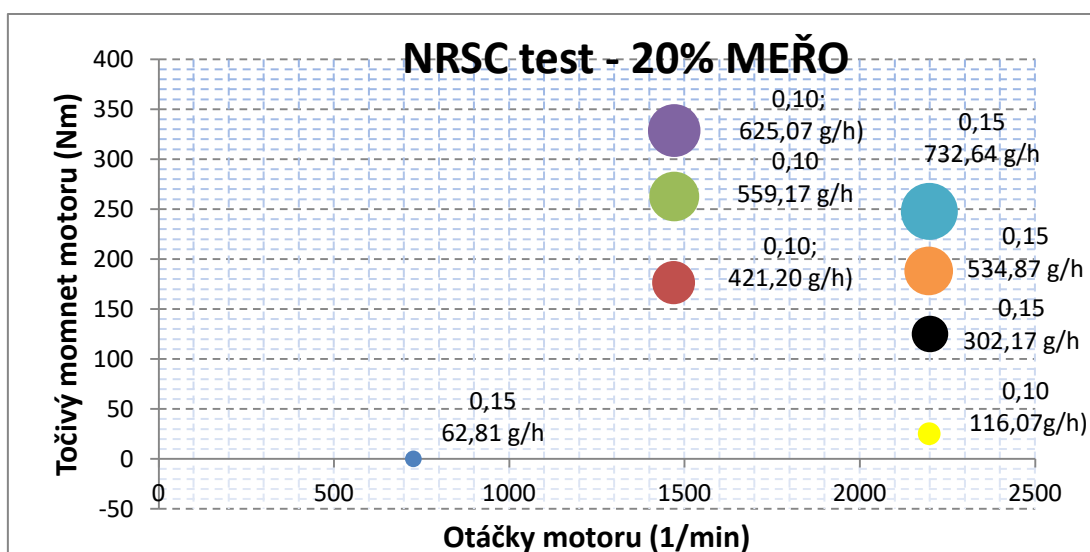
Nutno podotknout, že většina biopaliv s výjimkou HVO obsahuje kyslík, který může mít vliv na tvorbu NO<sub>x</sub>. Motorová nafta má zanedbatelné množství kyslíku v hm%.



Obrázek 18 - NRSC test - 5% MEŘA

Nejvyšší hodnoty NO<sub>x</sub> podle NRSC jsou v bodu 4, který náleží jmenovitým otáčkám při 10% zatížení s váhovým faktorem 0,10. Hodnota je 20,98 g/kWh. Hodnoty emisí pro jmenovité otáčky při zatížení 100%, 75% a 50% se liší max. o 0,83 g/kWh. Hodnoty emisí pro mezilehlé otáčky při 100%, 75% a 50% se liší maximálně o 2,8 g/kWh.

### 5.3.1. 20% MEŘO



Obrázek 19 - NRSC test - 20% MEŘA

Tabulka 22- NRSC test - 5% MEŘA, 20% MEŘA

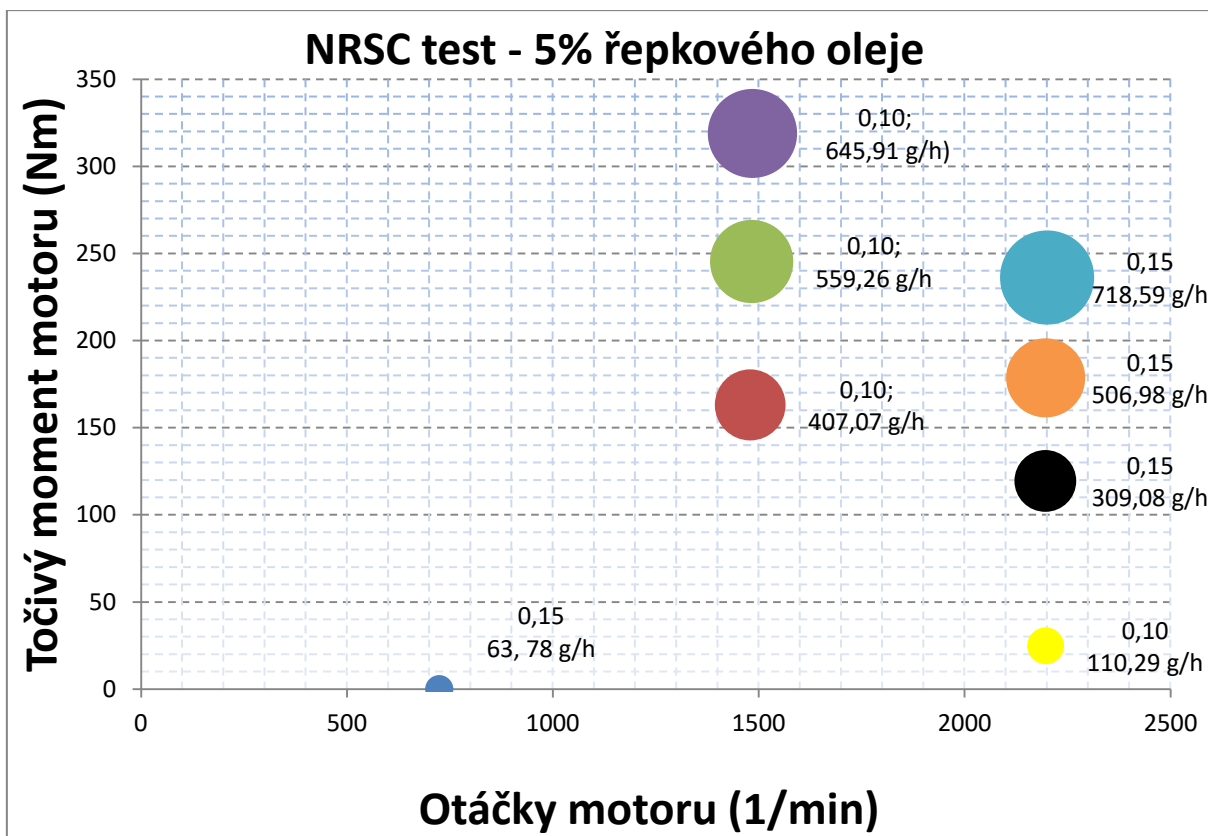
č. režimu	otáčky mot.	zatížení %	váhový faktor	Emise NOx (g/kWh)		Emise NOx (g/kWh) - přírůstek v %
				5% MEŘO	20%MEŘO	20%MEŘO
1	jmenovité otáčky	100	0,15	12,17	12,36	1,6
2	jmenovité otáčky	75	0,15	13,63	13,82	1,4
3	jmenovité otáčky	50	0,15	14,97	15,51	3,6
4	jmenovité otáčky	10	0,1	20,98	19,98	-4,8
5	mezilehlé otáčky	100	0,1	10,51	12,84	22,2
6	mezilehlé otáčky	75	0,1	11,34	12,37	9,1
7	mezilehlé otáčky	50	0,1	10,9	10,48	-3,9
8	volnoběžné otáčky	-	0,15			

Měření vyšší koncentrace MEŘO dokázala teorii o vyšším obsahu kyslíku v palivu. Jak je zřejmé z tabulky, tak rozdíl mezi motorovou naftou a MEŘO je více jak 10 %hm. Ovšem to by platilo pro čisté MEŘO. Na testovaném vzorku, kdy bylo palivo namícháno 1:5, není rozdíl tak veliký.

Opět nejvyšší hodnota je hodnota bodu č. 4 jmenovitých otáček při 10% zatížení s hodnotou 19,98 g/kWh. Je patrný i malý nárůst na všech úrovních testu oproti prvnímu měřenému vzorku. Hodnoty emisí pro jmenovité otáčky při 100%, 75% a 50% zatížení jsou rozdílné téměř 2 g/kWh. Hodnoty emisí pro mezilehlé otáčky jsou téměř stejné vyjma bodu č.3, kdy emise vzrostly o 0,5 g/kWh.

### 5.3.2. 5% ŘEPKOVÉHO OLEJE

Řepkový olej se nedoporučuje používat jako samostatné palivo z důvodů jeho možné degradace a problémům s ním souvisejících, jako třeba polymerizace motorové oleje, úsady ve výfukovém potrubí či nánosy ve vstřikovací soustavě. Proto pro zkušební vzorek je namíchána směs 5% řepkového oleje s motorovou naftou.



Obrázek 20 -NRSC test - 5% ŘEPKOVÉHO OLEJE

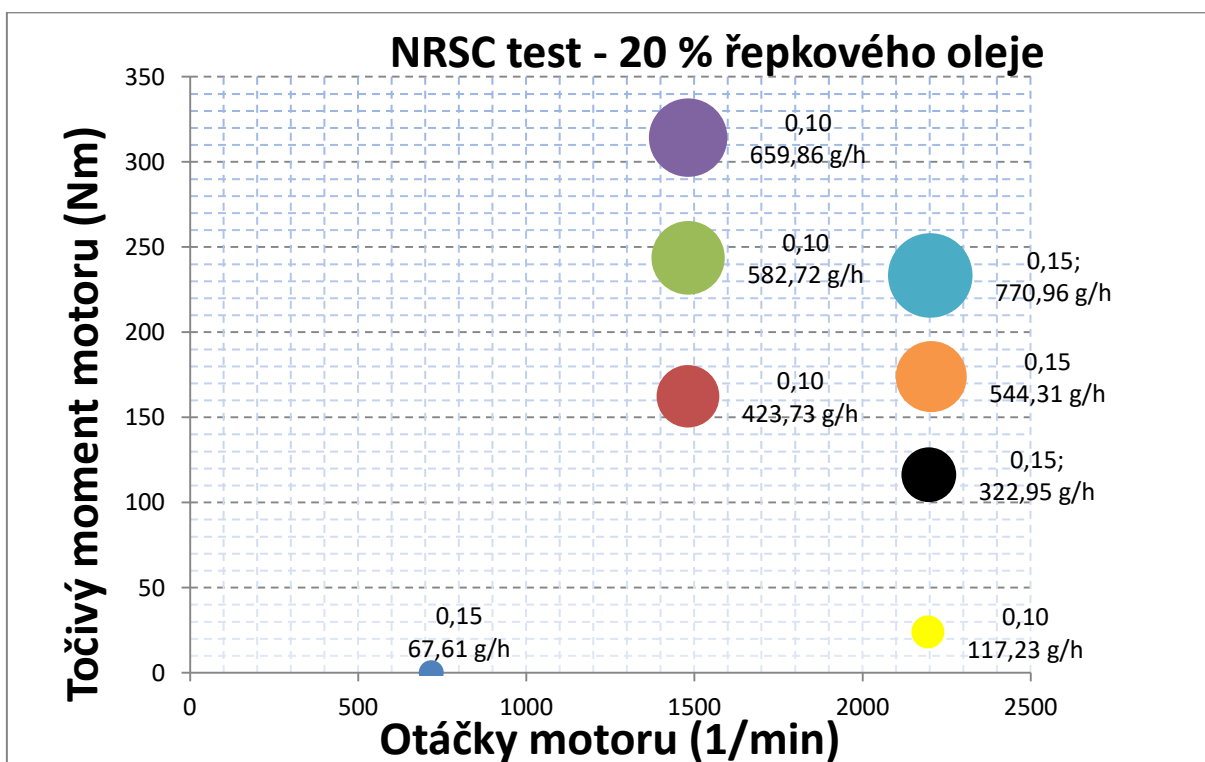
Tabulka 23- - NRSC test - 5% MEŘA, 5% ŘEPKOVÉHO OLEJE

Č. režimu	Otáčky motoru	Zatížení (%)	Váhový faktor	Emise NOx (g/kWh)		Emise NOx (g/kWh) - přírůstek v %
				5% MEŘO	5% RO	5% RO
1	jmenovité otáčky	100	0,15	12,17	13,03	7,1
2	jmenovité otáčky	75	0,15	13,63	14,68	7,7
3	jmenovité otáčky	50	0,15	14,97	16,12	7,7
4	jmenovité otáčky	10	0,1	20,98	19,34	-7,8
5	mezilehlé otáčky	100	0,1	10,51	13,2	25,6
6	mezilehlé otáčky	75	0,1	11,34	12,34	8,8
7	mezilehlé otáčky	50	0,1	10,9	11,25	3,2
8	volnoběžné otáčky	-	0,15			

Z grafu vyplývá opětovný nárůst emisí NO<sub>x</sub> oproti prvotnímu vzorku s 5% MEŘO. Na nárůst emisí má vliv nejen obsah kyslíku v palivu, ale i jeho nižší výhřevnost a tím i vyšší spotřeba paliva k dosažení požadovaného výkonu/točivého momentu. Citelný nárůst emisí je v bodě 5 v mezilehlých otáčkách při 100% zatížení, kde rozdíl je 2,69 g/kWh. Dále je možné pozorovat i úbytek v bodě 4 v jmenovitých otáčkách při 10% zatížení o 1,64 g/kWh.

### 5.3.3. 20% ŘEPKOVÉHO OLEJE

Pro další vzorek byl použit vzorek s koncentrací 20 % RO. S vyšším procentuálním zastoupením RO ve směsi by měla být i vyšší koncentrace NO<sub>x</sub> ve spalínách. Při takto velké koncentraci RO se snižuje interval výměny olejových a palivových filtrů.



Obrázek 21- NRSC test - 20% ŘEPKOVÉHO OLEJE

Z výše uvedeného grafu vyplývá, že koncentrace NO<sub>x</sub> ve spalínách opět roste. Nejvíce progresivní je oblast mezilehlých otáček, kde v bodě 5 ve jmenovitých otáčkách při 100% zatížení je nárůst 3,83 g/kWh. Žádný z osmibodového měření nezaznamenal pokles hodnot.

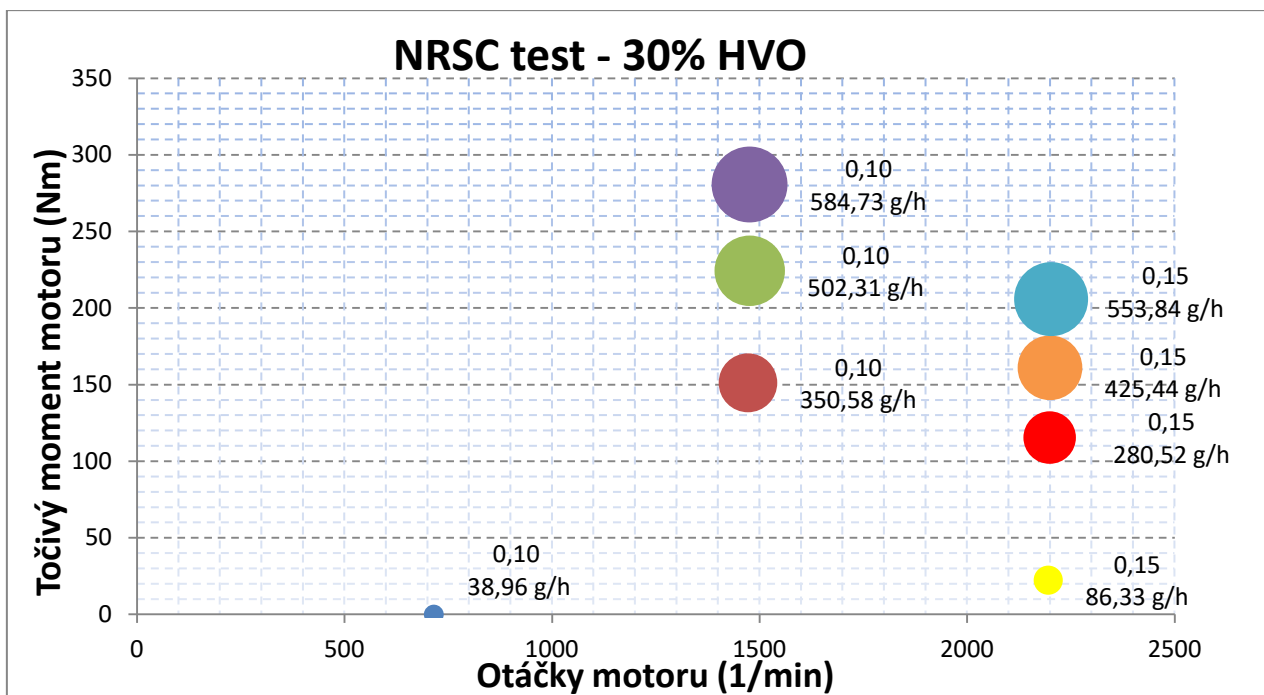


Tabulka 24- NRSC test - 5% MEŘA, 20% ŘEPKOVÉHO OLEJE

č. režimu	otáčky mot.	zatížení %	váhový faktor	Emise NO <sub>x</sub> (g/kWh)		Emise NO <sub>x</sub> (g/kWh) - přírůstek v %
				5% MEŘO	20% RO	20% RO
1	jmenovité otáčky	100	0,15	12,17	13,54	11,3
2	jmenovité otáčky	75	0,15	13,63	15,42	13,1
3	jmenovité otáčky	50	0,15	14,97	16,83	12,4
4	jmenovité otáčky	10	0,1	20,98	21,24	1,2
5	mezilehlé otáčky	100	0,1	10,51	14,34	36,4
6	mezilehlé otáčky	75	0,1	11,34	13,56	19,6
7	mezilehlé otáčky	50	0,1	10,9	12,06	10,6
8	volnoběžné otáčky	-	0,15			0

#### 5.3.4. 30% HVO

HVO je alternativa k MEŘO. Jde také o zpracování rostlinných, živočišných a jiných olejů procesem hydrogenace. Výhodou proti produktům vyrobených procesem esterifikace je však palivo, které je bezkyslíkaté a je tvořeno převážně alkany. Další nejvíce kladnou vlastností paliva je jeho neomezená mísitelnost s motorovou naftou, kdy nedochází ke ztrátě mechanických vlastností důležitých pro chod motoru bez havarijního stavu. Toto palivo by mělo mít nižší koncentrace NO<sub>x</sub> než MEŘO. Nevýhodou tohoto paliva jsou provozní vlastnosti při nižších teplotách, které se ovšem dají vylepšit přidáním vhodného katalyzátoru.



Obrázek 22 - NRSC TEST - 30% HVO

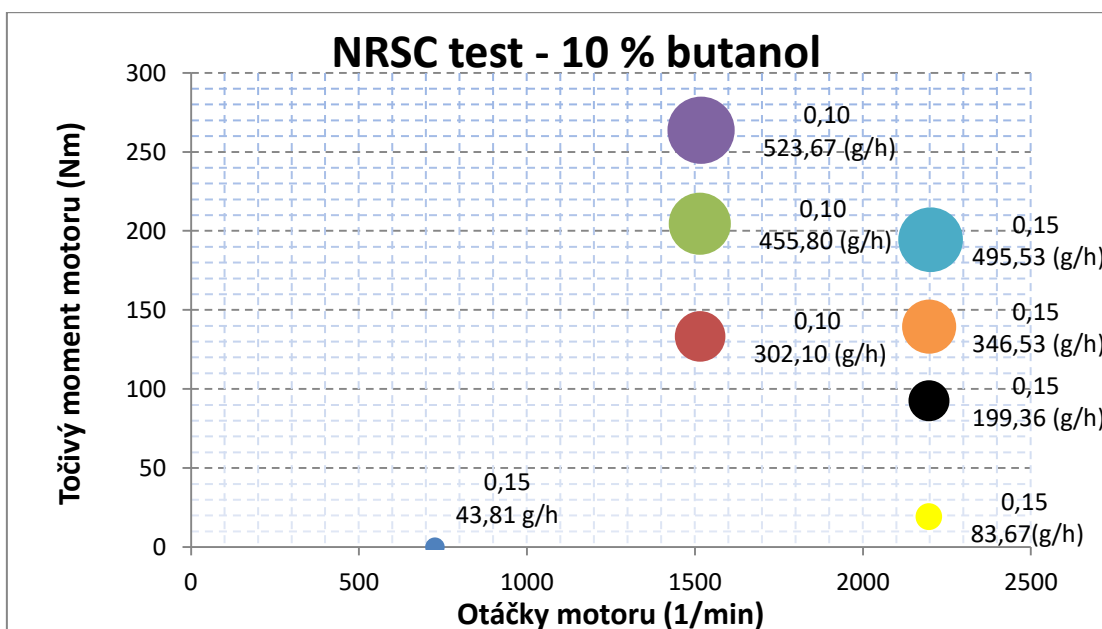
Z grafu vyplývá, že koncentrace NO<sub>x</sub> v palivu je vyšší než u vzorku s 5 % MEŘA. Vyšší koncentrace jsou patrné ve všech bodech se zatížením kromě jmenovitých otáček při 10% zatížení, kde hodnota koncentrace NO<sub>x</sub> klesla o 4,23 g/kWh, a kromě mezilehlých otáček v bodě 7, kde koncentrace NO<sub>x</sub> klesla o 0,35 g/kWh.

Tabulka 25- NRSC test - 5% MEŘA, 30% HVO

č. režimu	otáčky mot.	zatížení %	váhový faktor	Emise NO <sub>x</sub> (g/kWh)		Emise NO <sub>x</sub> (g/kWh) - přírůstek v %
				5% MEŘO	30% HVO	30% HVO
1	jmenovité otáčky	100	0,15	12,17	13,48	10,8
2	jmenovité otáčky	75	0,15	13,63	14,49	6,3
3	jmenovité otáčky	50	0,15	14,97	15,04	0,5
4	jmenovité otáčky	10	0,1	20,98	16,75	-20,2
5	mezilehlé otáčky	100	0,1	10,51	11,67	11
6	mezilehlé otáčky	75	0,1	11,34	11,48	1,2
7	mezilehlé otáčky	50	0,1	10,9	10,55	-3,2
8	volnoběžné otáčky	-	0,15			

### 5.3.5. 10% butanolu

Butanol vzniká tzv. aceton-butanolovým kvašením. Při tomto kvašení je stejně důležité jako při výrobě etanolu, dostatečné množství cukrů/sacharidů v kvasném médiu. Butanol má stejně jako ostatní biopaliva vyjma HVO velké hm% kyslíku v palivu. Konkrétně 21,6 % hm, která může mít vliv na tvorbu  $\text{NO}_x$ . Předpokladem i tak je, že stejně jako ostatní již publikované články o měření etanolu či jiného alkoholu, i tento alkohol příznivě ovlivní tvorbu emisí  $\text{NO}_x$ .



Obrázek 23- NRSC TEST 10% BUTANOL

Z následujícího grafu vyplývá příznivé ovlivnění tvorby emisí  $\text{NO}_x$  při použití butanolu. Pokles zaznamenal režim č. 3,4, 6,7. Pokles by mohl být způsoben nižší výhřevností paliva a tím i nižší maximální teploty spalování ve válci, která je zásadní pro tvorbu  $\text{NO}_x$ .

Tabulka 26 - NRSC TEST 5% MEŘO, 10% BUTANOL

č. režimu	otáčky mot.	zatížení %	váhový faktor	Emise NO <sub>x</sub> (g/kWh)		Emise NO <sub>x</sub> (g/kWh) - přírůstek v %
				5% MEŘO	10% BUTANOL	10% BUTANOL
1	jmenovité otáčky	100	0,15	12,17	12,71	4,4
2	jmenovité otáčky	75	0,15	13,63	14,05	3,1
3	jmenovité otáčky	50	0,15	14,97	14,29	-4,5
4	jmenovité otáčky	10	0,1	20,98	18,89	-10
5	mezilehlé otáčky	100	0,1	10,51	11,06	5,2
6	mezilehlé otáčky	75	0,1	11,34	10,8	-4,8
7	mezilehlé otáčky	50	0,1	10,9	9,36	-14,1
8	volnoběžné otáčky	-	0,15			

### Souhrn

Všechna data z měření byla dána pro přehlednost do tří tabulek, z nichž v první tabulce je znázorněn NO<sub>x</sub> v g/kWh. Ve druhé tabulce je znázorněn přírůstek či úbytek NO<sub>x</sub> v % a ve třetí tabulce je celkové porovnání o kolik procent vzrostlo celkové emise NO<sub>x</sub> při testu. Vzorky 20% MEŘO, 5% RO, 20% RO, 30 % HVO a 10% Butanolu byly porovnány se vzorkem s 5% MEŘA, který supluje motorovou naftu. Nižší hodnoty než jaké má srovnávací vzorek jsou označeny zeleně. Hodnoty s vyšší hodnotou jsou označeny červeně.

Tabulka 27- Srovnání naměřených hodnot

č. režimu	Emise NO <sub>x</sub> (g/kWh)					
	5% MEŘO	20%MEŘO	5% RO	20% RO	30% HVO	10% BUTANOL
1	12,17	12,36	13,03	13,54	13,48	12,71
2	13,63	13,82	14,68	15,42	14,49	14,05
3	14,97	15,51	16,12	16,83	15,04	14,29
4	20,98	19,98	19,34	21,24	16,75	18,89
5	10,51	12,84	13,2	14,34	11,67	11,06
6	11,34	12,37	12,34	13,56	11,48	10,8
7	10,9	10,48	11,25	12,06	10,55	9,36
8						

Tabulka 28 - přírůstek naměřených hodnot (%)

č. režimu	Emise NO <sub>x</sub> (g/kWh) - přírůstek v %					
	5% MEŘO	20%MEŘO	5% RO	20% RO	30% HVO	10% BUTANOL
1	0	1,6	7,1	11,3	10,8	4,4
2	0	1,4	7,7	13,1	6,3	3,1
3	0	3,6	7,7	12,4	0,5	-4,5
4	0	-4,8	-7,8	1,2	-20,2	-10,0
5	0	22,2	25,6	36,4	11,0	5,2
6	0	9,1	8,8	19,6	1,2	-4,8
7	0	-3,9	3,2	10,6	-3,2	-14,1
8	0					

Tabulka 29 - Celkové porovnání NRSC testu

	5% MEŘO	5% RO	20% RO	20% MEŘO	30% HVO	10% butanol
Suma NO <sub>x</sub> za NRSC test (g/kWh)	94,50	99,96	106,99	97,36	93,46	91,16
Rozdíl oproti 5% MEŘO (g/kWh)	0,00	5,46	12,49	2,86	-1,04	-3,34
Přírůstek oproti 5% MEŘO (%)	0	5,78	13,22	3,03	-1,10	-3,53

## 6. Závěr

Diplomová práce se zabývá vlivem procentuálního zastoupení bioložky v motorové naftě a rozdílem hodnot emisí  $\text{NO}_x$  mezi takto upraveným palivem a motorovu naftou. Práce je rozdělena do dvou okruhů. V prvním okruhu práce je kladen důraz na teoretický rozbor možných biopaliv a ve druhém okruhu je zpracována praktická část práce s experimentem.

V teoretickém rozboru práce se řeší legislativa, podle které je nutné přidávat do čistých fosilních paliv pro motory biopaliva a poměr povinného míšení pro budoucnost. V rozboru biopaliv jako MEŘO, SMN 30, čistého RO, butanol a bioplyn je řešena výroba až po samotné spalování ve vznětové motoru. Tzn. sklizení plodiny, zpracování, chemické složení a vlastnosti čistého biopaliva a možnosti, jak dané palivo využít jako suplement motorové nafty. Poslední částí teoretického okruhu je zaměření na emise  $\text{NO}_x$ , seznámení s emisemi, jejich vznik, vlastnosti a možná eliminace.

Praktický okruh práce je rozdělen na popis použité metody měření, vysvětlení jednotlivých bodů měření, popis měřeného traktorového motoru, popis měřících pomůcek a samotné vyhodnocení výsledků v přehledné tabulce. Výsledky experimentu se porovnávají z hlediska přírůstku a úbytku emisí  $\text{NO}_x$ , které stanovil 8mi bodový NRSC test. Vzhledem k absenci dat z měření čisté motorové nafty poslouží jako srovnávací palivo pro ostatní paliva vzorek motorové nafty s 5% MEŘO, která má podobné palivářské vlastnosti jako motorová nafta a je běžně k dostání u benzínových stanic. Z tabulek je patrné, že 3 z 5 měřených vzorků mají vyšší hodnoty  $\text{NO}_x$  v měřících cyklech než motorová nafta. Nejhuře dopadla paliva s čistým RO. Palivo s 20% zastoupením RO v motorové naftě má celkový přírůstek emisí za NRSC cyklus o 13,22 % oproti porovnávanému vzorku. O trochu lépe dopadlo palivo s 5% zastoupením RO v motorové naftě s celkovým přírůstkem emisí za NRSC cyklus o 5,78 %. MEŘO jako produkt z RO s 20% zastoupením v motorové naftě má nárůst  $\text{NO}_x$  oproti základnímu vzorku 3,03 %. Paliva, která si vedla lépe a jsou vhodnými kandidáty ke snížení  $\text{NO}_x$  v ovzduší jsou HVO s 30% zastoupením v motorové naftě a butanol s 10% zastoupením v motorové naftě. Naměřené hodnoty HVO jsou mírně lepší jak u paliva s 20% MEŘA v palivu a byl zaznamenán úbytek emisí  $\text{NO}_x$  o 1,1 %. Na pomyslném prvním místě se umístilo palivo s příměsí 10% butanolu v motorové naftě s úbytkem emisí  $\text{NO}_x$  o 3,5 %.

Z výsledků měření vyplývá, že většina biopalov má vyšší hodnoty emisí  $\text{NO}_x$  než motorová nafta. Podle rešerše se ověřila pravost tvrzení, že paliva s příměsí alkoholu příznivě ovlivňují tvorbu  $\text{NO}_x$  a naopak paliva na bázi RO mají  $\text{NO}_x$  stejné či vyšší. Příměs biopaliv do motorové nafty se bude postupem času nadále zvyšovat dle směrnice EU a bude jen na nás, jaký druh bioložky se určí k povinnému míšení dle legislativy k motorové naftě. Zdali to bude složka na bázi RO či alkoholu jako například butanol, který má hodnoty emisí  $\text{NO}_x$  nižší než srovnávané další vzorky.

- [1] HÖNIG, Vladimír; SMRČKA, Lubos. Impact of Bioethanol on Parameters of Diesel Fuel. *Listy Cukrovarnické a Řepařské*, 2016, 132.1: 29.
- [2] HROMÁDKO, Jan, et al. Bioethanol production. *Listy Cukrovarnické a Reparské*, 2010, 126.7-8: 267.
- [3] HROMÁDKO, Jan, et al. Využití paliva E95 ve vznětových motorech. *Listy Cukrovarnické a Reparské*, 2011, 127.2.
- [4] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 223 s., [4] s. obr. příl. ISBN 80-247-0350-5.
- [5] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. *Základy zpracování a využití ropy*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 254 s. ISBN 80-7080-619-2.
- [6] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004, 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [7] ŠMERDA, Tomáš, Jiří ČUPERA a Martin FAJMAN. *Vznětové motory vozidel: biopaliva, emise, traktory*. 1. vyd. Brno: CPress, 2013. Auto-moto-profi (CPress). ISBN 978-80-264-0160-5.
- [8] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6461-5.
- [9] TAKÁTS, Michal. *Měření emisí spalovacích motorů*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1632-3.
- [10] MILAN PILÁRIK, Jiří Pabst. *Automobily II: pro 2. ročník SOU*. 2., přeprac. vyd. Praha: Informatorium, 2006. ISBN 9788073330385.
- [11] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [12] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [13] YILMAZ, Nadir et al. Corrigendum to "Effect of biodiesel–butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine" [*Fuel* 135 (2014) 46–50]. *Fuel* [online]. 2015, vol. 139, s. 781–781. ISSN 0016-2361.
- [14] HÖNIG, V. – SMRČKA, L. – ILVES, R. – KÜÜT, A. Adding biobutanol to diesel fuel and impact on fuel blend parameters. *Agronomy Research*, 2015, roč. 13, č. 5, s. 1227-1233. ISSN: 1406-894X



- [15] Podpora využívání energie z obnovitelných zdrojů. <http://www.mpo.cz/dokument79879.html>, 2009/28/ES.
- [16] Zákon o ochraně ovzduší.  
<http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/%24%24OpenDominoDocument.xsp?documentId=9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0&action=openDocument>, 201/2012 Sb..
- [17] ANALÝZA ŠKODLIVÝCH EMISÍ VZNĚTOVÉHO MOTORU PŘI PROVOZU NA ROSTLINNÝ OLEJ. Chemagazin [online]. 2010, 20(1), 1-3 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: [http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin\\_2010/file/chxx\\_1\\_cl5.pdf](http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/chxx_1_cl5.pdf) WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/dopad-spalovani-rostlinnych-oleju-ve-vznetovych-motorech-na-vyfukove-emise>>. ISSN: 1801-2655
- [18] BAŽATA, Miroslav: Bionafta a směsná motorová nafta. Biom.cz [online]. 2013-05-06 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bionafta-a-smesna-motorova-nafta>>. ISSN: 1801-2655.
- [19] Kumbár, V., Polcar, A., & Votava, J. (2015). Physical and mechanical properties of bioethanol and gasoline blends. *Listy Cukrovarnicke a Reparske*, 131(3), 112-116. [cit. 2016-012-25].  
<http://ezproxy.techlib.cz/login?url=http://search.proquest.com/docview/1665103127?accountid=119841>
- [20] LAURIN, Josef: Rostlinné oleje jako motorová paliva. Biom.cz [online]. 2008-10-29 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva>>. ISSN: 1801-2655
- [21] CHEN, Lianguang. Catalytic Hydrotreatment of Fatty Acid Methyl Esters to Diesel-like Alkanes Over H $\beta$  Zeolite-supported Nickel Catalysts. *ChemCatChem* [online]. 2014, 6(12), 3482-3492 [cit. 2016-02-16]. DOI: 10.1002/cctc.201402646. ISSN 18673880.
- [22] Altıparmak, D., Keskin, A., Koca, A., & Gürü, M. (2007). Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester–diesel fuel blends. *Bioresource Technology*, 98(2), 241-246. doi:10.1016/j.biortech.2006.01.020
- [23] LAPUERTA, M, O ARMAS a J RODRIGUEZFERNANDEZ. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in Energy and Combustion Science* [online]. 2008, 34(2), 198-223 [cit. 2016-02-16]. DOI: 10.1016/j.pecs.2007.07.001. ISSN 03601285. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360128507000421>
- [24] VÁCHOVÁ, Veronika a Petr VOZKA. HYDROGENACE ROSTLINNÝCH OLEJŮ NA PALIVA PRO VZNĚTOVÉ MOTORY [online]. Ústav technologie ropy a alternativních paliv, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: [paliva.vscht.cz/download.php?id=141](http://paliva.vscht.cz/download.php?id=141)

[25] Dan a Pavel ŠIMÁČEK. KVALITA PALIV PRO VZNĚTOVÉ MOTORY: VLIV NA PROVOZ VOZIDEL A EMISE POLUTANTŮ, KONTROLA JAKOSTI. Ústav technologie ropy a alternativních paliv, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, 2014. [cit. 2016-02-16].

[26] DUAL FUEL – Potential of combined combustion of CNG and Diesel Fuel[<http://www.ecs.steyr.com/Innovation-Newsletter-01->]. 2013, 2013(1) [cit. 2016-02-18].

[27] Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě [online]. 2006, (1) [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: [http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/technickoekonomicka\\_analyza\\_vhodnych\\_alternativnich\\_paliv\\_v\\_doprave.pdf](http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/technickoekonomicka_analyza_vhodnych_alternativnich_paliv_v_doprave.pdf)

[28] RAKOPOULOS, GIAKOUMIS a DIMARATOS. Comparative environmental behavior of bus engine operating on blends of diesel fuel with four straight vegetable oils of Greek origin: Sunflower, cottonseed, corn and olive. Science [cit. 2017-01-10]. [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236111003152>

[29] HROMÁDKO, Jan. Moderní poznatky v oblasti využití bioetanolu. Listy Cukrovarnické a Řepařské [online]. 2014, (130), 323-327 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: [http://www.cukr-listy.cz/on\\_line/2014/PDF/323-327.pdf](http://www.cukr-listy.cz/on_line/2014/PDF/323-327.pdf)

[30] ČSN EN 590 -A1. Nafta motorová. Praha: Český normalizační institut 2014, <http://armexoil.cz/wp-content/uploads/2015/09/TS-NM-%C4%8CJ-odb%C4%9Bratel-podle-%C4%8CSN-EN-590-prosinec-2009-.pdf>.

[31] ČSN 65 6508. Směsná motorová nafta B30. Český normalizační institut 2003, <http://armexoil.cz/wp-content/uploads/2015/09/TS-SMN-B30-%C4%8CJ-odb%C4%9Bratel-podle-%C4%8CSN-65-6508-od-%C3%BAhora-2013.pdf>

[32] CZ Biom – České sdružení pro biomasu: Průvodce výrobou a využitím bioplynu [online]. 2009, I(I) [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: [http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce\\_vyrobou\\_vyuzitim\\_bioplynu\\_2.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce_vyrobou_vyuzitim_bioplynu_2.pdf)

[33] TRINH, Cong. Elucidating and reprogramming Escherichia coli metabolisms for obligate anaerobic n-butanol and isobutanol production. Applied Microbiology [online]. 2012, 95(4), 1083-1094 [cit. 2016-10-09]. DOI: 10.1007/s00253-012-4197-7. ISSN 01757598.

[34] J. LIPOVSKÝ, P. PATÁKOVÁ, M. RYCHTERA, H. ČÍŽKOVÁ a K. MELZUCH. Perspektivy produkce butanolu ze škrobnatých a celulosových materiálů. Chemické Listy. 2009(103), 479-483

- [35] DOĞAN, Oğuzhan. The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions. ScienceDirect [online]. 2011, , 1-20 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236111001037>
- [36] DR.ING. PETRA PATÁKOVÁ,, ING. JAKUB LIPOVSKÝ a PROF. ING. MOJMÍR RYCHTERA. Fermentační produkce butanolu - současné reálné možnosti a výhled do budoucnosti. APROCHEM 2009 , Odpadové fórum 2009 [online]. 2009, , 1375-1380 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: [http://www.petroileum.cz/upload/aprochem2009\\_205.pdf](http://www.petroileum.cz/upload/aprochem2009_205.pdf)
- [37] Provozní sledování směsné motorové nafty SMN 30 pro společnost PREOL a.s. LOVOSICE. [Http://www.preol.cz/](http://www.preol.cz/) [online]. Praha, 2010 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: [http://www.preol.cz/admin/files/pdf/Zprava-SMN30\\_3e\\_zaver-final2.pdf](http://www.preol.cz/admin/files/pdf/Zprava-SMN30_3e_zaver-final2.pdf)
- [38] NATHAN, S. Swami a A. RAMESH. An experimental study of the biogas–diesel HCCI mode of engine operation. ScienceDirect [online]. 2010, (51), 1347–1353 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409003495>
- [39] WANG, J. C. et al. Catalytic Properties of Pd Modified Cu/SAPO-34 for NOx Removal from Diesel Engine. Journal of Nanomaterials [online]. 2013. ISSN 16874110. [cit. 2017-01-25].
- [40] A. Ammerer, J. Rathbauer a M. Wörgetter. RAPESEED OIL AS FUEL FOR FARM TRACTORS[online]. Rottenhauserstr. 1, A 3250 Wieselburg, 2003 [cit. 2016-10-31]. Dostupné z: <http://task39.sites.olt.ubc.ca/files/2013/05/Rapeseed-oil-for-farm-tractors.pdf>. Federal Institute of Agricultural Engineering.
- [41] HROMÁDKO, Jan: Hodnocení životního cyklu fosilních paliv a bioetanolu. Listy cukrovarnické a řepařské, [cit. 2017-02-21]. [www.cukr-listy.cz](http://www.cukr-listy.cz) [online], ISSN: 1210-3306
- [42] - <http://www.cleanmpg.com/community/index.php?threads/14973/>
- [43]- NEJEZCHLEB, R. Spalování kapalných paliv z obnovitelných zdrojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vít Kermes, Ph.D.
- [44] VÍDEN, Ivan. Chemie ovzduší. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-7080-571-4.
- [45] Katalyzátor SCR [online]. ©2015, poslední revize 4.3.2015 [citováno 24.01.2017]. Dostupné z [http://images.slideplayer.cz/7/1980395/slides/slide\\_9.jpg](http://images.slideplayer.cz/7/1980395/slides/slide_9.jpg)
- [46] PASTOREK, Zdeněk: Bioplyn – užitečný zdroj energie nebo riskantní způsob podnikání. Biom.cz [online]. 2008-07-14 [cit. 2017-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-uzitecny-zdroj-energie-nebo-riskantni-zpusob-podnikani>>. ISSN: 1801-2655.

(47) MOTEJL, Vladimír. Vstřikovací zařízení vznětových motorů: učební text pro učební obor 23-68-4/001 automechanik. České Budějovice: Kopp, 2001. ISBN 80-7232-142-0.

[48] DYK, Antonín. Paliva a maziva pro automobily. Vyd. 2., upr. a dopl. Praha: SNTL, 1976. Knižnice motoristy.

[49] Cetanový index. Petroleum.cz [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz>

[50] ČSN EN ISO 2592: Stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření - Metoda otevřeného kelímku podle Clevelanda. Česká Republika, 2004.

[51] MUŽÍKOVÁ, Z. OXIDAČNÍ STABILITA KAPALNÝCH MOTOROVÝCH PALIV A BIOPALIV. Chem. Listy, 2012, , no. 107, p. 450–455. [cit. 2017-02-25].

[52] HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Petr MILER, Vladimír HÖNIG a Pavel ŠTĚRBA. Podpora a využívání biopaliv ve Švédském království: Utilization and support of bio-fuels in the Kingdom of Sweden. Listy cukrovarnické a řepařské. 2010, 126(3), 110-112. ISSN 1210-3306.

[53] - HROMÁDKO, Jan: Využití etanolu ve vznětových motorech. Biom.cz [online]. 2010-05-12 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-etanolu-ve-vznetovych-motorech>>. ISSN: 1801-2655.

## Seznam obrázků:

Obrázek 1 : Produkce emisí skleníkových plynů při výrobě fosilních paliv [41].....	2
Obrázek 2 – Výrobní postup bioetanolu; a) výroba z jednoduchých sacharidů, b) výroba z poly/oligo sacharidů citace[2] .....	10
Obrázek 3: motor Scania DC9 E02 270.....	12
Obrázek 4: Závislost teploty RO na teplotě [40] .....	15
Obrázek 5: Polymerace motorového oleje – olejová vana [42] .....	16
Obrázek 6 : Dvoupalivový systém pro provoz na RO[20] .....	17
Obrázek 7: Technologický postup výroby MEŘO [43] .....	19
Obrázek 8 : Esterifikace [20] .....	20
Obrázek 9:Bivalentní přestavba vznětového motoru od firmy solaris; zdroj: <a href="http://www.diesel-gas.cz/">http://www.diesel-gas.cz/</a> .....	25
Obrázek 10 :Zjednodušená konverze rostlinné biomasy na rozpouštědla u bakterií rodu Clostridium	26
Obrázek 11: Schéma funkce SCR katalyzátoru s oxidačním činidlem; zdroj : <a href="http://is.muni.cz/">http://is.muni.cz/</a> .....	31
Obrázek 12: Účinnost SNCR na teplotě spalin [44] .....	31
Obrázek 13- Váhové měření paliva .....	33
Obrázek 14 - NRSC Test - 8 měřených bodů ( s váhovými faktoy) .....	34
Obrázek 16 - <a href="http://www.agportal.cz">http://www.agportal.cz</a> .....	36
Obrázek 17- <a href="http://www.agrojournal.cz">www.agrojournal.cz</a> .....	37
Obrázek 18 - NRSC test - 5% MEŘA.....	45
Obrázek 19 - NRSC test - 20% MEŘA.....	45
Obrázek 20 -NRSC test - 5% ŘEPKOVÉHO OLEJE .....	47
Obrázek 21- NRSC test - 20% ŘEPKOVÉHO OLEJE .....	48
Obrázek 23- NRSC TEST 10% BUTANOL .....	51

## Seznam tabulek:

Tabulka 1: Charakteristika bioetalonu [23] .....	9
Tabulka 2: Složení rostlinného oleje [7] .....	13
Tabulka 3: Parametry RO a motorové nafty [20] .....	14
Tabulka 4 : Vlastnosti metylesterů mastných kyselin [20] .....	18
Tabulka 5: Parametry směsné motorové nafty [31].....	21
Tabulka 6: Složky bioplynu .....	23
Tabulka 7:Vlastnosti butanolu [14] .....	28
Tabulka 9 - Tech. parametry BrainBEE .....	39
Tabulka 10 - Měřené body NRSC testu - 5% MEŘO.....	39
Tabulka 11- Měřené body NRSC testu - 20% MEŘO.....	40
Tabulka 13 -Měřené body NRSC testu - 20% řepkového oleje .....	40
Tabulka 14 - Měřené body NRSC testu - 30% HVO .....	41
Tabulka 15 - Měřené body NRSC testu -10% butanolu .....	41
Tabulka 16 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 5% MEŘO .....	42
Tabulka 17 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 20% MEŘO .....	42
Tabulka 18 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 5% řepkový olej.....	43
Tabulka 19 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 20% řepkového oleje .....	43
Tabulka 20 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 30% HVO .....	43
Tabulka 21 - Přepočítané hodnoty mNO (g/kWh) pro 10% butanolu.....	44
Tabulka 22- NRSC test - 5% MEŘA, 20% MEŘA .....	46
Tabulka 23- - NRSC test - 5% MEŘA, 5% ŘEPKOVÉHO OLEJE .....	47
Tabulka 24- NRSC test - 5% MEŘA, 20% ŘEPKOVÉHO OLEJE .....	49
Tabulka 25- NRSC test - 5% MEŘA, 30% HVO.....	50
Tabulka 26 - NRSC TEST 5% MEŘO, 10% BUTANOL.....	52

Tabulka 27- Srovnání naměřených hodnot .....	52
Tabulka 28 - přírůstek naměřených hodnot (%).....	53
Tabulka 29 - Celkové porovnání NRSC testu .....	53