

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra jakosti a spolehlivosti strojů**



## **Bakalářská práce**

**Metanol jako palivo pro vznětový spalovací motor**

**Jan Kulíček**

© 2024 ČZU v Praze

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Kulíček

Zemědělské inženýrství  
Inženýrství údržby

Název práce

**Metanol jako palivo pro vznětový spalovací motor**

Název anglicky

**Metanol as fuel for compression ignition engine**

---

## Cíle práce

Cílem bakalářské práce je přispět k ekologii a ochraně životního prostředí vytvořením literární rešerše o využití metanolu jako obnovitelného biopaliva pro pohon vznětového spalovacího motoru.

## Metodika

Rozbor literatury bude řešen formou rešerše dostupných studijních materiálů v oblasti spalovacích motorů a biopaliv. V další části bude věnována pozornost porovnání metanolu s konvenčními palivy pro vznětové spalovací motory a jejich vlivu na provozní parametry motoru.

Osnova:

- 1) Úvod
- 2) Cíl a metodika práce
- 3) Rozdělení paliv pro vznětové motory
- 4) Využití metanolu ve spalovacích motorech (porovnání metanolu, jako paliva, s konvenčními palivy, možnosti využití metanolu ve vznětových spalovacích motorech, jejich popis a analýza)
- 5) Závěr

## Doporučený rozsah práce

30-40 stran

## Klíčová slova

Vznětový motor, motorová nafta, metanol, výkon, emise, biopaliva

---

## Doporučené zdroje informací

Agarwal, A.K., Valera, H., Pexa, M., Čedík, J., 2021: Methanol – A Sustainable Transport Fuel for CI Engines. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 319 s., ISBN 978-981-16-1279-4, DOI 10.1007/978-981-16-1280-0\_1

BAUER, František. *Traktory*. Praha: Profi Press, 2013. ISBN 978-80-86726-52-6.

HEYWOOD, John B. *Internal combustion engine fundamentals*. New York ; Chicago ; San Francisco ; Athens ; London ; Madrid ; Mexico City ; Milan ; New Delhi ; Singapore ; Sydney ; Toronto: McGraw-Hill Education, 2018. ISBN 978-1-260-11610-6.

HROMÁDKO, Jan; ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA. *Speciální spalovací motory*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2168-7.

HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

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.

Odborná periodika (databáze Scopus, Web of Science, ScienceDirect apod..)

Předpisy, normy, firemní literatura

---

## Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

## Vedoucí práce

Ing. Jakub Čedík, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 21. 1. 2022

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

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 3. 2022

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 01. 02. 2024

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "metanol jako palivo pro vznětový spalovací motor" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. 3. 2024

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jakubu Čedíkovi, Ph.D. za velice vstřícné vedení a pomoc při zpracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině i přítelkyni za podporu a vytvoření ideálního prostředí pro zpracování mé práce

# **Metanol jako palivo pro vznětový spalovací motor**

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá použitím metanolu jako paliva pro vznětový motor. Práce je rešeršní. Vycházeno bylo ze studijní literatury dostupné k tomuto tématu. Popsána byla funkce vznětového motoru a paliva pro tento motor použitelná. Dále byly zkoumány studie zabývající se využitím metanolu pro vznětový motor. Hlavním zaměřením byly vlivy použití metanolu na emisní a provozní charakteristiky vznětového motoru. Čerpáno bylo především ze studií porovnávajících metanol s konvenčně využívanou motorovou naftou. Nastíněny byly i postupy a možnosti výroby metanolu. Cílem bylo prozkoumat výhody a nevýhody využití metanolu jako alternativního paliva a účinky jeho využití na životní prostředí.

**Klíčová slova:** metanol, vznětový motor, emise, životní prostředí, obnovitelné zdroje, biopaliva

# **Methanol as a fuel for compression ignition engine**

## **Abstract**

This bachelor's thesis deals with the use of methanol as fuel for a combustion ignition engine. This thesis is done by a form of research. It is based on the study literature available on this subject. The function of the combustion ignition engine and the fuels usable for this engine were described. Furthermore, studies focused on the use of methanol for combustion ignition engines have been examined. The main focus was on the effects of methanol on emissions and the operating characteristics of the combustion ignition engine. This thesis is mainly based on studies comparing methanol with conventionally used diesel fuel. Methods and possibilities for the production of methanol were also outlined. The aim was to explore the advantages and disadvantages of using methanol as an alternative fuel and the effects of its use on the environment.

**Keywords:** methanol, combustion ignition engine, emissions, environment, renewable sources, biofuels

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl a metodika práce .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Rozdělení paliv pro vznětové motory.....</b>	<b>4</b>
3.1	Vznik vznětového motoru.....	4
3.2	Vznětový motor .....	6
3.3	Oběh vznětového motoru.....	7
3.4	Ideální pracovní oběh vznětového motoru.....	8
3.5	Motorová nafta.....	9
3.6	Bioethanol.....	10
3.7	Rostlinné oleje a jejich estery .....	10
<b>4</b>	<b>Využití metanolu ve spalovacích motorech .....</b>	<b>11</b>
4.1	Metanol jako palivo pro spalovací motory .....	11
4.2	Metanol jako palivo pro zážehový motor .....	11
4.3	Metanol jako palivo pro vznětový motor.....	12
4.4	Příklady využití metanolu v dopravě .....	14
•	<b>Použití směsi metanolu a nafty v různých poměrech k pohonu vznětového motoru.....</b>	<b>14</b>
•	<b>Využití metanolu pro nákladní dopravu .....</b>	<b>18</b>
4.5	Výroba metanolu.....	30
4.6	Výroba ze syntézního plynu .....	30
4.7	Výroba metanolu zplynováním uhlí .....	30
4.8	Výroba metanolu ze dřeva .....	31
<b>5</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>32</b>



## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rudolf Diesel [2] .....	4
Obrázek 2 - Druhý prototyp Dieselova motoru [13] .....	5
Obrázek 3 - princip vznětového motoru [14] .....	6
Obrázek 4 - diagram Carnotova cyklu [15] .....	7
Obrázek 5 - p-V a entropický diagram [16] .....	8
Obrázek 6 - schéma motoru využívajícího DMCC[10].....	13
Obrázek 7 - motor DEUTZ F4L 913 [17] .....	14
Obrázek 8 - graf průběhu točivého momentu v závislosti na otáčkách [11] .....	15
Obrázek 9 - graf výkonu v závislosti na otáčkách [11] .....	15
Obrázek 10 - graf naměřené měrné spotřeby v závislosti na otáčkách [11].....	16
Obrázek 11 - graf tepelné účinnosti motoru v závislosti na otáčkách [11] .....	17
Obrázek 12 - graf teploty výfukových plynů v závislosti na otáčkách [11].....	17
Obrázek 13 - schéma testovací soustavy [12] .....	21
Obrázek 14 - graf závislosti produkce oxidu uhelnatého na zátěži motoru při použití předstihu vstříku 20° [12].....	22
Obrázek 15 - graf závislosti produkce oxidu uhelnatého na časování vstříku při zátěži 20 Nm [12] .....	23
Obrázek 16 - graf závislosti produkce uhlovodíků na zátěži motoru při časování vstříku 20° před horní úvratí [12].....	24
Obrázek 17 - graf závislosti produkce uhlovodíků na předstihu vstřikování při zátěži 20 Nm [12] .....	24

Obrázek 18 - graf závislosti produkce oxidu uhličitého na úhlu předstihu vstřiku při zátěži 20 Nm [12] .....	25
Obrázek 19 - graf závislosti produkce oxidů dusíku na zátěži motoru při časování vstřiku 20° před horní úvratí [12] .....	26
Obrázek 20 - graf závislosti produkce oxidů dusíku na předstihu vstřiku paliva při zátěži 20 Nm [12] .....	26
Obrázek 21 - graf závislosti kouřivosti motoru na jeho zátěži při použití předstihu vstřiku 20° před horní úvratí [12] .....	27
Obrázek 22 - graf závislosti teploty výfukových plynů na zátěži motoru při vstřikování paliva 20° před horní úvratí [12].....	27
Obrázek 23 - graf závislosti úhlu předstihu vstřiku paliva na kouřivosti motoru při zátěži 20 Nm [12].....	28
Obrázek 24 - graf závislosti spotřeby paliva na zátěži motoru při předstihu vstřikování paliva 20° [12] .....	29
Obrázek 25 - graf vlivu časování vstřiku paliva na měrné spotřebě paliva při zátěži 20 Nm [12].....	29

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - výsledky měření na motoru 16v240zd [10] .....	20
---	----

# 1 Úvod

Vznětové motory jsou v současné době nedílnou součástí osobní i nákladní dopravy. Pro pohon těchto motorů je primárně využíváno fosilních paliv. Těžba, produkce i spalování těchto paliv sebou nese emise škodlivých látek, které mají neblahý vliv na životní prostředí. Situaci zhoršuje i fakt, že zdroje fosilních paliv, jakož i jiných nerostných surovin, mohou být vyčerpány. I z tohoto důvodu je v dnešní době kladen stále větší důraz na snížení lidského vlivu na životní prostředí a nalezení alternativních udržitelných zdrojů energie.

Jednou z hlavních hrozeb pro životní prostředí jsou skleníkové plyny. Výskyt nadměrného množství skleníkových plynů v atmosféře způsobuje zvýšené zachytávání slunečních paprsků a následkem tohoto i oteplování Země. Mezi hlavní skleníkové plyny patří oxid uhličitý, oxid dusičný, metan a fluorované plyny. Přičemž oxid uhličitý přispívá k oteplování planety až ze 70 %. Zdrojem těchto plynů je mimo automobilovou, leteckou, lodní a nákladní dopravu i spotřeba a výroba elektrické energie, zemědělství a průmyslová výroba.

Možným řešením emisí skleníkových plynů u vznětových motorů jsou biopaliva. Biopaliva jsou paliva vyráběná z rostlin nebo zemědělských a průmyslových odpadů. Nespornou výhodou biopaliv je fakt, že jde o obnovitelné zdroje energie. Jejich zásoby je možno stále obnovovat, tudíž jsou oproti fosilním palivům v podstatě nevyčerpatelné. Zároveň jsou při jejich využití značně sníženy emise skleníkových plynů. Nejen, že spalování některých biopaliv produkuje menší emise v porovnání s fosilními palivy, ale i plodiny pěstované pro výrobu biopaliv spotřebovávají oxid uhličitý při fotosyntéze.

Biopaliva se dělí do dvou typů. Biopaliva na olejové bázi a biopaliva na alkoholové bázi. Biopaliva na olejové bázi jsou vyráběna extrakcí oleje z olejnin a následnou esterifikací tohoto oleje. U nás nejčastějším biopalivem na olejové bázi je metylester řepkového oleje zkráceně MEŘO. Nejčastěji je MEŘO využíváno jako příměs do motorové nafty, a to až do objemu 7 %. Biopaliva na alkoholové bázi jsou vyráběna z kukuřice cukrové řepy, cukrové třtiny, obilí a dalších surovin pomocí fermentace a rafinace. Mezi biopaliva na alkoholové bázi řadíme metanol, etanol a butanol.

Metanol jako zástupce alkoholových paliv má potenciál stát se jedním z široce využívaných alternativních paliv. Napomáhá tomu vysoký obsah kyslíku v metanolu, který podporuje čisté spalování a fakt, že metanol je možno získávat z obnovitelných zdrojů a odpadů různých průmyslových odvětví. Tato bakalářská práce se zabývá výrobou metanolu a jeho využití jako alternativního paliva pro vznětové motory. Účinky metanolu na provozní charakteristiky vznětového motoru jsou porovnány s účinky motorové nafty. Cílem tohoto porovnání je potvrdit či vyvrátit hypotézu, že použití metanolu má kladný dopad na emise a výkonnostní charakteristiky vznětového motoru.

## **2 Cíl a metodika práce**

Cílem této bakalářské práce je provést literární rešerši na téma metanolu jako paliva pro vznětový motor. Cílem této rešerše je odhalení potenciálu metanolu jako alternativního biopaliva a kladných účinků jeho použití na životní prostředí.

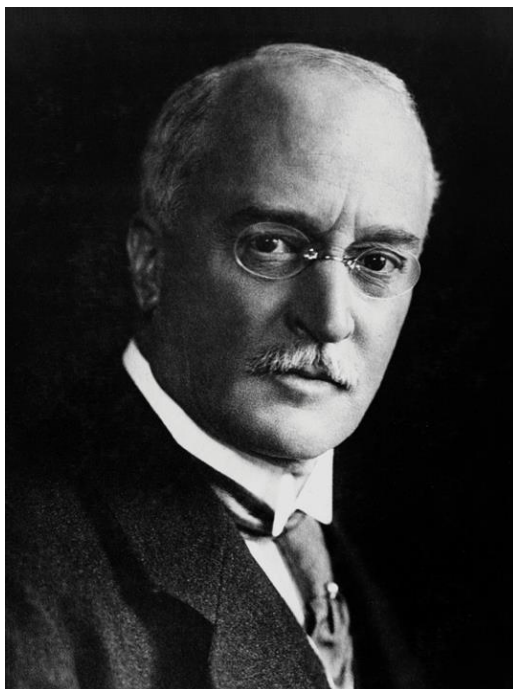
Rešerše bude prováděna studiem dostupných studijních materiálů v oblasti spalovacích motorů a biopaliv. Hlavním zaměřením bude vliv metanolu na provozní parametry motoru a emise škodlivých látek. Dále pak porovnání metanolu s konvenčně využívanou motorovou naftou.

### 3 Rozdělení paliv pro vznětové motory

Pro pohon vznětových motorů lze použít různých kapalných či plyných fosilních uhlovodíkových paliv. Nejdominantnějším palivem používaným pro tento účel je motorová nafta. Použit lze však i paliva získaná z biomasy, takzvaná biopaliva. [1]

#### 3.1 Vznik vznětového motoru

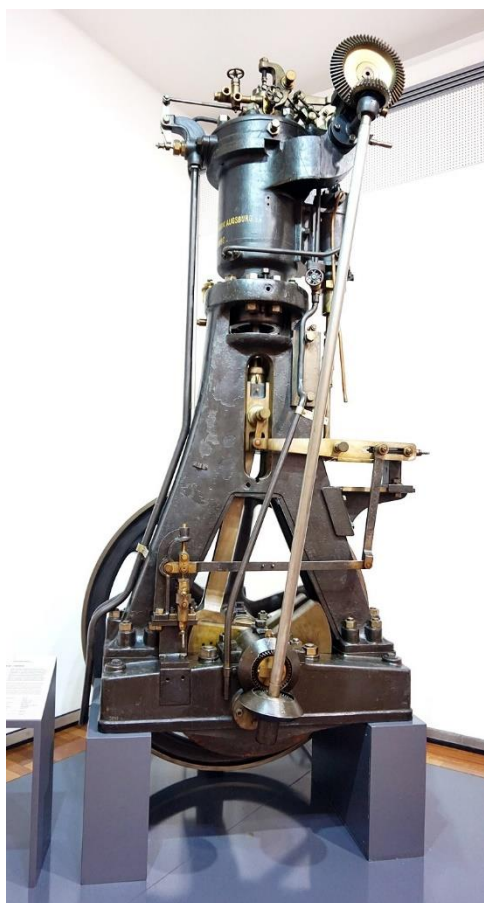
Vynálezce Dieselova motoru Rudolf Diesel (Obr.1) se narodil 18. března 1858 ve Francii. Vystudoval střední průmyslovou školu v Augsburgu, rodném městě svého otce. Roku 1875 začal studovat na technické vysoké škole v Mnichově. Svůj inženýrský diplom získal roku 1880. Tentýž rok byl přijat do firmy pod vedením Cala von Lindemu a jeho úkolem bylo teoretické zdokonalení spalovacích motorů za použití Carnotova cyklu. [2]



*Obrázek 1 - Rudolf Diesel [2]*

Roku 1893 byl Rudolfem Dieselem sestrojen první prototyp Dieselova motoru. Motivací Rudolfa Diesela pro sestrojení tohoto motoru byla nízká účinnost dosavadně využívaných parních strojů. Pouze 6-10 %. Šlo o čtyřdobý motor poháněný uhelným prachem. Tento prototyp však nikdy neběžel samostatně. Proto roku 1896 sestrojil druhý prototyp. (Obr. 2) Největším vylepšením bylo vstříkávání paliva pomocí tlakového

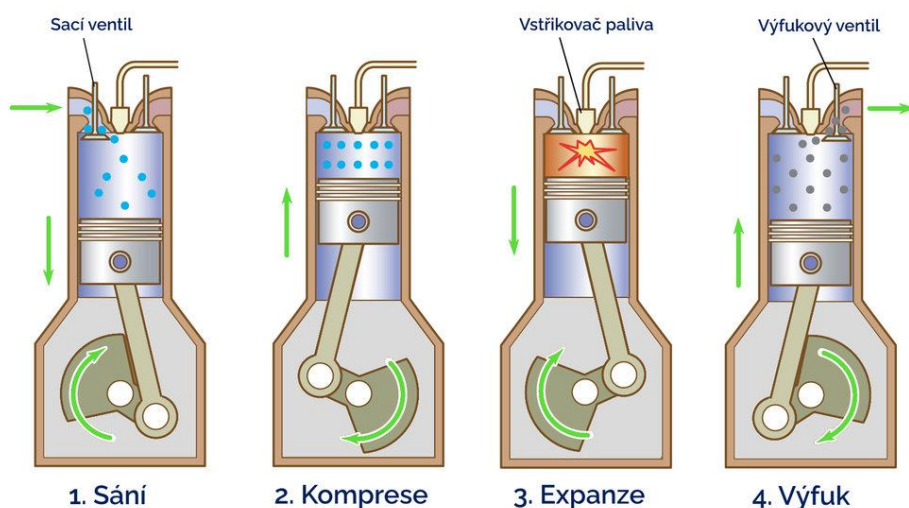
vzduchu a vodní chlazení. Tato modifikace zapříčinila, že se druhý Dieselův prototyp stal prvním samostatně běžícím dieselovým motorem. Tento prototyp byl však poháněn ještě benzínem. Benzín byl po krátké době nahrazen čistěným petrolejem, na který motor běžel výrazně klidněji. Třetí prototyp byl sestaven koncem roku 1896. Testován byl v průběhu následujícího roku. Tento prototyp již splňoval veškeré požadavky, proto je rok 1897 považován za rok vzniku vznětového motoru. Výkon tohoto motoru byl 14,7kW při otáčkách 170 za minutu a jeho účinnost byla 26 %. Velká hmotnost kompresoru, potřebného k vstříku paliva zapříčila, že tyto motory byly využívány jako stacionární nebo lodní. Po nahrazení kompresoru vstřikovacím čerpadlem bylo možné tyto motory začít využívat v automobilové dopravě. Roku 1921 začal Robert Bosh experimentovat s hydraulickým vstřikováním. [1]



*Obrázek 2 - Druhý prototyp Dieselova motoru [27]*

## 3.2 Vznětový motor

Vznětový motor je dvoudobý nebo čtyřdobý pístový spalovací motor, u něhož dochází k zažehnutí směsi samovznícením ve válci. (Obr 3.) K samovznícení dochází při vysoké teplotě způsobené kompresním teplem. Nejprve je do válce nasáván vzduch o tlaku 0,08-0,085 MPa. Poté se uzavírá sací ventil a pomocí pístu dochází ke kompresi. Po stlačení má vzduch ve válci tlak 3-5,5 MPa a teplotu 700-900 °C. V tuto chvíli dochází ke vstřiku paliva skrze trysku. Palivové čerpadlo vstříkne do válce palivo o tlaku 10-25 MPa. Palivo se smísí se vzduchem a dochází k hoření. Poté dojde k expanzi a lineární pohyb pístu je převeden přes ojnici na rotační pohyb klikového hřídele. Po dokončení expanze se otevírá výfukový ventil a spaliny jsou opět pomocí pístu vytlačeny ven a cyklus se opakuje. Jako palivo vznětových motorů se v současné době nejčastěji používá nafta nebo stlačený zemní plyn. [1; 3]

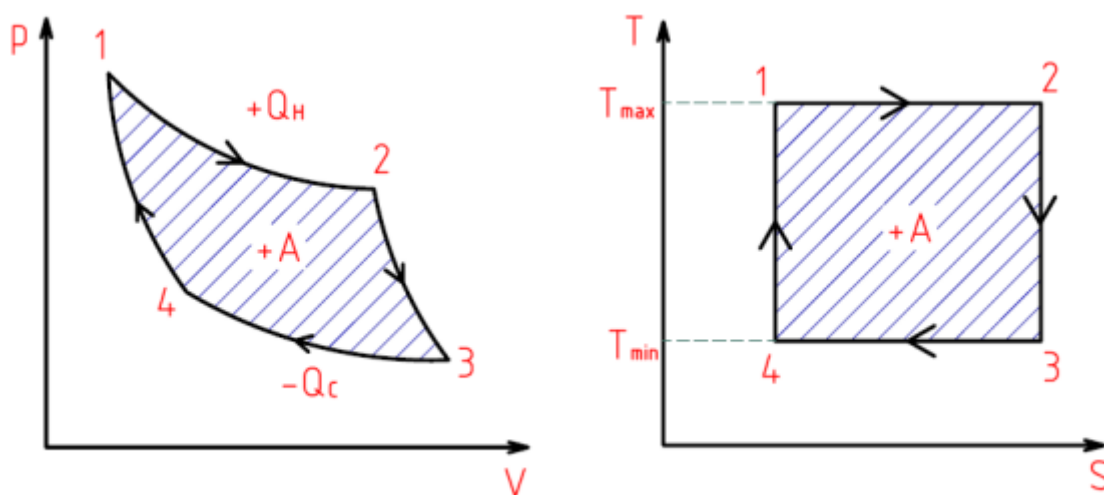


Obrázek 3 - princip vznětového motoru [28]



### 3.3 Oběh vznětového motoru

Vznětový motor pracuje na principu Carnotova cyklu. Jde o uzavřený teoretický ideální cyklus, který definuje maximální účinnost, které může přímý cyklus dosáhnout při přeměně tepla na práci. Teplo je do cyklu dodáváno z vnějšího zdroje. Tento cyklus se skládá z dvou izoterm (čára spojující dva body označující stejnou teplotu) a dvou adiabat (křivka popisující změnu veličin při adiabatickém ději). Na počátku děje má pracovní látka vysokou teplotu a tlak. Poté probíhá izotermická expanze a látce je



Obrázek 4 - diagram Carnotova cyklu [29]

dodáváno teplo. Dále probíhá adiabatická expanze. Následně izotermická komprese a látce je odebíráno teplo. Nakonec probíhá adiabatická komprese. [4]

Oběh vznětového spalovacího motoru se však od Carnotova cyklu značně liší. Přesný matematický popis tohoto procesu je složitý, a proto je pro jeho popis využíván oběh teoretický nebo oběh ideální. Tyto oběhy se liší mírou zjednodušení, kdy ideální je oproti teoretickému více zjednodušen. Skutečný popis oběhu lze získat měřením. Do pracovního prostoru zkoumaného motoru je pro tento účel zaveden vysokotlaký snímač. K zaznamenanému tlaku je poté přidělen objem dypočtený ze známého obsahu a dráhy pístu.[1]

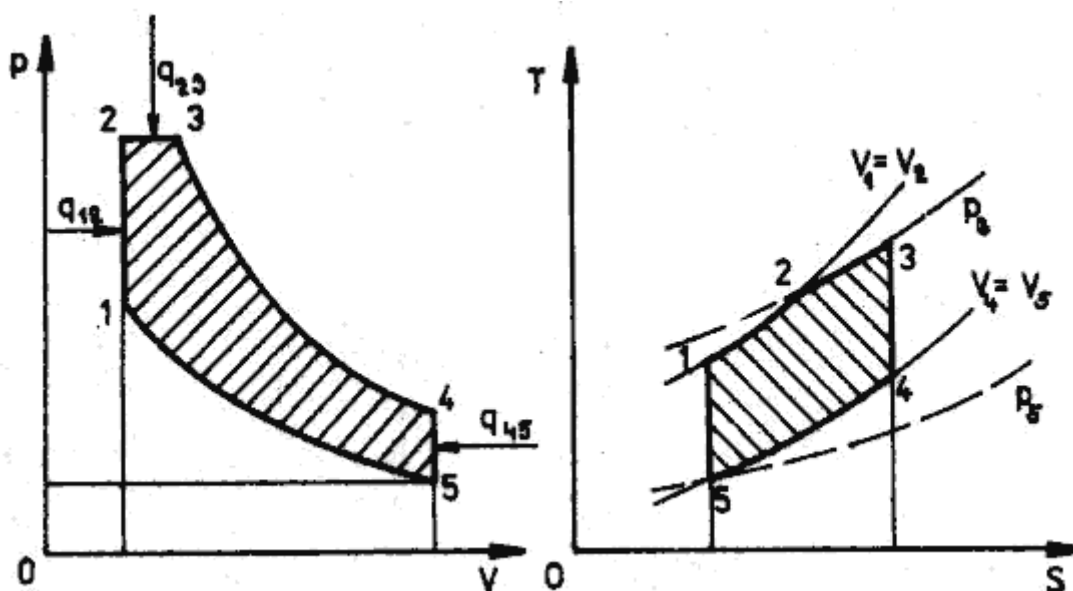
### 3.4 Ideální pracovní oběh vznětového motoru

Pro ideální oběh vznětového motoru platí tyto zjednodušující předpoklady [1]:

- Oběh je dokonale vratný.
- Oběh je uzavřený. Náplň se tedy nevyměňuje.
- Pracovní látkou je čistý dvouatomový plyn.
- Komprese a expanze probíhá bez výměny tepla s okolím.
- Plyn se řídí stavovou rovnicí  $p * V = n * r * T$
- Nedochozí k žádnému tření mezi válcem a pístem.
- Nedochozí k žádné výměně tepla mezi plynem, pístem a stěnami válců.
- Neexistují žádné ztráty.
- Teplo je do oběhu přiváděno částečně za stálého objemu a částečně za stálého tlaku.
- Teplo je z oběhu odváděno za stálého objemu.

Pro grafické zobrazení ideálního oběhu je používán p-V a entropický diagram.

(Viz. obr.5)



Obrázek 5 - p-V a entropický diagram [30]

Jednotlivé hranice diagramu zobrazují děje v oběhu. p-V diagram (na obrázku 5 vlevo) popisuje průběh tlaků ve válci vůči objemu náplně a plocha vyznačená diagramem znázorňuje práci oběhu vykonanou nebo spotřebovanou. Přímka 1-2 popisuje izochorický

přívod tepla. Přímkou 2-3 popisuje izobarický přívod tepla. Křivka 3-4 zobrazuje adiabatickou expanzi. Přímkou 4-5 znázorňuje izochorický odvod tepla a křivka 5-1 adiabatickou kompresi. Jednotlivé body 1-5 pak odpovídají stejně označeným bodům na entropickém diagramu (na obrázku 5 vpravo). Entropický diagram je sestaven pro konkrétní množství náplně válce. Na jeho osách je vyznačena teplota  $T$  (K) a entropie  $S$  ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ). Tyto diagramy slouží jako podklad stanovení střední hodnoty tlaku na píst, který je poté využit k určení výkonu motoru.[1]

### 3.5 Motorová nafta

Jde o kapalné uhlovodíkové palivo získávané z ropy. Jedná se o směs petroleje a plynového oleje. Tyto uhlovodíky jsou získávány pomocí frakční destilace. Jde o druh destilace založený na různých velikostech uhlovodíků. Čím větší molekula uhlovodíku je, tím vyšší má teplotu varu. Nafta vře při teplotách mezi  $150^\circ\text{C}$  a  $360^\circ\text{C}$ . Pro zvýšení produkce nafty při destilaci se používá krakování. Je vyráběno několik druhů nafty z důvodu její použitelnosti v nízkých teplotách. Z nafty jsou při její snížené teplotě vylučovány parafíny, které poté zanáší filtry palivových soustav. Pro zaručení filtrovatelnosti nafty je vyráběno a dodáváno několik tříd nafty. Letní druh nafty je podle normy ČSN EN 590 označen třídou B. Pro tento druh nafty je zaručena filtrovatelnost do  $0^\circ\text{C}$ . Zimní druh je podle stejné normy označován jako třída E. Tato nafta má zaručenou filtrovatelnost do  $-15^\circ\text{C}$ . Dostupné jsou i nafty pro arktické klima označované třídou 1 s filtrovatelností do  $-26^\circ\text{C}$  a třídou 2 s filtrovatelností do  $-32^\circ\text{C}$ . [1]

Jednotlivé druhy nafty jsou také označeny cetanovým číslem. Toto číslo označuje vznětlivost vstříknutého paliva. Tedy dobu od vstříknutí paliva po jeho vznícení. Pro správnou funkci vznětového motoru nesmí být tato prodleva ani příliš vysoká ani příliš nízká. Cetanové číslo 100 označuje látku s velmi krátkou prodlevou vznícení a cetanové číslo 0 látku s velmi dlouhou prodlevou vznícení. Požadovaná hodnota cetanového čísla pro naftu je 50 a přijatelnou odchylkou 5 jednotek. Při příliš nízkém cetanovém čísle dochází ve válci k hoření příliš velké dávky paliva naráz a motor je tak hlučný. Když je cetanové číslo paliva příliš vysoké nestihne se po vstříknutí do válce dostatečně promísit se vzduchem a dochází k nedokonalému hoření a zanášení spalovacího prostoru sazími.[1; 5]

### 3.6 Bioethanol

Bioethanol je nazýván ethanol získaný fermentací biomasy. Pomocí kvasinek jsou cukry obsažené v biomase přeměněny na ethanol. Ethanol je čirý, bezbarvý, dobře hořlavý alkohol. Plodiny nejčastěji používané k výrobě bioethanolu jsou kukuřice, cukrová třtina, cukrová řepa a obilí. Po denaturaci je bioethanol používán jako příměs do benzínu. Směs bioethanolu a benzínu lze dle ČSN EN 228 využít pro běžné zážehové motory. Podíl bioethanolu však nesmí překročit 10 objemových procent. Směsi s větším podílem bioethanolu lze použít ve speciálně upravených motorech. Pro pohon diesellových motorů lze bioethanol použít ve směsi označované E95. Jde o směs 95 % bioethanolu a 5 % aditiv. Toto však vyžaduje úpravu Diesellova motoru, jelikož ethanol má velice nízké cetanové číslo. Motor upravený na spalování E95 tak nemůže být provozován na motorovou naftu.[1]

### 3.7 Rostlinné oleje a jejich estery

Rostlinné oleje jsou získávány lisováním semen olejnin. Využíván je zejména řepkový olej a palmový olej. Čistý neupravený olej není však pro provoz diesellových motorů vhodný. Problém tvoří jeho vysoká viskozita. Olej pak při vstřikování vytváří velké kapky a špatně se mísí se vzduchem, což vede ke špatnému spalování. Existují motory speciálně upravené pro spalování rostlinných olejů, například motory s předehřevem vstřikovaného oleje, ale jejich použití v automobilové dopravě je minimální.[1; 6; 7]

Řešením těchto problémů je esterifikace olejů. Jde o proces štěpení molekul oleje pomocí alkoholů. Tímto vznikne methylester daného oleje. Takto upravený olej již odpovídá svými vlastnostmi motorové naftě. Jako palivo pro naftové motory se dnes používá směs methylesteru řepkového oleje a klasické motorové nafty. Podíl methylesteru v této směsi je dán zákonem č. 201/2012 Sb. a to do 7 %. Dostupná je však i směs B30 s podílem 30 % methylesteru a B100 s minimálním podílem methylesteru 95,5 %. B100 je tedy čistá bionafta s příměsí aditiv.[1; 8]

#### **Příklady esterifikovaných olejů[1]:**

- RME – methylester řepkového oleje (MEŘO)
- SME – methylester slunečnicového oleje
- SOME – methylester ze sojových bobů
- FAME – methylester methylester z mastných kyselin
- VUOME – methylester z použitých filtrovacích olejů

## **4 Využití metanolu ve spalovacích motorech**

Metanol je považován za jedno z nejdříve použitelných paliv pro spalovací motory. Je možné ho například použít v kombinaci s naftou pro pohon vznětových motorů, jako palivo pro vysokokompresní zážehové motory nebo pro pohon přeplňovaných motorů. [9; 10; 11]

### **4.1 Metanol jako palivo pro spalovací motory**

Metanol je nejjednodušší alifatický alkohol. Jde o vysoce těkavou toxickou bezbarvou kapalinu se silným alkoholovým zápachem. Je používán k výrobě lepidel, barev, LCD monitorů, silikonů, léků a jako palivo. Jeho dobrá odpařitelnost, vznětlivost, nízká teplota hoření a fakt, že za pokojové teploty je kapalný, ho dělají ideálním kandidátem na alternativní palivo pro spalovací motory. [12]

Metanol je v současné době především využíván jako palivo pro zážehové motory. Dle normy ČSN EN 228 ho lze používat ve směsi s benzínem v množství 3 objemových procent metanolu. Při tomto množství nezpůsobuje klepání motoru. Pro pohon vznětových motorů je možné metanol využít ve směsi s naftou, za podmínky, že tato směs má dostatečné cetanové číslo.[13]

### **4.2 Metanol jako palivo pro zážehový motor**

Metanol je pro svoje vlastnosti spíše řazen mezi paliva pro zážehové motory. Pro zážehové motory je možné ho použít přímo nebo ve směsích s jinými palivy. Jeho viskozita je velmi podobná benzínu. Obsahuje velké množství kyslíku, proto pro jeho spalování není potřeba dodat tolik vzduchu a zároveň napomáhá dobrému spalování. Při

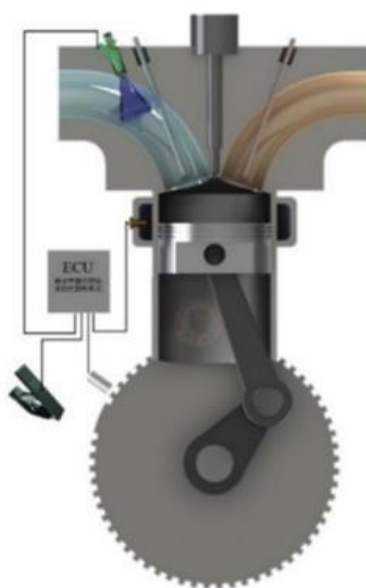
odpařování metanolu ve válcích dochází k znatelnému chlazení motoru, jelikož metanol má vysoké měrné skupenské teplo vypařování. Zároveň má metanol i vysokou teplotu samovznícení, což umožňuje jeho použití v motorech s vyšším kompresním poměrem a ze stejného důvodu i snižuje klepání. Oproti benzínu je teplota výfukových plynů při spalování metanolu výrazně nižší. Zároveň jsou při spalování metanolu vytvářeny menší emise. Například emise oxidů dusíku, oxidu uhelnatého a jiných produktů nedokonalého spalování.[14]

### **4.3 Metanol jako palivo pro vznětový motor**

Pro svou vysokou teplotu samovznícení není čistý metanol použitelný jako palivo pro klasické neupravené vznětové motory. Teplota samovznícení metanolu je skoro dvounásobná oproti naftě. Ač nelze metanol využít samostatně pro pohon vznětových motorů, lze jej využít ve směsi s naftou. Do těchto směsí je však nutno přidávat rozpouštědla, jelikož nafta a metanol se dobře nemísí. Tento problém je opět možno obejít použitím duálního vstřikování. U motorů s tímto druhem vstřikování je metanol a nafta vstřikována separátně a jejich směs se utváří až ve válci. Pro start motoru je využívána jen čistá nafta a po zahřátí motoru na provozní teplotu je přepnuto na vstřikování nafty a metanolu. Obdobně jako u motorů zážehových napomáhá metanol k snížení emisí některých škodlivých plynů, lepšímu chlazení, vyššímu výkonu a efektivitě i u motorů vznětových.[15; 10]

Mimo vstřikování metanolu již smíšeného s naftou nebo jejich vstřikování separátně lze docílit spalování čistého metanolu ve vznětovém motoru pomocí žhavicí svíčky. Žhavicí svíčka napomáhá při studeném startu. Tento způsob využití metanolu ve vznětovém motoru má však stále vady a není vhodný k širšímu využití.[15]

Nejperspektivnějším způsobem využití metanolu v kombinaci s naftou pro pohon vznětových motorů tedy zůstává separátní vstřikování. Tento druh vstřikování je nazýván DMCC (diesel methanol dual combustion) (viz. obrázek 6) a byl vynalezen na univerzitě Tianjin v Číně. Jde o dvoufázové vstřikování. Pro start motoru je využívána pouze nafta přímo vstřikována do válců. Po ohřátí na provozní teplotu je poté do sání motoru vstřikován metanol. V sání se utvoří směs vzduchu a metanolu. Tato směs je poté nasávána do válců a po kompresi ve válci je vstříknuta nafta. Metanol s naftou je tedy spálen současně. Poměr metanolu k naftě je možné regulovat za provozu a k přestavbě motoru pro tento typ vstřikování není náročná. Tento druh vstřikování je používán pro kamionovou, námořní a železniční dopravu v Číně. Velkým problémem velkých vznětových motorů používaných pro tyto druhy dopravy jsou emise. Avšak jak už bylo uvedeno výše, mísením nafty s metanolem lze některé emise vznětového motoru výrazně snížit.[15; 16; 10]



Obrázek 6 - schéma motoru využívajícího DMCC[15]

## 4.4 Příklady využití metanolu v dopravě

- **Použití směsi metanolu a nafty v různých poměrech k pohonu vznětového motoru**

Na australské univerzitě University of Southern Queensland byla vypracována případová studie na téma efektu směsí metanolu a nafty na výkon vznětového motoru. Konkrétně byly použity směsi s obsahem metanolu 0, 10, 20 a 30 %. U zkoumaného motoru byl sledován výkon, točivý moment, spotřeba, účinnost a výfukové teploty. Jako testovací motor byl použit čtyřdobý čtyřválcový vznětový motor značky DEUTZ. Viz obr. 7. [17]



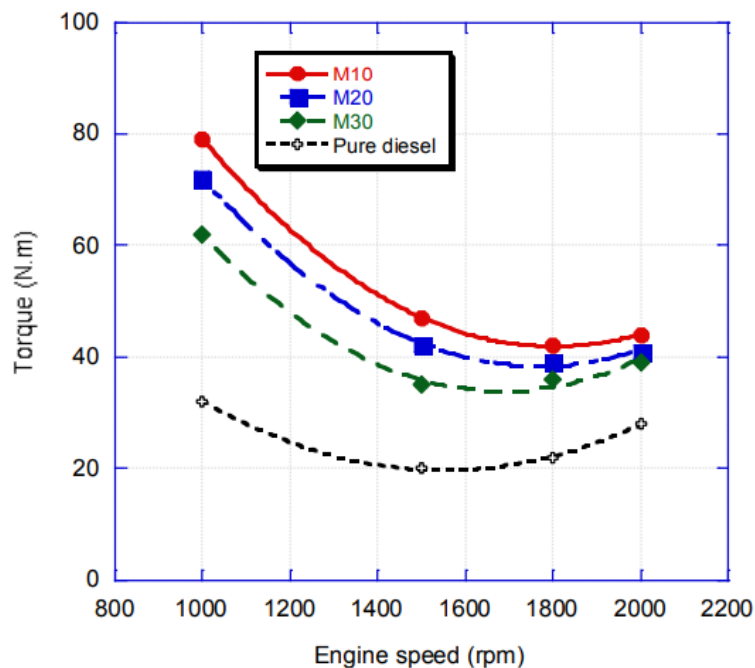
Obrázek 7 - motor DEUTZ F4L 913 [31]

Metanol byl vstříkovan do sání testovaného motoru, aby bylo zajištěno jeho dobré smíšení se vzduchem. Vstříkovací systém nafty byl nastaven tak, aby motor podával nejvyšší výkon. Motor byl uveden do maximálních otáček a poté pomocí dynamometru zatěžován. S rostoucí zátěží otáčky motoru klesaly. Během tohoto procesu byl měřen a zaznamenáván výkon, točivý moment, spotřeba, účinnost a výfukové teploty. [17]

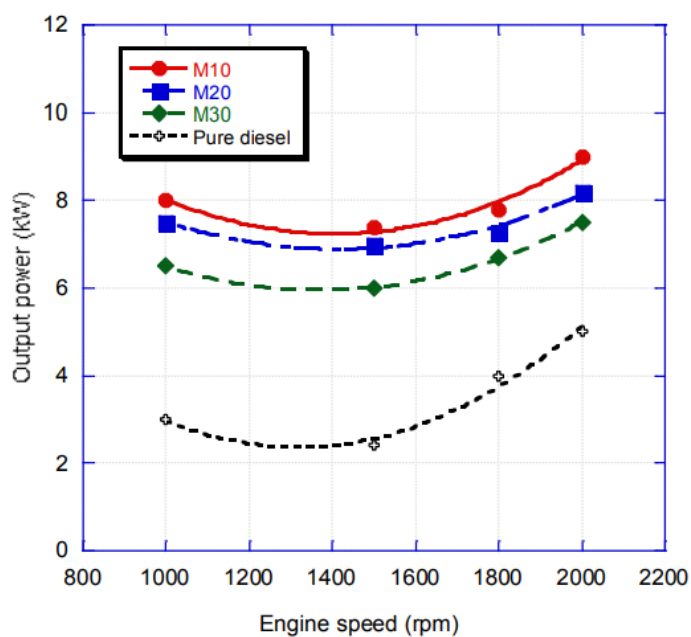
Bylo zaznamenáno, že točivý moment s klesajícími otáčkami roste. Nicméně trend tohoto růstu se pro různé poměry vstříkovaného metanolu značně liší. Při použití čisté nafty je průběh točivého momentu oproti použití metanolu mnohem více konstantní s malými odchylkami maximální a minimální hodnoty. Při přidání metanolu bylo zaznamenáno zvýšení točivého momentu v celém rozsahu otáček motoru. Ve vysokých otáčkách nedochází k tak markantnímu zvýšení, zato v nižších otáčkách dochází ke



zvýšení markantnímu. Toto zvýšení je nejvíce patrné pro směs s 10 % metanolu. (Viz obr. 8) Na grafu jsou jednotlivé poměry vstřikované směsi označovány M10 pro 10 % metanolu, M20 pro 20 % metanolu a M30 pro 30 % metanolu. Černá nejjemněji dělená čára odpovídá použití čisté nafty.[17; 18]



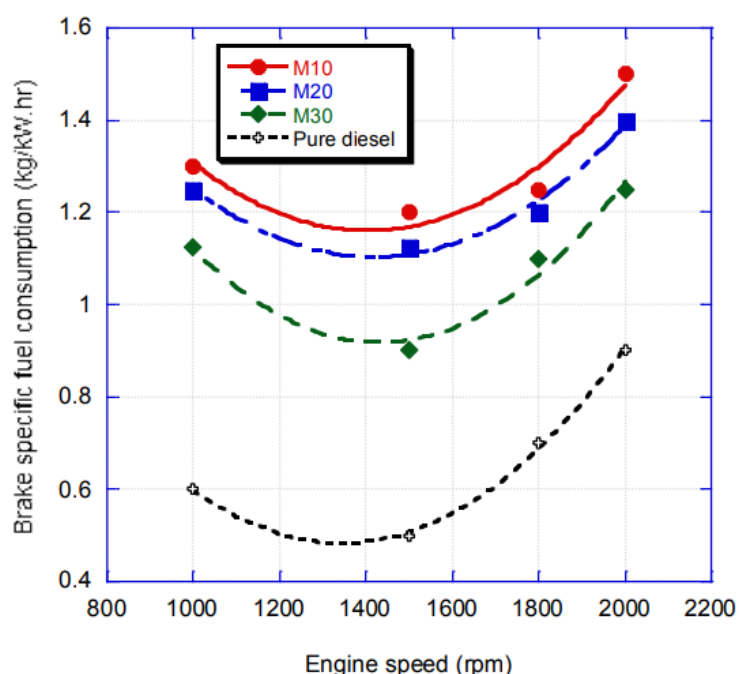
Obrázek 8 - graf průběhu točivého momentu v závislosti na otáčkách [17]



Obrázek 9 - graf výkonu v závislosti na otáčkách [17]

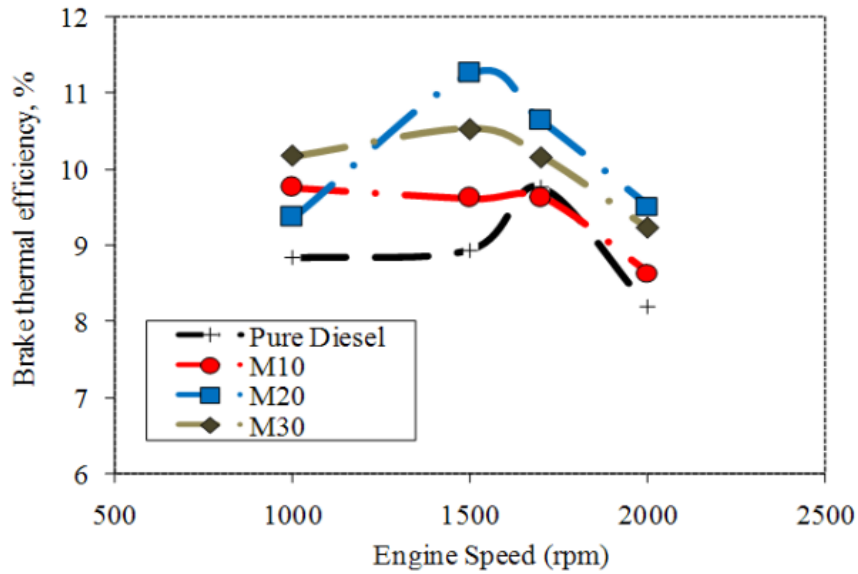
Při použití metanolu byl také naměřen zvýšený výkon motoru oproti použití čisté nafty. Nejmarkantnější zvýšení bylo naměřeno pro směs M10 a to až o 70 %. (Viz. obr. 9) [17; 18]

U motoru byla dále sledována měrná spotřeba paliva v kg/kW\*h. Bylo zjištěno, že pro získání stejného výkonu je oproti naftě nutno dávku směsi s metanolem zvýšit. V důsledku tohoto se spotřeba motoru zvýšila. Příčinou je nižší výhřevnost metanolu, a to 23,8 MJ/kg, což je oproti naftě téměř poloviční. Čím více je metanolu ve směsi, tím menší výhřevnost směs má. Do grafu na obrázku číslo 10 byla zaznamenána měrná spotřeba paliva při použití různých poměrů metanolu k naftě. Nejnižší spotřeba při použití metanolu byla docílena pro směs M30. [17; 18]



Obrázek 10 - graf naměřené měrné spotřeby v závislosti na otáčkách [17]

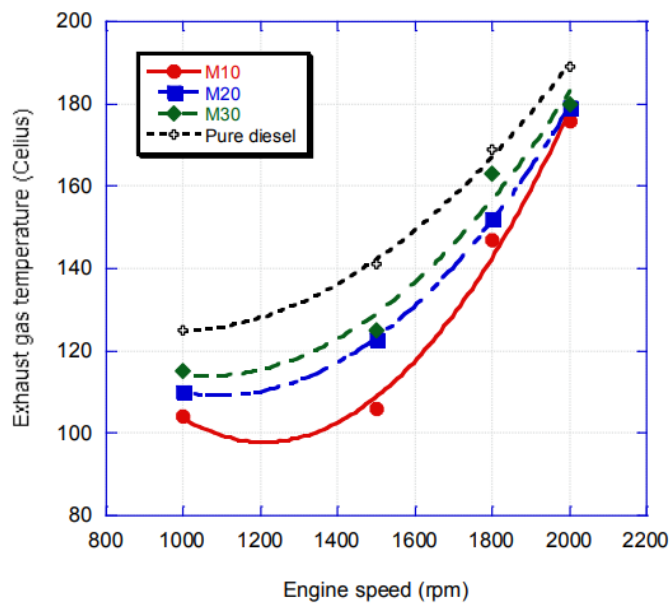
Dále bylo zjištěno, že použitím metanolu byla zvýšena tepelná účinnost motoru. Toto je zapříčiněno lepším spalováním směsi, kterému metanol napomáhá. Graf na obrázku 11 ukazuje vztah tepelné účinnosti motoru při měnících se otáčkách a různých poměrech metanolu ku naftě. Z grafu je zřejmé, že při zvýšení poměru metanolu nad 20 % při otáčkách nad 1500 min<sup>-1</sup> již nedošlo ke zvýšení tepelné účinnosti. Směs má však stále lepší tepelnou účinnost než čistá nafta.[17; 19]



Obrázek 11 - graf tepelné účinnosti motoru v závislosti na otáčkách [17]

Posledním sledovaným parametrem motoru je teplota výfuku. Z grafu na obrázku 12 je patrné, že nejnižší výfukové teploty bylo dosaženo při použití směsi 10 % metanolu a 90 % nafty. Nejvyšší teplota byla naměřena při použití pouze nafty. [17]

Vysoká teplota výfuku v kombinaci s přebytkem kyslíku při spalování může vést k produkci oxidů dusíku. Tyto oxidy jsou jedovaté a škodí životnímu prostředí. Nižší teplota výfuku při použití metanolu implikuje menší produkci oxidů dusíku. Nicméně vysoký obsah kyslíku v metanolu zvyšuje přebytek kyslíku při spalování. Toto vede



Obrázek 12 - graf teploty výfukových plynů v závislosti na otáčkách [17]

k efektivnějšímu a dokonalejšímu spalování. Dokonalejší spalování opět vede k vyšší teplotě výfuku, což vede k vyšší produkci oxidů dusíku.[17; 19]

- **Využití metanolu pro nákladní dopravu**

V Číně bylo testováno několik nákladních automobilů vybavených DMCC systémem. Šlo o nákladní automobily značek Shaqman auto, Sinotruck a Dongfeng. Jedno z vozidel vlastněné společností Shaanxi Automobile Group z provincie Gansu bylo dodáno společnosti Huating Coal Industry Group Co na jednoměsíční test. Vozidlo bylo využíváno na přepravu uhlí. Průměrný náklad uhlí na vozidle činil 40 tun. [15]

Další nákladní automobil byl využíván k přepravě metanolu a pískovce mezi městy Aksu a Kuqa. Náklad tohoto automobilu vážil 40 tun. Testované vozidlo značky Sinotruck vážilo včetně nákladu 55 tun a denní nájezd činil 500 km. Poměr využití metanolu k pohonu těchto nákladních automobilů činil 33,25 %. [15]

Bylo zjištěno, že využití metanolu pro pohon nákladních automobilů je ekonomicky výhodné. Emise jsou lepší nebo srovnatelné s emisemi stejných nákladních automobilů poháněných čistou naftou. Testované nákladní vozy nevyžadovaly rozsáhlé úpravy, aby bylo možné je provozovat v DMCC režimu bez větších obtíží. [15; 11]

Testováno bylo i několik nákladních automobilů využívaných v těžební společnosti Wengfu Phosphate z provincie Guizhou. U těchto automobilů nahradil metanol naftu až z 30 %. Bylo zjištěno zvýšení výkonu, zlepšení emisí a využívání metanolu bylo opět ekonomicky výhodné. Náklady na pohonné hmoty byly sníženy o 20 %. [15]

- **Využití metanolu pro lodní dopravu**

Využití metanolu bylo testováno také pro lodní dopravu. Pro tento test byla použita loď se jménem “Sutong fishing” vyrobená v roce 2014. Tato loď je vybavena vznětovým motorem značky Weichai Heavy Machinery Co. o výkonu 184 kW a objemu 27,14 l. Pro použití metanolu byly k motoru přidány čtyři vstřikovače do sání, několik senzorů pro sledování rychlosti, pozice plynového pedálu a teploty motoru. Dále byla přidána řídicí jednotka pro řízení vstřikování metanolu. [15]

Pro účely testu byl nejprve motor nastartován a při volnoběžných otáčkách uveden do provozní teploty. Testy byly provedeny při otáčkách motoru  $600 \text{ min}^{-1}$ . Motor byl poháněn čistou naftou po dobu pěti hodin, poté bylo přidáno vstřikování metanolu a nafty. V obou případech byla měřena spotřeba. Z naměřených hodnot byl vypočten poměr substituce metanolu za naftu a míra substituce metanolu. Tyto výpočty byly provedeny podle rovnic (1) a (2). [15]

$$R_M = \frac{M_D - M_d}{M_D} \times 100\% \quad (1)$$

$$U_M = \frac{M_m}{M_D - M_d} \quad (2)$$

$R_M$  - poměr substituce metanolu

$U_M$  – míra substituce metanolu

$M_D$  – spotřeba nafty při provozu čistě na naftu (kg/h)

$M_d$  – spotřeba nafty při provozu na směs nafty a metanolu (kg/h)

$M_m$  – spotřeba metanolu při provozu na směs nafty a metanolu (kg/h)

Při provozu na čistou naftu byla zjištěna spotřeba nafty 145 kg za 5 hodin. Při provozu na směs nafty a metanolu byla naměřena spotřeba nafty 105 kg a spotřeba metanolu 44 kg za 5 hodin. Z těchto hodnot byl vypočten poměr substituce metanolu  $R_M = 27,6 \%$  a míra substituce metanolu  $U_M = 1,1$ . [15]

Pro měření emisí byl motor provozován v otáčkách  $500 \text{ min}^{-1}$  a  $700 \text{ min}^{-1}$ . Sledovány byly emise kouře při provozu na čistou naftu a na směs nafty s metanolem. Pro zaznamenání kouřivosti byl použit součinitel absorpce K. Tento součinitel vyjadřuje pokles intenzity světelného paprsku při průchodu sloupcem spalin o tloušťce 1 m. Při provozu motoru na čistou naftu a otáčkách  $500 \text{ min}^{-1}$  bylo K naměřeno  $5,07 \text{ m}^{-1}$ . Při použití metanolu bylo naměřené K sníženo na  $1,37 \text{ m}^{-1}$ . Procentuální množství sazí ve spalinách bylo zaznamenáno jako index NS. Hodnoty NS naměřeny pro pohon na čistou naftu při otáčkách  $500 \text{ min}^{-1}$  byly  $88,66 \%$ . Při použití metanolu byla hodnota NS snížena na  $44,47 \%$ . Pro otáčky  $700 \text{ min}^{-1}$  a spalování čisté nafty byla hodnota K  $2,41 \text{ m}^{-1}$  a hodnota NS  $63,76 \%$ . Při použití metanolu byly tyto hodnoty K  $1,11 \text{ m}^{-1}$  a NS  $38,01 \%$ . [15]

Z tohoto je zřejmé, že použitím metanolu má kladný vliv na emise a mohlo by značně snížit dopad provozu vznětových motorů na životní prostředí. Zároveň má využití metanolu kladné ekonomické účinky. [15]

- **Využití metanolu pro železniční dopravu**

Metanol byl také testová jako palivo pro vlakovou dopravu. Test byl proveden univerzitou Tainjin. Motor lokomotivy DF4D s označením 16v240zd byl vybaven systémem DMCC. Byla testována výkonost a kouřivost takto upraveného motoru. Měření bylo provedeno za běžného provozu. Depo, kde byly testy prováděny vyžaduje, aby byly otáčky motoru lokomotivy  $800 \text{ min}^{-1}$  až  $900 \text{ min}^{-1}$ . Proto bylo měření provedeno při otáčkách  $900 \text{ min}^{-1}$ . Při přechodu mezi spalováním čisté nafty a spalováním nafty s metanolem byly udržovány tyto otáčky a zároveň byl sledován výkon motoru. Test byl proveden pro 0 %, 12,3 % a 24,35 % metanolu ve vstříkované směsi. Měření bylo prováděno za běžné zátěže motoru. Teploty oleje a chladicí kapaliny nebylo možné měřit za běžného provozu. Nicméně tyto hodnoty byly měřeny v laboratorních podmínkách. Bylo zjištěno, že při použití metanolu byla teplota oleje i chladicí kapaliny snížena. Zároveň bylo zjištěno, že se zvyšujícím poměrem metanolu ku naftě se snižuje teplota výfukových plynů. Toto je z důvodu toho, že metanol při vypařování pohlcuje velké množství tepla. Toto vede také ke snížené teplotě při hoření ve válci. Při zvyšování poměru metanolu ku naftě se také zvyšuje rychlost hoření směsi ve válci. Rychlejší hoření směsi vede k zvýšení tlaku ve válci a zajišťuje téměř kompletní spálení směsi za konstantního objemu. Důsledkem tohoto je i snížení kouřivosti motoru. Konkrétní výsledky měření jsou zaznamenány v tabulce 1. [15]

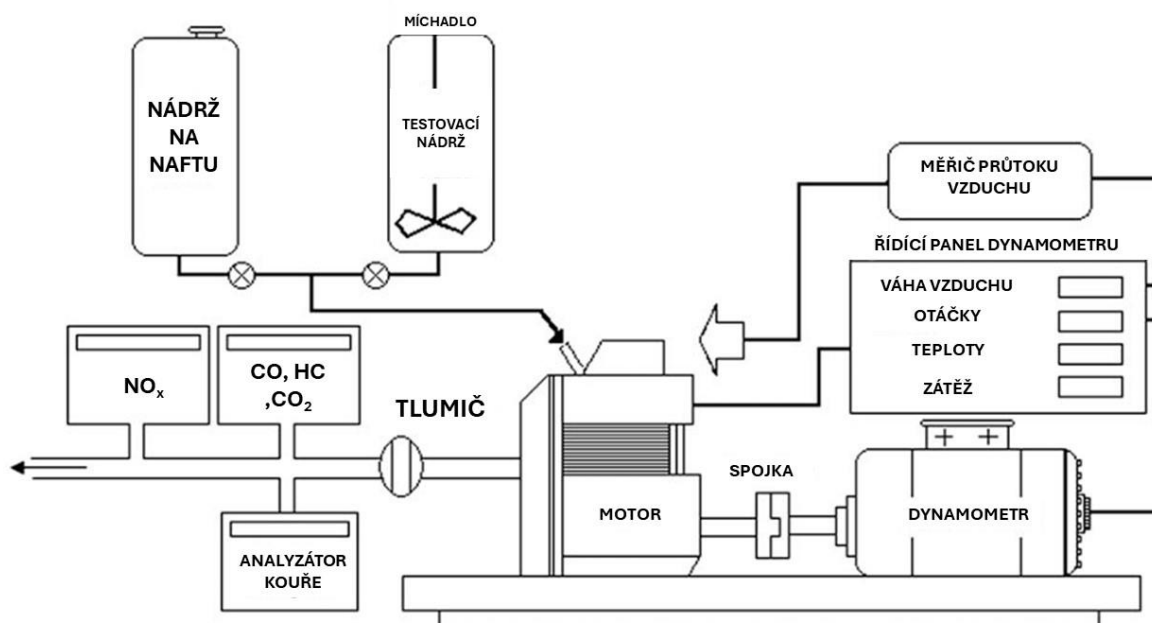
Měřené hodnoty	Otáčky ( $\text{min}^{-1}$ )	Výkon (kW)	Teplota chladicí kapaliny ( $^{\circ}\text{C}$ )	Teplota oleje ( $^{\circ}\text{C}$ )	Spotřeba nafty (L/h)	Spotřeba metanolu (L/h)	Obsah metanolu v palivu (%)
<b>Nafta</b>	900	1826	80	76	505	0	0
<b>DMCC</b>	900	1852	78	75	449	99	12,3
<b>DMCC</b>	900	1960	77	75	410	182	24,35

Tabulka 1 - výsledky měření na motoru 16v240zd [15]

- **Studie zaměřená na emise**

Byla provedena studie vlivu metanolu na emise vznětového motoru. Pro tento test byl použit jednoválcový čtyřdobý motor s označením Cussons-P8160. Tento motor byl vybaven přístrojovou deskou s elektronickým tachometrem, měřičem točivého momentu, ovládáním zatížení a dalšími měřicími zařízeními. Pro zatěžování tohoto motoru byl použit dynamometr konstruovaný pro 380 V a výkon 10 kW. Měřeny byly otáčky motoru, teplota chladicí kapaliny, teplota oleje, teplota výfukových plynů a teplota nasávaného vzduchu. Dále byla měřena spotřeba paliva pomocí kalibrované byrety a stopek. Emise výfukových plynů byly měřeny pomocí čtyř analyzátorů plynu. Šlo o analyzátory s označením Bilsa 2100, Opus 40, Sun1500 a Kane–MayQuintox. [20]

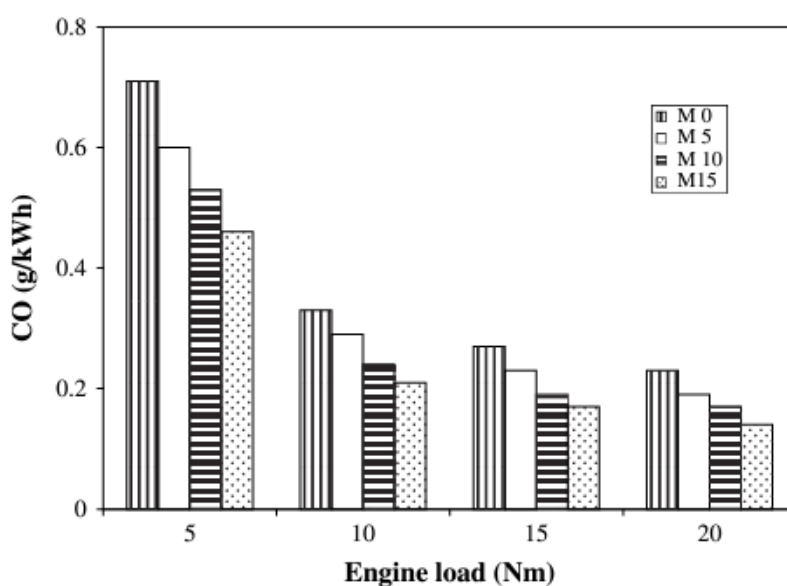
Paliva použita v tomto testu byla nafta zakoupená od společnosti TUPRAS Petroleum Corporation a metanol o čistotě 99 %. Pro pohon motoru bylo vytvořeno několik směsí nafty a metanolu. Šlo o směsi s 0 %, 5 %, 10 % a 15 % metanolu. Tyto směsi byly připravovány těsně před zahájení měření a pro zaručení jejich homogenity bylo do nádrže motoru instalováno míchadlo. Celá sestava je zobrazena na obrázku 13.[20]



Obrázek 13 - schéma testovací soustavy [20]

Testy byly prováděny i s různým časováním vstříků paliva. Originální časování vstříků testovaného motoru bylo 20° před horní úvratí. Test byl proveden pro vstříkování 15°, 20°, a 25° před horní úvratí. Všechny testy byly provedeny v laboratorních podmínkách. Motor byl při těchto testech provozován při konstantních otáčkách 2000 min<sup>-1</sup>. Pomocí dynamometru byl motor zatěžován točivým momentem 5 Nm, 10 Nm, 15 Nm a 20 Nm. Testy byly provedeny pro všechny kombinace směsí paliva, časování vstříků a zátěže motoru. Všechny měřené hodnoty byly během experimentu zaznamenávány po ustálení motoru a každý test byl proveden třikrát. Výslednou hodnotou každého měření byla pak průměrná hodnota z naměřených hodnot. [20]

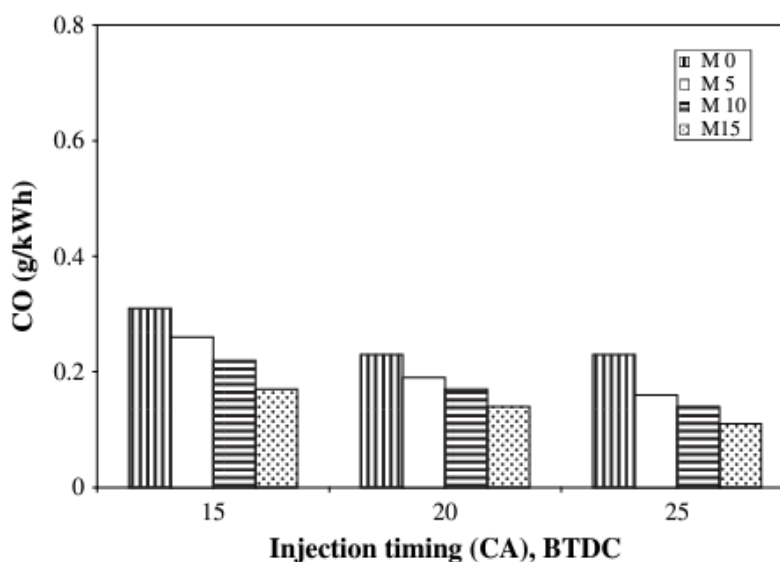
Bylo zjištěno, že při zvyšující koncentraci metanolu v palivu se snižuje množství oxidu uhelnatého ve spalínách. Toto je způsobeno vysokým obsahem kyslíku v metanolu, který přispívá k dokonalejšímu hoření. Konkrétní naměřené hodnoty jsou zaznamenány v grafu na obrázku 14. Označení M0 až M15 označuje koncentrace metanolu v palivu. M0 označuje čistou naftu, M5 označuje směs s 5 % metanolu, M10 označuje směs s 10 % metanolu a M15 směs s 15 % metanolu. Pro časování vstříku 20° před horní úvratí a zátěži 20 Nm bylo naměřeno 0,14 g/kWh oxidu uhelnatého při použití směsi s 15 % metanolu, 0,17 g/kWh při použití směsi s 10 % metanolu, 0,19 g/kWh při použití směsi s 5 % metanolu a 0,46 g/kWh při použití čisté nafty. Se zvyšující zátěží se zvyšovala i teplota hoření směsi a emise oxidu uhelnatého se snižovaly. Toto vyplývá z naměřených



Obrázek 14 - graf závislosti produkce oxidu uhelnatého na zátěži motoru při použití předstihu vstříku 20° [20]



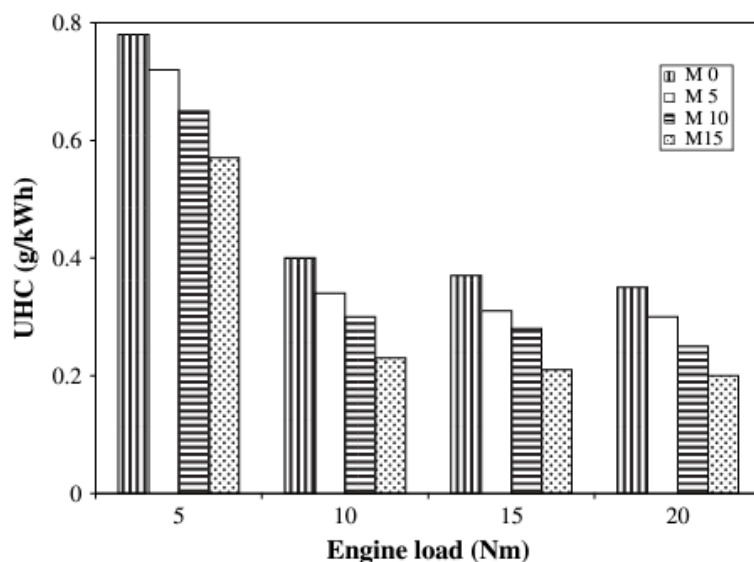
hodnot pro časování vstřiku  $20^\circ$  před horní úvratí a použité směsi s 5 % metanolu. Při tomto nastavení byly naměřeny hodnoty oxidu uhelnatého 0,19 g/kWh při zátěži 20 Nm a 0,60 g/kWh při zátěži 5 Nm. Dále bylo zjištěno, že při zvyšování předstihu vstřiku jsou emise oxidu uhelnatého také snižovány. Konkrétní naměřené hodnoty jsou znázorněny v grafu na obrázku 15. Zvýšení předstihu vstřiku z  $20^\circ$  na  $25^\circ$  před horní úvratí za použití směsi s 10 % metanolu a zatížením 20 Nm způsobilo snížení produkce oxidu uhelnatého o 17,7 %. Při snížení předstihu vstřiku z  $20^\circ$  na  $15^\circ$  před horní úvratí za jinak stejných podmínek je produkce oxidu uhelnatého zvýšena o 29,44 %. Vyšší teplota spalování zapříčiněná zvýšením úhlu předstihu vstřiku totiž napomáhá lepší oxidaci mezi molekulami uhlíku a kyslíku, tím pádem spalování neprodukuje tolik oxidu uhelnatého ale oxid uhličitý. [20; 21; 22]



Obrázek 15 - graf závislosti produkce oxidu uhelnatého na časování vstřiku při zátěži 20 Nm [20]

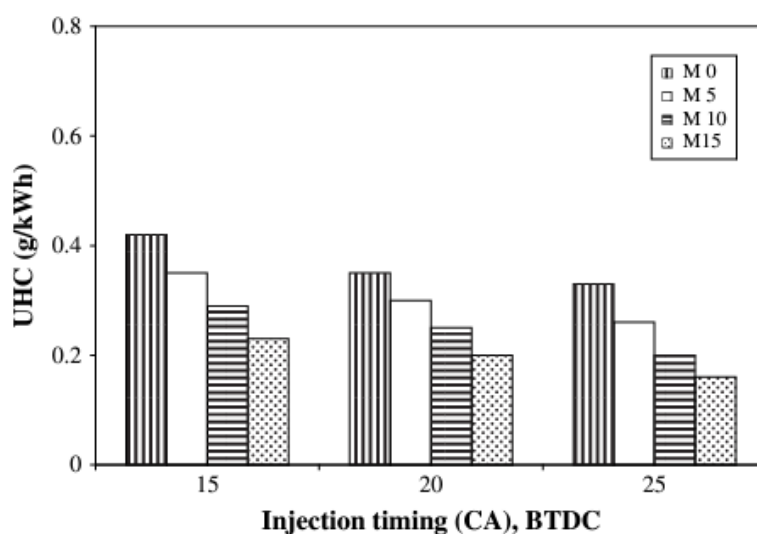
Dále byly zkoumány emise uhlovodíků. Uhlovodíky vznikají při nedokonalém spalování. K nedokonalému spalování ve vznětových motorech dochází často při nízké zátěži. Bylo zjištěno, že při zvýšení obsahu metanolu v palivu je produkce uhlovodíků snížena. Nejnížší emise uhlovodíků byly naměřeny při zátěži motoru 20 Nm a otáčkách  $2200 \text{ min}^{-1}$ . Konkrétně bylo naměřeno 0,20 g/kWh pro směs s 15 % metanolu, 0,25 g/kWh pro směs s 10 % metanolu, 0,30 g/kWh pro směs s 5 % metanolu a 0,35 g/kWh při použití čisté nafty. Obdobně jako u emisí oxidu uhelnatého, kyslík obsažený v metanolu napomáhá dobrému spalování a důsledkem toho je nižší produkce uhlovodíků. Konkrétní výsledky měření jsou zobrazeny na obrázku 16. Zjištěn byl i kladný vliv zvyšování předstihu vstřiku paliva na produkci uhlovodíků. Při použití směsi

s 10 % metanolu, zátěži 20 Nm a zvýšení úhlu předstihu vstřiku z 20° před horní úvratí na 25° před horní úvratí byla produkce uhlovodíků snížena o 20,12 %. Zároveň, za stejných podmínek, snížení úhlu předstihu vstřiku z 20° před horní úvratí na 15° před horní úvratí byla produkce uhlovodíků zvýšena o 19,23 %. Konkrétní naměřené hodnoty jsou vyobrazeny v grafu na obrázku 17. [20]



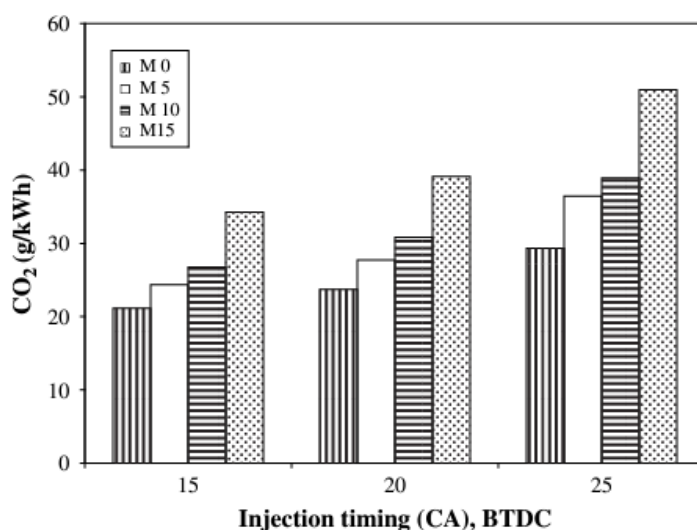
Obrázek 16 - graf závislosti produkce uhlovodíků na zátěži motoru při časování vstřiku 20° před horní úvratí [20]

Zvýšení úhlu předstihu vstřiku paliva způsobí dřívější vznícení směsi ve válci. Dřívější vznícení směsi vede k vyšším teplotám hoření, a tím pádem nižší produkci uhlovodíků.[20]



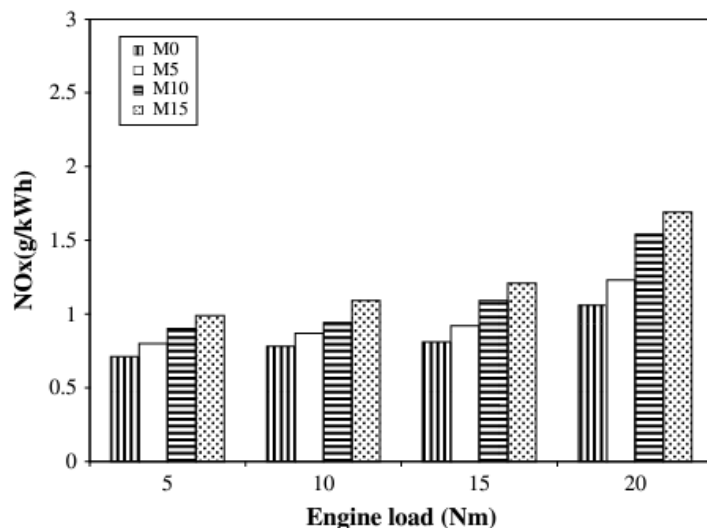
Obrázek 17 - graf závislosti produkce uhlovodíků na předstihu vstřikování při zátěži 20 Nm [20]

Měřeny byly i emise oxidu uhličitého. Oxid uhličitý patří k normálním produktům spalování. Nicméně se jedná o skleníkový plyn a redukce jeho emisí je žádoucí. Produkce oxidu uhličitého naměřena při časování vstřiku 20° před horní úvratí a zátěži motoru 20 Nm. byla 39.15 g/kWh pro směs s 15 % metanolu, 30.83 g/kWh pro směs s 10 % metanolu, 27.70 g/kWh pro směs s 5 % metanolu a 23.72 g/kWh pro provoz na čistou naftu. Se zvýšením úhlu předstihu vstřiku se zvýšila i produkce oxidu uhličitého, jak je možné vidět z grafu na obrázku 18. Při zvýšení úhlu předstihu vstřiku z 20° před horní úvratí na 25° před horní úvratí, za použití směsi s obsahem metanolu 5 % a zátěži 20 Nm byla produkce oxidu uhličitého zvýšena o 31,55 %. Toto zvýšení produkce oxidu uhličitého je následkem zvýšené spotřeby paliva při použití metanolu.[20; 21]

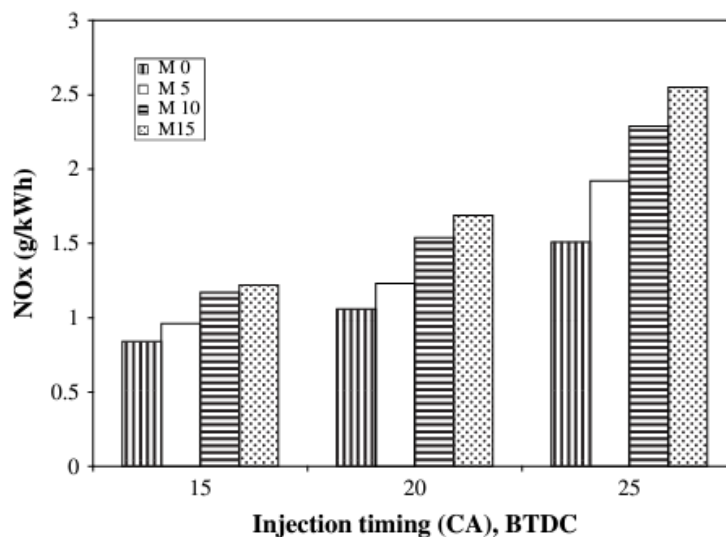


Obrázek 18 - graf závislosti produkce oxidu uhličitého na úhlu předstihu vstřiku při zátěži 20 Nm [20]

Dalším sledovaným parametrem byly emise oxidů dusíku. Konkrétní oxidy dusíku obsažené ve výfukových plynech byly oxid dusnatý a oxid dusičný. Tvorba těchto oxidů vysoce závisí na teplotě ve válci, koncentraci kyslíku ve válci při spalování a době hoření. Výsledky měření ukazují, že se zvyšující se zátěží roste i produkce oxidů dusíku. Nejvyšší koncentrace oxidů dusíku byly naměřeny při použití paliva s obsahem 15 % metanolu. Naměřené množství oxidů dusíku při zátěži 20 Nm bylo 1.69 g/kWh pro směs s 15 % metanolu, 1.54 g/kWh pro směs s 10 % metanolu, 1.23 g/kWh pro směs s 5 % metanolu a 1.06 g/kWh pro spalování čisté nafty. Konkrétní naměřené hodnoty jsou vyobrazeny v grafu na obrázku 19.[20; 11; 23]



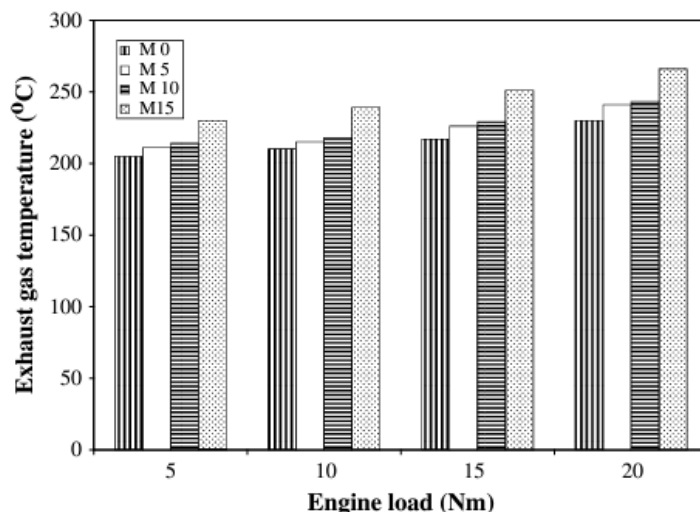
Obrázek 19 - graf závislosti produkce oxidů dusíku na zátěži motoru při časování vstřiku 20° před horní úvratí [20]



Obrázek 20 - graf závislosti produkce oxidů dusíku na předstihu vstřiku paliva při zátěži 20 Nm [20]

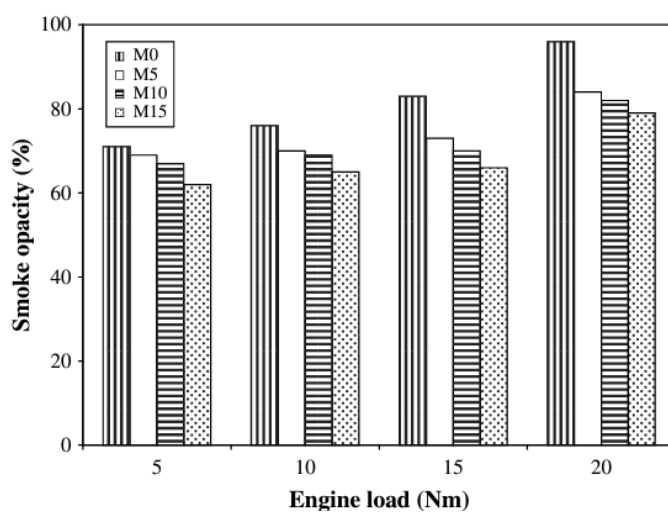
Při snížení předstihu vstřiku paliva bylo pozorováno snížení produkce oxidů dusíku. Konkrétní naměřené hodnoty jsou vyobrazeny v grafu na obrázku 20. Při použití směsi s 5 % metanolu a snížení předstihu vstřiku paliva z 20° před horní úvratí na 15° před horní úvratí bylo sledováno snížení produkce emisí oxidů dusíku o 28,12 %. Snížení předstihu vstřiku paliva má za následek snížení maximálního tlaku ve válci při hoření směsi. Nižší tlak ve válci má za následek snížení teploty ve válci, což poté napomáhá snížení produkce oxidů dusíku. Navzdory nižší výhřevnosti metanolu oproti naftě a vysokému měrnému teplu vypařování metanolu se s rostoucí koncentrací metanolu

v palivu zvyšuje teplota výfukových plynů. Konkrétní naměřené teploty výfukových plynů jsou zobrazeny v grafu na obrázku 21. Toto je zapříčiněno vysokým obsahem kyslíku v metanolu a nižším cetanovým číslem metanolu oproti naftě. [20; 24; 22]



Obrázek 21 - graf závislosti teploty výfukových plynů na zátěži motoru při vstřikování paliva 20° před horní úvratí [20]

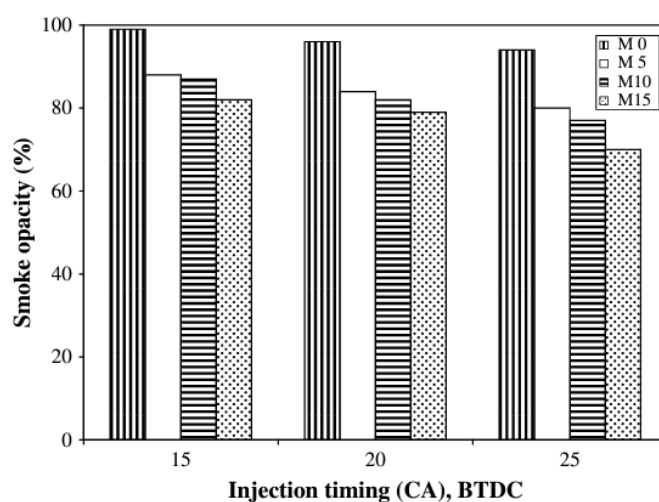
Sledovány byly také emise pevných částic. Jde především o emise sazí a uhlovodíků. Přičemž saze jsou hlavní příčinou kouřivosti motoru. Pro měření pevných částic byl tedy použit opacimetr, který sleduje kouřivost motoru. Saze vznikají při extrémním nedostatku kyslíku při spalování. Minimální kouřivost motoru při použití předstihu vstřiku paliva 20° byla zaznamenána při zátěži motoru 5 Nm. Hodnoty naměřené pro tuto zátěž byly 65 % pro směs s 15 % metanolu, 67 % pro směs s 10 %



Obrázek 22 - graf závislosti kouřivosti motoru na jeho zátěži při použití předstihu vstřiku 20° před horní úvratí [20]

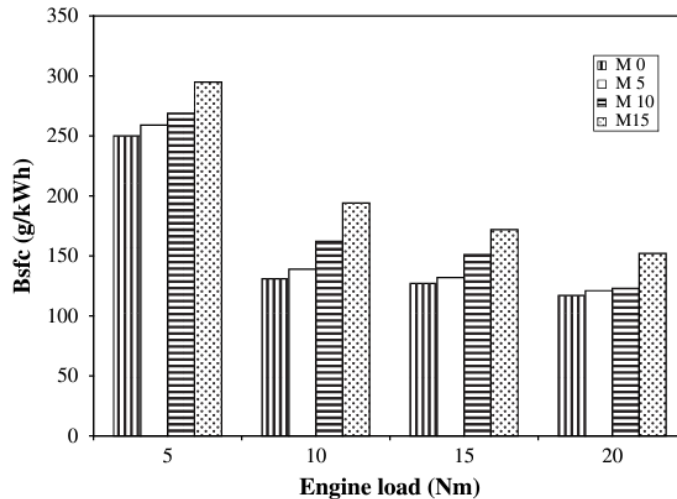
metanolu, 69 % pro směs s 5 % metanolu a 71 % při použití čisté nafty. Kouřivost motoru také vysoce závisí na jeho zátěži. Pro úhel předstihu vstřiku  $20^\circ$  a směs s 15 % metanolu byla naměřena kouřivost 81 % při zátěži 20 Nm a 62 % pro zátěž 5 Nm. Konkrétní závislost kouřivosti na zátěži motoru je vyobrazena v grafu na obrázku 22.[20; 25]

Zvyšování předstihu vstřiku vedlo ke snížení produkce kouře. Zvýšení předstihu motoru vede ke zvýšení teploty ve válci. Zvýšená teplota napomáhá oxidaci částic sazí. Při použití čisté nafty, zátěže motoru 20 Nm a zvýšení předstihu vstřikování paliva z  $20^\circ$  před horní úvratí na  $25^\circ$  před horní úvratí byla snížena kouřivost motoru o 5,31 %. Konkrétní naměřené hodnoty jsou uvedeny v grafu na obrázku 23. [20; 23]



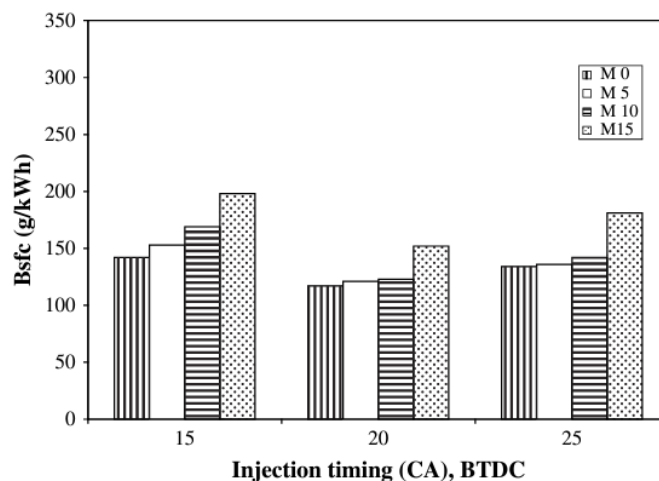
Obrázek 23 - graf závislosti úhlu předstihu vstřiku paliva na kouřivosti motoru při zátěži 20 Nm [20]

Bylo zjištěno, že s rostoucím obsahem metanolu v palivu roste i měrná spotřeba paliva. Toto je způsobeno nižší výhřevností metanolu oproti naftě. Proto pro zachování stejného výkonu je třeba vstříkovat do válce více paliva. Měrná spotřeba paliva při předstihu vstřiku  $20^\circ$  před horní úvratí a zátěži 20 Nm byla naměřena 117 g/kWh při použití čisté nafty, 121 g/kWh při použití směsi paliva s 5 % metanolu, 123 g/kWh při použití směsi s obsahem metanolu 10 % a 152 g/kWh při použití směsi s 15 % metanolu. Nicméně měrná spotřeba paliva při zvýšení zátěže z 5 Nm na 20 Nm byla snížena 1,9krát. Toto je zapříčiněno tím, že při zvyšování zátěže je poměr zvýšení výkonu motoru vyšší než poměr zvýšení spotřeby. Konkrétní naměřené hodnoty spotřeby v závislosti na zátěži motoru jsou zobrazeny v grafu na obrázku 24. [20; 26]



Obrázek 24 - graf závislosti spotřeby paliva na zátěži motoru při předstihu vstřikování paliva 20° [20]

Naměřené hodnoty měrné spotřeby v závislosti na časování vstřiku při zátěži motoru 20 Nm jsou vyobrazeny v grafu na obrázku 25. Při snížení předstihu vstřikování směsi z 20° před horní úvratí na 15° před horní úvratí a použití směsi s 15 % metanolu byla měrná spotřeba zvýšena o 30,26 %. Při zvýšení předstihu vstřiku paliva se oddálí vznícení směsi a rychlost hoření bude menší. Toto sníží maximální tlak ve válci a výkon motoru. Tím pádem se zvýší měrná spotřeba paliva. Minimální měrná spotřeba paliva byla tedy zjištěna při použití předstihu vstřiku 20° před horní úvratí. [20]



Obrázek 25 - graf vlivu časování vstřiku paliva na měrné spotřebě paliva při zátěži 20 Nm [20]

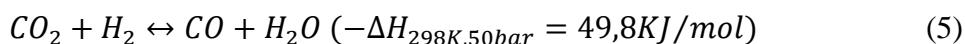
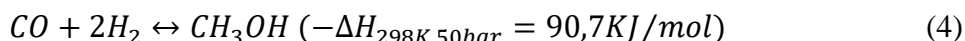
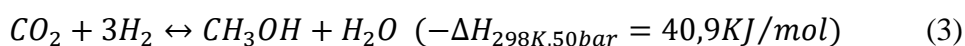
## 4.5 Výroba metanolu

V současné době je většina metanolu vyráběna ze zemního plynu. Metanol ale může být vyráběn z jakéhokoli materiálu, který je možné rozložit na oxid uhelnatý nebo oxid uhličitý a vodík. Toto znamená, že pro výrobu metanolu lze využít také obnovitelných zdrojů jako například dřeva, zemědělských plodin nebo odpadní biomasy. [9]

## 4.6 Výroba ze syntézního plynu

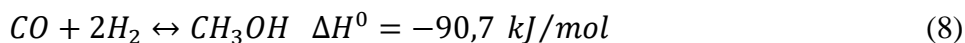
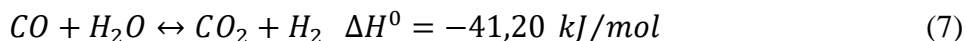
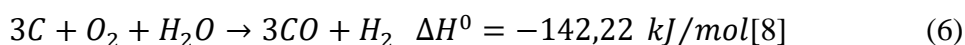
Syntézní plyn (zkráceně syngas) je kombinací oxidu uhelnatého a vodíku. Je hořlavý a může být sám použit jako palivo. Lze jej vyrábět z různých surovin jako jsou dřevo, bioplyn, uhlí, zemní plyn. Za druhé světové války byl pod názvem dřevoplyn používán k pohonu automobilů. [14; 7]

Výroba metanolu ze syntézního plynu probíhá v reaktoru při tlaku 6-7 MPa a teplotě 200-250 °C. Syntéza metanolu probíhá dle vztahů (3), (4) a (5). Tyto chemické reakce jsou exotermické.[15; 14]



## 4.7 Výroba metanolu zplynováním uhlí

Za vysoké teploty a tlaku je z uhlého prachu uvolňován syntézní plyn. Takto vzniklý plyn je kontaminován nečistotami z uhlí jako jsou dusík a síra. Tyto nečistoty jsou z plynu filtrovány pomocí roztoku aminů. Tímto krokem je ztracena i značná část oxidu uhelnatého a vodíku. Proto dalším krokem je reakce zvaná water-gas shift reaction. Výsledkem této reakce je požadovaný metanol. Reakce probíhají dle vztahů (6), (7) a (8). [6]





## **4.8 Výroba metanolu ze dřeva**

Výroba metanolu ze dřeva je velmi podobná výrobě metanolu z uhlí. Jde o obdobný princip získávání syntézního plynu ze dřeva. Z takto vzniklého plynu je poté syntetizován metanol. [14]

Podobnými procesy lze takto vyrábět metanol ze zemního plynu, kukuřice nebo jako sekundární produkt elektrárnách spalujících uhlí. Konkrétně jeho výroba z biomasy ho činí udržitelným ekologicky přívětivým palivem pro spalovací motory. [14]

## 5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo provést rešerši v oblasti využití metanolu jako paliva pro vznětové motory. V rámci rešerše byly zkoumány vlivy využití metanolu na provozní charakteristiky vznětového motoru a porovnání metanolu s motorovou naftou. Záměrem bylo nastínit možnost využití alternativních paliv pro snížení dopadu provozu spalovacích motorů na životní prostředí. Popsán byl vývoj a funkce vznětových motorů. Dále pak paliva masově využívaná a paliva potencionálně využitelná pro pohon vznětových motorů.

Hlavním zaměřením bylo využití metanolu jako alternativního udržitelného paliva pro vznětový motor. Práce se zabývala využitím metanolu v osobní, nákladní, železniční a námořní dopravě. Zkoumány byly případové studie zabývající se touto problematikou. Popsány byly i možné způsoby výroby metanolu.

Ač má použití metanolu značný potenciál snížit emise škodlivých látek a zlepšit výkonnostní charakteristiky vznětových motorů, ne ve všech případech tomu tak je. Samotný metanol je pro svou vysokou teplotu samovznícení nevhodný pro pohon konvenčních vznětových motorů. Lze ho však využít ve směsi s motorovou naftou. Metanol se s motorovou naftou špatně mísí, je tedy nutné při použití této směsi využívat rozpouštědel, míchadel nebo metanol a naftu vstříkovat do motoru separátně. Nespornou výhodou metanolu je jeho vysoký obsah kyslíku. Kyslík napomáhá dokonalejšímu spalování, což má za následek zvýšení výkonu a snížení emisí oxidu uhelnatého, uhlovodíků a pevných částic. Vysoké teplo vypařování metanolu má kladný vliv na provozní parametry motoru ve formě snížení tepelné zátěže. Vysoký obsah kyslíku v metanolu ale naopak zvyšuje teplotu hoření. Vysoká teplota hoření v kombinaci s vysokým obsahem kyslíku vede k tvorbě oxidů dusíku. Ve vyšších dávkách pak mohou být oxidy dusíku pro člověka škodlivé. Metanol má také oproti naftě výrazně nižší výhřevnost, což vede při jeho použití ke zvýšení spotřeby paliva. Zvýšená spotřeba paliva má poté za následek vyšší produkci oxidu uhličitého.

Hypotéza, že metanol má pozitivní účinky na emise a provozní charakteristiky vznětového motoru nebyla tedy zcela potvrzena. Využití metanolu pro provoz vznětových motorů má nesporné výhody, má však i svá úskalí.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [2] Wikipedia. Rudolf Diesel. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, [2024] [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rudolf\\_Diesel](https://en.wikipedia.org/wiki/Rudolf_Diesel)
- [3] BENSON, Rowland S a Norman Dan WHITEHOUSE. *Internal combustion engines: a detailed introduction to the thermodynamics of spark and compression ignition engines, their design and development: a detailed introduction to the thermodynamics of spark and compression ignition engines, their design and development*. 1. Elsevier, 2013. ISBN 1483140024.
- [4] SUCHOMEL, Josef. *Termodynamické cykly využívané v energetice* [online]. Brno, 2021 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/198742>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Energetický ústav. Vedoucí práce Marek Baláš.
- [5] MARCUS, Alex. Diesel Fuel Basics. *PassageMarker Inc. Magazine*. 1999.
- [6] LUKŮVKA, R a J ČUPERA. *Emissions from the combustion of vegetable oil in a diesel engine*. MendelNet, 2010.

- [7] BAE, Choongsik a Jaeheun KIM. Alternative fuels for internal combustion engines. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2017, **36**(3), 3389-3413. ISSN 1540-7489. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.proci.2016.09.009>
- [8] HOSPODSKÝ, Jiří. *Analýza alternativních paliv do vznětových spalovacích motorů*. Univerzita Pardubice, 2015.
- [9] ZHEN, Xudong a Yang WANG. An overview of methanol as an internal combustion engine fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, **52**, 477-493. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.083>
- [10] SAYIN, Cenk. Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol–diesel blends. *Fuel*. 2010, **89**(11), 3410-3415. ISSN 0016-2361. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.02.017>
- [11] XU, Changchun, Yuan ZHUANG, Yejian QIAN a Haengmuk CHO. Effect on the performance and emissions of methanol/diesel dual-fuel engine with different methanol injection positions. *Fuel*. 2022, **307**, 121868. ISSN 0016-2361. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121868>
- [12] VERHELST, Sebastian, James WG TURNER, Louis SILEGHEM a Jeroen VANCOILLIE. Methanol as a fuel for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2019, **70**, 43-88. ISSN 0360-1285. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.10.001>

- [13] *Vliv alkoholových paliv na výkonové a emisní parametry vznětových motorů.* Praha - Suchdol, 2023. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [14] *Methanol A Sustainable Transport Fuel for SI Engines: A Sustainable Transport Fuel for SI Engines.* Springer, 2022. ISBN 978-981-16-1223-7.
- [15] *Methanol: A Sustainable Transport Fuel for CI Engines.* Springer, 2021. ISBN 978-981-16-1279-4.
- [16] REITZ, Rolf D. Directions in internal combustion engine research. *Combustion and Flame*. 2013, **160**(1), 1-8. ISSN 0010-2180. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2012.11.002>
- [17] YUSAF, T, I HAMA WAND, P BAKER a G NAJAFI. The effect of methanol-diesel blended ratio on CI engine performance. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. 2013, **8**, 1385-1395. ISSN 2180-1606.
- [18] ZHANG, Zhiqing, Jie TIAN, Jiangtao LI, et al. Effects of different mixture ratios of methanol-diesel on the performance enhancement and emission reduction for a diesel engine. *Processes*. MDPI, 2021, **9**(8), 1366. ISSN 2227-9717.
- [19] YAO, Chunde, C.S. CHEUNG, Chuanhui CHENG, Yinshan WANG, T.L. CHAN a S.C. LEE. Effect of Diesel/methanol compound combustion on Diesel engine combustion and emissions. *Energy Conversion and Management*. 2008, **49**(6), 1696-1704. ISSN 0196-8904. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.11.007>

- [20] SAYIN, Cenk, Murat ILHAN, Mustafa CANAKCI a Metin GUMUS. Effect of injection timing on the exhaust emissions of a diesel engine using diesel–methanol blends. *Renewable Energy*. 2009, **34**(5), 1261-1269. ISSN 0960-1481. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.10.010>
- [21] HASAN, Ahmad O., Ahmed I. OSMAN, Ala'a H. AL-MUHTASEB, et al. An experimental study of engine characteristics and tailpipe emissions from modern DI diesel engine fuelled with methanol/diesel blends. *Fuel Processing Technology*. 2021, **220**, 106901. ISSN 0378-3820. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106901>
- [22] WEI, Lijiang, Chunde YAO, Guopeng HAN a Wang PAN. Effects of methanol to diesel ratio and diesel injection timing on combustion, performance and emissions of a methanol port premixed diesel engine. *Energy*. 2016, **95**, 223-232. ISSN 0360-5442. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.020>
- [23] BERBER, Adnan. The effect of diesel-methanol blends with volumetric proportions on the performance and emissions of a diesel engine. *Mechanics*. 2019, **25**(5), 363-369. ISSN 2029-6983.
- [24] KALGHATGI, G.T. Developments in internal combustion engines and implications for combustion science and future transport fuels. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2015, **35**(1), 101-115. ISSN 1540-7489. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.proci.2014.10.002>
- [25] POPA, Marcel Ginu, Nicolae NEGURESCU, Constantin PANA a Alexandru RACOVITZA. Results obtained by methanol fuelling diesel engine. *SAE International, Washington, DC*. 2001.

- [26] SAYIN, Cenk, Ahmet Necati OZSEZEN a Mustafa CANAKCI. The influence of operating parameters on the performance and emissions of a DI diesel engine using methanol-blended-diesel fuel. *Fuel*. 2010, **89**(7), 1407-1414. ISSN 0016-2361. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.10.035>
- [27] Diesel engine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, [2024] [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine)
- [28] CEBIA. Vznětový motor je s námi už 125 let. Víte, jak funguje? CEBIA. *Vznětový motor je s námi už 125 let. Víte, jak funguje?* [online]. c2024 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.cebiam.cz/novinky/rady-a-tipy/vznetovy-motor-je-s-nami-uz-125-let-vite-jak-funguje>
- [29] MARUŠÁK, Ondřej. *Ideální oběhy spalovacích motorů* [online]. Brno, 2009 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/10691>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Energetický ústav. Vedoucí práce Josef Štětina.
- [30] MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ. Výkon spalovacího motoru. MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ. *Výkon spalovacího motoru* [online]. c2016 [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.autozkusebna.mendelu.cz/html/vykon.htm>
- [31] DEUTZ AG [online]. 2024 [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://www.deutz.com/en/products/engines>