



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# ALTERNATIVNÍ PALIVA PRO VZNĚTOVÉ POHONNÉ JEDNOTKY

ALTERNATIVE FUELS FOR CI-ENGINES

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Martin Matoušek**

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Radim Dundálek, Ph.D.**

**BRNO 2023**



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Martin Matoušek**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **Ing. Radim Dundálek, Ph.D.**  
Akademický rok: 2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Alternativní paliva pro vznětové pohonné jednotky**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Uvedení přehledu možných alternativních paliv a jejich vlastností, porovnání s klasickou naftou a úvaha nad perspektivou budoucího vývoje a reálného uplatnění v praxi.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Zamyšlení nad aktuálními trendy v oblasti alternativních paliv (HVO, FAME, UCOME atd.) – hydrogenace, paliva na bázi živočišných a kafilerních tuků případně použitých rostlinných olejů.

#### **Seznam doporučené literatury:**

REIF, Konrad. Diesel engine management: systems and components. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2014. ISBN 9783658039806.

MAJEWSKI, W. A., KHARI, K. M. Diesel Emissions and Their Control, SAE International, 2006, 561 s., ISBN 0768006740, 9780768006742.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tématem této bakalářské práce jsou alternativní paliva použitelná ve vznětových motorech. Zprvu je uveden stručný úvod do problematiky vznětových motorů, dále jsou popsána jednotlivá alternativní paliva. V práci jsou shrnuty nejdůležitější poznatky o těchto palivech a je provedeno jejich porovnání s motorovou naftou. Závěrem je každé palivo zhodnoceno z hlediska jeho výhod, nevýhod a použitelnosti v praxi.

## KLÍČOVÁ SLOVA

nafta, bionafta, FAME, UCOME, HVO, dimethylether, DME, syntetická paliva, emise

## ABSTRACT

The topic of this bachelor thesis is alternative fuels applicable in diesel engines. First, a brief introduction to the diesel engine is given, then the individual alternative fuels are described. The most important findings about these fuels are summarized and a comparison with diesel fuel is made. Finally, each fuel is evaluated in terms of its advantages, disadvantages and applicability in practice.

## KEYWORDS

diesel, biodiesel, FAME, UCOME, HVO, dimethyl ether, DME, synthetic fuels, emissions

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATOUŠEK, Martin. *Alternativní paliva pro vznětové pohonné jednotky* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149839>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Radim Dundálek.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 19. května 2023

.....

Martin Matoušek

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Radimovi Dundálkovi, Ph.D. za doporučení literárních pramenů a za věcné připomínky k práci. Velký dík také patří mým rodičům za jejich trpělivost a podporu během celého mého studia.



# OBSAH

Úvod.....	11
<b>1 Vznětové motory .....</b>	<b>12</b>
1.1 Čtyřdobý vznětový motor .....	13
1.1.1 Dieselův cyklus .....	14
1.1.2 Sabatův cyklus .....	14
1.2 Palivo vznětových motorů .....	15
1.2.1 Požadavky na palivo .....	15
1.2.2 Motorová nafta .....	17
1.3 Emise vznětových motorů .....	18
1.3.1 Produkované emise.....	18
1.3.2 Emisní normy .....	20
<b>2 Dřevoplyn .....</b>	<b>21</b>
2.1 Historie.....	21
2.2 Nutné úpravy motoru .....	22
2.3 Výhody.....	22
2.4 Nevýhody.....	22
2.5 Zhodnocení .....	22
<b>3 Bionafta.....</b>	<b>23</b>
3.1 Historie.....	23
3.2 Výroba .....	23
3.3 Bionafta 1. generace .....	24
3.3.1 UCOME.....	24
3.3.2 TME.....	25
3.3.3 Srovnání s naftou .....	25
3.3.4 Nutné úpravy motoru.....	28
3.3.5 Výhody .....	28
3.3.6 Nevýhody .....	28
3.4 Bionafta 2. generace .....	29
3.4.1 Srovnání s naftou .....	29
3.4.2 Nutné úpravy motoru.....	29
3.4.3 Výhody .....	30
3.4.4 Nevýhody .....	30
3.5 Zhodnocení .....	30
<b>4 Hydrogenovaný rostlinný olej .....</b>	<b>31</b>
4.1 Historie.....	31
4.2 Výroba .....	31
4.3 Srovnání s naftou .....	32
4.3.1 Výkon motoru.....	33
4.3.2 Emise .....	34
4.4 Nutné úpravy motoru .....	35
4.5 Výhody.....	35
4.6 Nevýhody.....	35
4.7 Zhodnocení .....	35

---

<b>5</b>	<b>Dimethylether .....</b>	<b>36</b>
5.1	Historie .....	36
5.2	Výroba .....	36
5.3	Srovnání s naftou .....	37
5.3.1	Výkon motoru .....	37
5.3.2	Emise .....	38
5.4	Úpravy motoru .....	39
5.5	Výhody .....	40
5.6	Nevýhody .....	40
5.7	Zhodnocení .....	40
<b>6</b>	<b>Syntetická nafta .....</b>	<b>41</b>
6.1	Historie .....	41
6.2	Výroba .....	42
6.2.1	Výroba pouze z obnovitelných zdrojů .....	42
6.3	Srovnání s naftou .....	43
6.3.1	Výkon .....	44
6.3.2	Emise .....	44
6.4	Nutné úpravy motoru .....	44
6.5	Výhody .....	45
6.6	Nevýhody .....	45
6.7	Zhodnocení .....	45
	<b>Závěr .....</b>	<b>46</b>
	<b>Použité informační zdroje .....</b>	<b>47</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>50</b>

## ÚVOD

Svět, co se pohonných jednotek týče, je v současné době závislý hlavně na palivech získaných z ropy. Nicméně ropa patří mezi neobnovitelné zdroje energie, tudíž mohou nastat otázky týkající se dlouhodobé dostupnosti paliv z ní vyrobených. To jde ruku v ruce s degradací životního prostředí v důsledku tvorby emisí, které vznikají spalováním právě těchto fosilních paliv. Proto je vhodné do budoucna tato paliva nahradit, či jejich použití alespoň značně omezit.

Vznětové motory, převážně díky lepší tepelné účinnosti oproti motorům zážehovým, našly své uplatnění nejen v osobních a nákladních automobilech, ale také kupříkladu ve stavebních a zemědělských strojích, vlacích a lodích. Při použití dnes nejčastěji užívané motorové nafty k jejich pohonu jsou však také hlavním přispěvatelem ke znečištění ovzduší, protože ve srovnání se zážehovými motory vypouštějí více oxidů a pevných částic nebezpečných lidskému zdraví a životnímu prostředí.

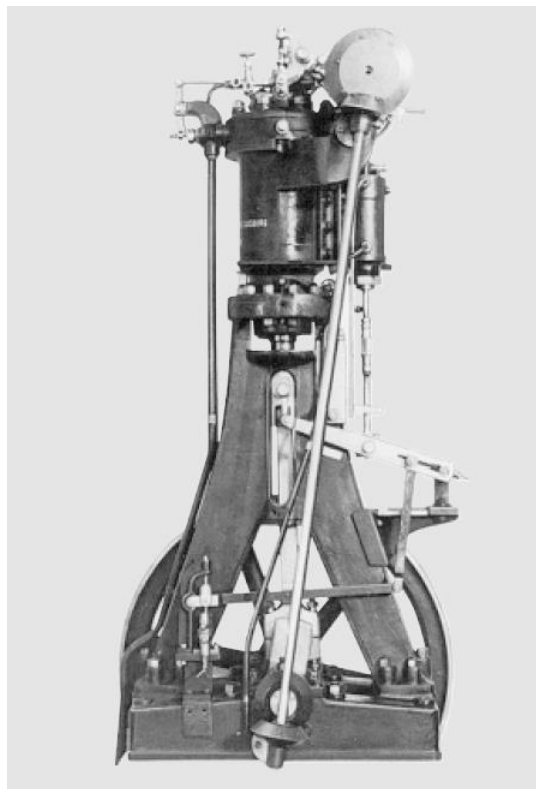
Mezi paliva, jež mají největší potenciál jakožto konkurence či dokonce náhrada motorové nafty, patří methylestery mastných kyselin, známé také pod pojmem bionafta, či zkratkou FAME, hydrogenovaný rostlinný olej (HVO), dimethylether (DME) a syntetická nafta. Tato bakalářská práce se bude zabývat výše zmíněnými alternativními palivy, jejich vlastnostmi, výrobou, srovnáním s motorovou naftou, jejich výhodami a nevýhodami a bude pojednávat o jejich použitelnosti v běžném provozu.

# 1 VZNĚTOVÉ MOTORY

Historie vznětového motoru a první práce na něm sahají až do první poloviny 19. století, avšak za jeho skutečného vynálezce je považován až německý vědec Rudolf Diesel, který ve spolupráci se společností Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN) sestrojil, a v roce 1897 světu představil, první funkční prototyp vznětového motoru a vnukl mu dodnes používaný název – Dieselův motor. Tento první vznětový motor byl poháněn v té době levným topným olejem, avšak přístroj vážil přibližně 4,5 tuny a byl vysoký tři metry, proto nebylo ani uvažováno s jeho využitím v dopravě. Nicméně s dalším postupným zlepšováním nejen paliva a palivového vstřikování se Dieselův vynález ujal, a tak již zanedlouho pro lodní motory neexistovaly žádné životaschopné alternativy. Vznětové motory se postupně stávaly více a více kompaktními, a tak o necelých 30 let později našly své místo i v konstrukci nákladních automobilů.[1]

Od této doby ušly Dieselové motory kus cesty, a tak je lze v současnosti zcela nepochybně považovat za jedny z nejpoužívanějších pohonných jednotek. Jejich největší využití nenajdeme už pouze u lodí a nákladních automobilů, oblíbené jsou také v osobních automobilech a zemědělských, či stavebních strojích. Často také pohání lokomotivy a pozemní vojenskou techniku. Neobvyklé není ani jejich použití coby agregátů ve velkých technologických celcích jako jsou jaderné elektrárny, kde v případě výpadku elektrické rozvodné sítě zajišťují napájení.

Z technické perspektivy se vznětové motory řadí do pístových spalovacích motorů s diskontinuálním vnitřním spalováním. Úlohou motorů obecně je přeměna dodané energie na mechanickou práci. V případě vznětového motoru je onou dodanou energií chemická energie paliva, jež se přeměňuje vlivem teploty a tlaku vznícením paliva na tepelnou energii.



Obr. 1 Prototyp Dieselova motoru [1]

## 1.1 ČTYŘDOBÝ VZNĚTOVÝ MOTOR

Ve skupině vznětových motorů představují čtyřdobé, někdy nazývané čtyřtaktní, majoritní většinu, jelikož tento typ pohání prakticky každé vozidlo s Dieselovým motorem, které lze na silnicích potkat. Celková činnost těchto motorů se pohybuje mezi 30 až 40 %, u přeplňovaných vznětových jednotek jsou dosahovány hodnoty ještě vyšší, což dělá z těchto motorů jedny z neúčinnějších, co se spalovacích motorů týče.[2]

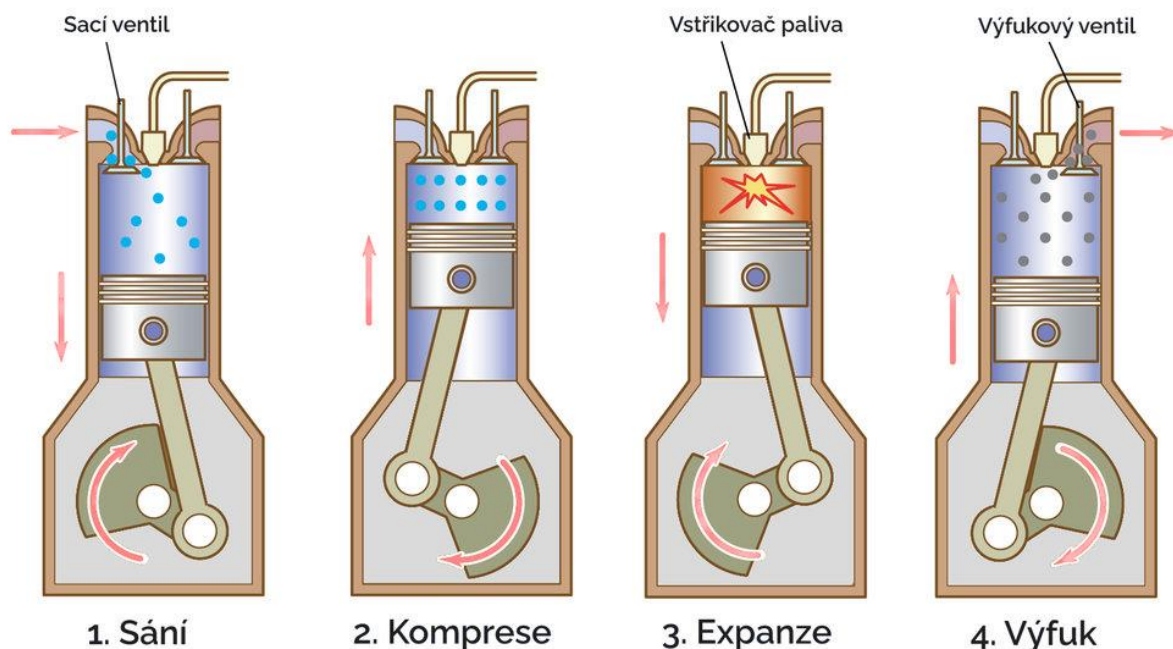
Pracovní cyklus čtyřdobého vznětového motoru probíhá během dvou otáček klikového hřídele a je složen ze čtyř na sebe navazujících fází. Jednotlivé fáze jsou popsány pro vznětové jednotky s přímým vstřikem paliva, které jsou v současnosti nejvíce používané: [2]

1. Sání – sací ventil je otevřený, výfukový ventil je zavřený, píst se pohybuje z horní úvrati do dolní úvrati, do válce se nasává vzduch.

2. Komprese – oba ventily jsou uzavřeny, píst se pohybuje z dolní úvrati do úvrati horní, vzduch je stlačován, což znamená zmenšení jeho objemu a zvětšení jeho teploty a tlaku. Těsně před horní úvrati se do horkého vzduchu ohřátého kompresí vstříkne palivo, které se teplem stlačeného vzduchu samovolně vznítí.

3. Expanze – oba ventily jsou uzavřeny, píst se pohybuje z horní úvrati do dolní úvrati, směs prudce hoří, horké spaliny expandují a tlačí na píst, čímž kliková hřídel koná mechanickou práci.

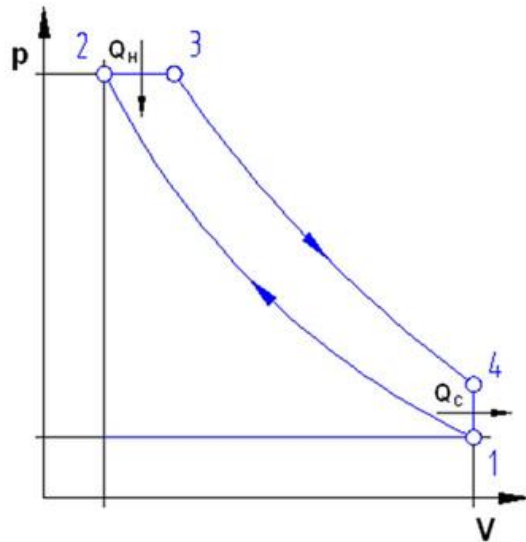
4. Výfuk – v této době pracovního oběhu dochází k odstranění spalin z pracovního prostoru motoru, sací ventil je uzavřený, výfukový ventil je otevřený, píst se pohybuje z dolní úvrati do úvrati horní, spaliny jsou odváděny společně se svým teplem mimo válec.



Obr. 2 Pracovní cyklus čtyřdobého vznětového motoru s přímým vstřikováním [3]

### 1.1.1 DIESELŮV CYKLUS

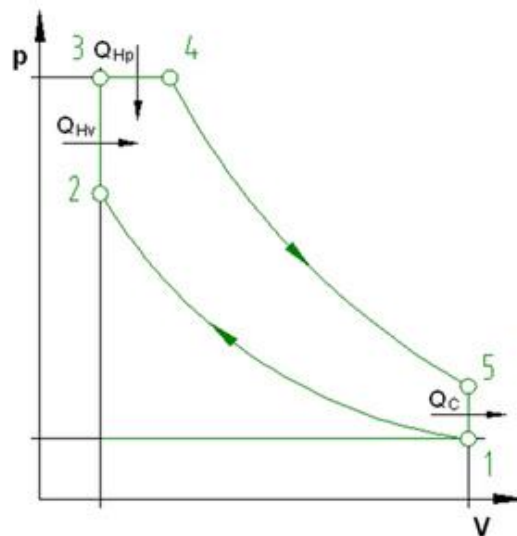
Dieselův oběh je teoretickým základem původních vznětových motorů, kde bylo palivo vstřikováno stlačeným vzduchem (kompresorové motory). Tento cyklus je tvořen dvěma adiabatickými křivkami, izobarou a izochorou. Teplo je zde dodáváno za konstantního tlaku, který teoreticky není větší než maximální kompresní tlak, a odvod tepla probíhá za konstantního objemu, viz *obr. 3*. [4]



*Obr. 3* p-V diagram ideálního Dieselova cyklu [5]

### 1.1.2 SABATŮV CYKLUS

Sabatův cyklus, známý také jako smíšený cyklus, Trinklerův cyklus, Seiligerův cyklus nebo Sabatheho cyklus, je tepelný cyklus, používaný moderními vznětovými motory. Skládá se ze dvou adiabatických, dvou izochorických a jednoho izobarického procesu. Přiváděné teplo se dodává částečně za konstantního objemu a částečně za konstantního tlaku, což dává palivu k dispozici více času na úplné spálení. Vzhledem k opožděným vlastnostem paliva je právě tento oběh vhodný pro použití u vznětových motorů. [5] Jeho p-V diagram lze vidět na *obr. 4*.



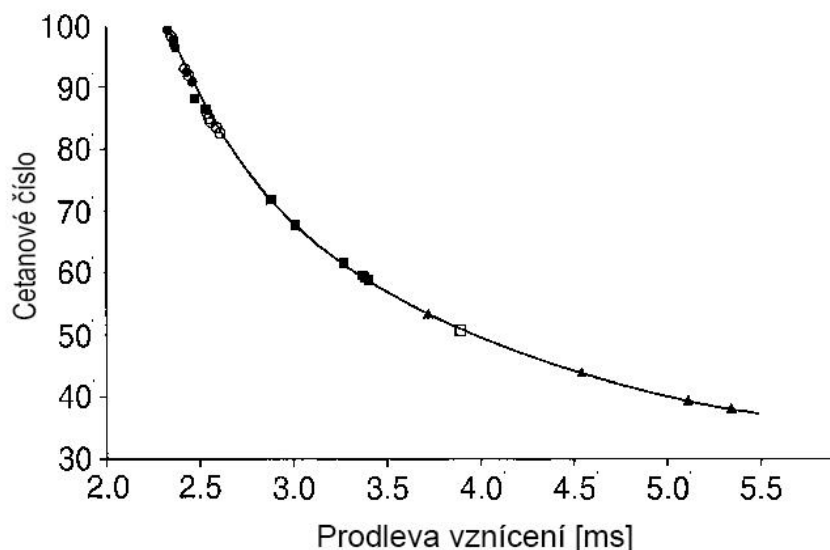
*Obr. 4* p-V diagram ideálního Sabatheho cyklu [5]

## 1.2 PALIVO VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

### 1.2.1 POŽADAVKY NA PALIVO

#### CETANOVÉ ČÍSLO

Z principu práce vznětového motoru plyne požadavek na dobrou vznětlivost vstříkovaného paliva. Náchylnost paliva k jeho samovznícení ve vznětovém motoru charakterizuje cetanové číslo. Zjednodušeně se dá říct, že čím vyšší toto číslo je, tím kvalitnější je palivo, jelikož větší cetanové číslo znamená kratší průtah vznícení paliva. Průtah vznícení je čas, který uplyne mezi vstříkem paliva do spalovacího prostoru, tedy válce, a okamžikem jeho vznícení. Cetanové číslo je určeno objemovým podílem dvou látek, a to cetanem a heptamethylnonanem (isocetan). Maximální cetanové číslo, tedy 100, charakterizuje velmi krátkou prodlevu vznícení a nejmenší cetanové číslo, 0, velmi dlouhou prodlevu vznícení, viz graf znázorněný na obr. 5.[6]



Obr. 5 Závislost cetanového čísla a prodlevy vznícení [7]

Vznětovému motoru však nevyhovuje palivo s příliš vysokým ani příliš nízkým cetanovým číslem. Malé cetanové číslo způsobuje, že prodleva vznícení je dlouhá a v jeho okamžiku je ve spalovacím prostoru rozprášeno a částečně i odpařeno velké množství paliva. To vede k vznícení velkého množství paliva záraz, což způsobí příliš rychlý nárůst tlaku ve spalovacím prostoru motoru. Motor s takovýmto palivem se pak vyznačuje zvýšenou hlučností a spotřebou a sníženým výkonem. Vysoké cetanové číslo způsobuje, že prodleva vznícení je krátká a palivo začíná hořet velmi blízko u trysky vstříkovače. V takovém případě je palivo nedostatečně promíseno se vzduchem a dochází k nedokonalému hoření za značného vzniku sazí. Blízkost plamene u trysky pak často způsobuje vznik karbonových úsad ucpávajících výstřikové otvůrky trysky, případně zadření jehly trysky. Nejpoužívanější motorové nafty mají cetanové číslo zhruba v rozmezí 50 až 60.[6]

Jelikož je cetanové číslo změřitelné pouze na zkušebním motoru, byl zaveden cetanový index, jehož určení je značně jednodušší. K jeho výpočtu stačí znát hustotu a destilační charakteristiku paliva. Číselně jsou si hodnoty cetanového indexu a cetanového čísla velmi podobné.[6]

## NÍZKOTEPLTNÍ VLASTNOSTI

Abychom věděli, jak se palivo bude chovat při nízkých teplotách, je vhodné znát jeho bod zákalu (tzv. Cloud point). Bod zákalu je teplota, při které se v palivu začínají vylučovat parafíny, jež se následně mohou usazovat na palivovém filtru, což může způsobit ucpání palivového potrubí a následné zhoršení až přerušení dodávky paliva do motoru.[6]

Druhou nízkoteplotní vlastností s bodem zákalu související je filtrovatelnost (z anglického cold filter plugging point známá pod zkratkou CFPP). Filtrovatelnost udává nejnižší teplotu, při které palivo přestává protékat přes filtr v důsledku jeho ucpání vyloučenými krystaly parafínů.[6]

## OBSAH SÍRY

Obsah síry v palivu má značný vliv na palivový systém a jeho životnost, současně ovlivňuje i další části motoru a motorový olej. Obsah sírných sloučenin v palivu také může způsobovat korozi součástí motoru. Palivo s vysokým obsahem síry negativně ovlivňuje vypouštění emise. Na jednu stranu je tedy žádoucí, aby obsah síry v palivu byl co nejmenší, na druhou stranu má síra pozitivní vliv na mazivost paliva a snižuje opotřebení vstřikovacích čerpadel vznětových motorů.[6]

## SKLADOVATELNOST

Skladovatelnost paliva určuje jeho oxidační stabilita. Oxidační stabilita je parametrem, který v palivu určuje množství látek se sklonem k tvorbě usazenin, čím větší oxidační stabilita je, tím déle můžeme palivo skladovat. Skladovatelnost je ale také negativně ovlivňována zušlechťujícími přísadami. Takováto aditiva mohou tvořit inhibitory koroze, mazivostní přísady, antioxidanty, detergenty, zvyšovače cetanového čísla atd.[6]

## OSTATNÍ POŽADAVKY

Výše uvedené parametry nejsou jedinými vlastnostmi paliva, které by měly být sledovány. Aby se palivo dalo požadovat za kvalitní mělo by mít dobrou výhřevnost, nízký bod varu, vhodnou hustotu a malou viskozitu, jelikož příliš velká viskozita je příčinou tvorby koncentrovaného aerosolu, který se nedokonale spaluje a dochází k zvýšené spotřebě paliva spolu s tvorbou sazí a vytváření karbonu. Palivo by také mělo mít dobrou mazivost, jelikož snížená mazivost vede k opotřebení vstřikovacích čerpadel diesellových motorů.[6]

V neposlední řadě je třeba nízký obsah vody, neboť ta může způsobit korozi mnoha částí motoru a taktéž je vhodný nízký obsah polyaromatických uhlovodíků, které škodí zdraví a životnímu prostředí. Mnohé z těchto vlastností lze vylepšit přimícháním aditiv. Tato aditiva pak zpravidla tvoří alkylnitráty, detergenty či di-terc-butylperoxid.[6], [8]



### 1.2.2 MOTOROVÁ NAFTA

Motorové nafty, dnes známé též pod pojmem diesel, jsou nejrozšířenějším a nejpoužívanějším palivem vznětových motorů. Jedná se o směsi ropných kapalných uhlovodíků, vyráběné z ropy destilací a rafinací, vroucích při teplotách mezi 150 a 360°C. Konkrétně jsou vytvářeny misením petroleje s ještě těžším destilačním produktem, jež se nazývá plynový olej. Vzhledově jsou motorové nafty čirou nažloutlou až žlutou kapalinou.[6]

V České republice je dodáváno více druhů naft v závislosti na ročním období. Jedná se o motorové nafty třídy B, D, F, jež jsou určeny pro mírné klima, a o naftu třídy 2, jež je určena pro klima arktické. Kvalita všech těchto naft je definována normou ČSN EN 590 a jejich dostupnost a část dodavatelem deklarovaných vlastností je uvedena v *tab. 1*. [9]

*Tab. 1* Deklarované vlastnosti různých tříd motorové nafty [9]

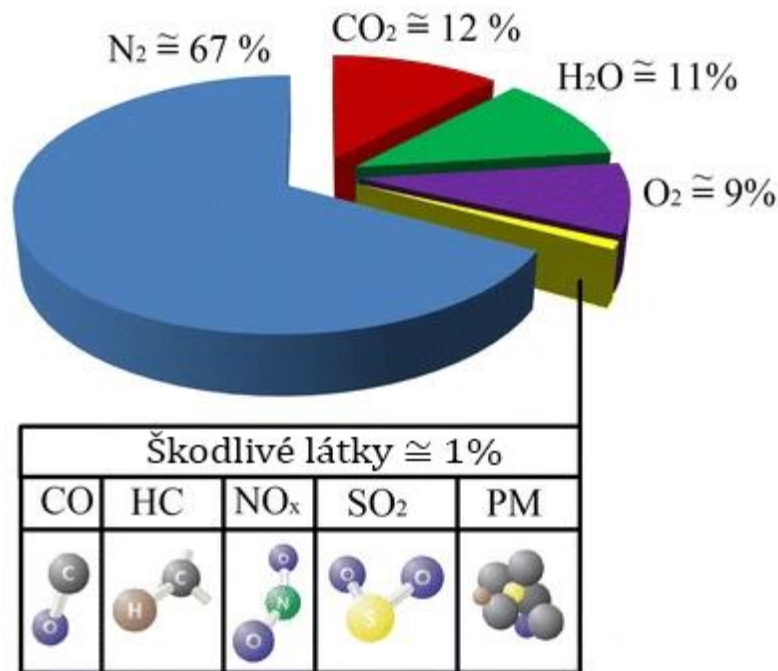
Parametr	Jednotka	Třída B	Třída D	Třída F	Třída 2
Časový interval expedice	-	15.4.–30.9.	1.10.–15.11. a 1.3.–14.4.	16.11.–28.2.	dle potřeby
Cetanové číslo, min	-	51	51	51	51
Cetanový index, min	-	46	46	46	46
Hustota při 15 °C	kg·m <sup>-3</sup>	820–845	820–845	820–845	820–845
Minimální kinematická viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	2–4,5	2–4,5	2–4,5	1,5–4
Maximální filtrovatelnost (CFPP)	°C	0	-10	-20	-32
Obsah síry, max	mg·kg <sup>-1</sup>	10	10	10	10

V dnešní době norma EN 590, určující kvalitu nafty udává podmínku maximálně 7 % biosložek (FAME) přimíchaných v naftě a dle normy ČSN 65 6500 ji lze skladovat maximálně 24 měsíců od její distribuce.[9]

### 1.3 EMISE VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

Jelikož vznětové motory v drtivé většině využívají pro svůj provoz motorové nafty, jsou tím také jedním z největších přispěvatelů znečištění ovzduší. Tomuto problému by mohlo být předejito právě použitím alternativních paliv.

Přibližné složení výfukových plynů vznětového motoru spalujícího motorovou naftu lze vidět na *obr. 6*, přičemž zdraví a životnímu prostředí nebezpečné z nich jsou podrobněji popsány v kapitole 1.3.1.



*Obr. 6* Přibližné složení výfukových plynů vznětového motoru spalujícího naftu [10]

#### 1.3.1 PRODUKOVANÉ EMISE

##### OXID UHLIČITÝ (CO<sub>2</sub>)

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Jeho produkce je ve spalovacích motorech nevyhnutelná, jelikož vzniká při dokonalém spalování. Ačkoliv se oxid uhličitý může zdát neškodnou látkou, což pro lidské zdraví v běžných koncentracích je, nutno podotknout, že je hlavní příčinou globálního oteplování.

##### OXID UHELNATÝ (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn bez zápachu a vzniká při neúplném spalování a jeho koncentrace závisí na bohatosti směsi. V bohatých směsích, které tvoří hodně paliva a málo vzduchu, se právě v důsledku nedostatku vzduchu nemůže veškerý uhlík přeměnit na CO<sub>2</sub> a vzniká tak CO. Vznětové motory však spalují směsi, jež mají trvale vyšší poměr vzduchu než paliva, tudíž je tvorba CO minimální.[10]

Po vdechnutí je CO přenášen do krevního oběhu. Váže se na hemoglobin a brání jeho schopnosti přenášet kyslík. Při malých koncentracích CO ve vzduchu může docházet k zhoršení koncentrace, zpomalení reflexů a zmatenosti, při větších až k udušení.[10]

### **OXIDY DUSÍKU (NO<sub>x</sub>)**

Do této skupiny spadá oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>). Tyto oxidy vznikají ve válci motoru, kdy vlivem vysokých teplot reaguje kyslík s dusíkem. Lze tedy říct, že hlavní vliv na vznik těchto sloučenin mají teplota a koncentrace kyslíku ve spalovacím prostoru.[10]

NO i NO<sub>2</sub> jsou považovány za toxické. NO<sub>2</sub> může dráždit plíce a snižovat odolnost vůči infekcím dýchacích cest. Emise těchto oxidů přispívají k tvorbě smogu a jsou důležitými prekurzory kyselých dešťů, které mohou negativně ovlivnit suchozemské i vodní ekosystémy.[10]

Z různých typů vozidel se na emisích NO<sub>x</sub> nejvíce podílejí právě vozidla se vznětovými motory, protože ve srovnání s benzinovými motory jejich provoz vyžaduje vyšší teploty. Zdroje uvádějí, že diesellové motory jsou zodpovědné za přibližně 85 % všech emisí NO<sub>x</sub> z mobilních zdrojů.[10]

### **PEVNÉ ČÁSTICE (PM)**

Pevné částice ve výfukových plynech jsou výsledkem spalovacího procesu, z něhož většina těchto částic vzniká neúplným spálením uhlovodíků v naftě a mazacím oleji. Částice jsou typicky složeny z uhlíku, sulfátů, dusíků, nevelkého množství vody a zbytku nespáleného paliva a oleje. Většina pevných částic je kulového tvaru s průměrem menším než 1 μm. Částice větší než tento průměr jsou okem viditelné jako černý kouř.[10]

Jsou zdraví škodlivé, neboť jejich vdechování může způsobovat nejen astma a rakovinu plic, ale také závažné kardiovaskulární problémy. Přispívají ke znečišťování ovzduší, vody a půdy, snižování viditelnosti, ovlivňují produktivitu zemědělství a globální změnu klimatu.[10]

Emise pevných částic z naftou poháněných vznětových motorů jsou podstatně šestkrát až desetkrát vyšší než z benzinových motorů, proto je v mnohých státech snaha omezit diesellové motory ve větších městech.[10]

### **UHLOVODÍKY (HC)**

Uhlovodíky se skládají z několika druhů, jako jsou alkany, alkeny a areny. Jsou tvořeny nespáleným palivem v důsledku nedostatečné teploty, která vzniká v blízkosti stěn válce. V tomto místě je totiž teplota směsi vzduchu a paliva výrazně nižší než uprostřed válce. K emisím uhlovodíků z diesellových motorů dochází především při nízkém zatížení, kdy je směšování vzduchu a paliva nedostatečné. V chudých směsích je pak rychlost plamene příliš nízká na to, aby mohlo být spalování dokončeno během zdvihu pístu, a to má za následek vysoké emise uhlovodíků.[10]

Uhlovodíky mají škodlivé účinky na životní prostředí a lidské zdraví. Jsou považovány za toxické, dráždí dýchací cesty a mohou způsobovat rakovinu. Spolu s dalšími emisemi znečišťujících látek se podílí na vzniku ozonové díry v atmosféře.[10]

### **OXID SIŘIČITÝ (SO<sub>2</sub>)**

Kromě výše zmíněných znečišťujících látek výfukové plyny zahrnují i malé množství oxidu siřičitého. Tento oxid vzniká ze síry obsažené v palivu, a tak vypouštěné množství této látky závisí pouze na jeho kvalitě a množství síry v něm. V současné době neexistuje katalyzátor, který by umožňoval odstranění SO<sub>2</sub>. Tento oxid dráždí dýchací cesty a může se spolu s oxidy dusíku podílet na vzniku kyselých dešťů.[10]

### 1.3.2 EMISNÍ NORMY

V dnešní době, oproti minulému století, se ochrana životního prostředí posunula na vyšší úroveň a stala se často diskutovaným tématem. Mnoho agentur a organizací má snahu zabránit poškozování životního prostředí a lidského zdraví, které způsobují znečišťující látky vypouštěné spalovacími motory. Právě kvůli těmto motorům zavedly vlády požadavky na přípustné emise výfukových plynů, tzv. emisní normy. Evropská unie vypracovala normy Euro, které se od roku 1992 průběžně snižují a stávají se přísnějšími. Euro normy kontrolují množství vypouštěného CO, NO<sub>x</sub>, PM a HC. Naopak se nezajímají o vyprodukovaný CO<sub>2</sub> a o SO<sub>2</sub>. Pro osobní automobily je číslo normy značeno arabskou číslicí, pro těžká nákladní vozidla a autobusy římskou.[10] V *tab. 2* jsou vypsané povolené hodnoty jednotlivých emisí pro osobní automobily.

*Tab. 2* Emisní normy Euro Evropské unie pro osobní automobily s naftovými motory [10]

	Jednotka	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Rok zavedení	-	1992	1996	2000	2005	2009	2014
CO	g·km <sup>-1</sup>	3,16	1,00	0,64	0,50	0,50	0,50
NO <sub>x</sub>	g·km <sup>-1</sup>	1,13	-	0,5	0,25	0,18	0,08
PM	g·km <sup>-1</sup>	-	0,08	0,05	0,025	0,005	0,0045
HC	g·km <sup>-1</sup>	-	-	0,5	0,1	0,1	0,1
NO <sub>x</sub> + PM	g·km <sup>-1</sup>	0,18	0,7	0,56	0,3	0,23	0,17

Porovnáme-li normu Euro 1 s normou Euro 6 pro emise CO a NO<sub>x</sub> můžeme vidět snížení dovolených vypouštěných emisí o skoro 84 a 93 %. V *tab. 3* jsou pak znázorněny jednotlivé Euro normy pro těžká nákladní vozidla a autobusy. Pro tato vozidla se pak emise nepočítají v g·km<sup>-1</sup>, nýbrž v g·kWh<sup>-1</sup>.

*Tab. 3* Emisní normy Euro Evropské unie pro těžká nákladní vozidla s naftovými motory [10]

	Jednotka	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI
Rok zavedení	-	1992	1995	1999	2005	2008	2012
CO	g·kWh <sup>-1</sup>	4,5	4	2,1	1,5	1,5	1,5
NO <sub>x</sub>	g·kWh <sup>-1</sup>	8,0	7,0	5,0	3,5	2,0	0,4
PM	g·kWh <sup>-1</sup>	0,61	0,15	0,13	0,02	0,02	0,01
HC	g·kWh <sup>-1</sup>	1,1	1,1	0,66	0,46	0,46	0,13

U těžkých nákladních vozidel je snížení v emisích CO a NO<sub>x</sub> mezi normou Euro I a Euro VI skoro o 66 a 95 %, u emisí PM dokonce o 98 %. Za několik let se navíc plánuje zavedení nových norem Euro 7 a Euro VII, které mají mít tyto limity ještě přísnější. Právě tato velmi přísná nařízení směřují k využívání alternativních paliv místo nafty, která dost možná již brzy nebude schopná limity emisních norem splňovat.

## 2 DŘEVOPLYN

Dřevoplyn jako palivo pro motory se v dnešní době již v podstatě nepoužívá, ale právem jej lze označovat jako jedno z prvních alternativních paliv pro vznětové jednotky. Jedná o se plynové palivo na bázi oxidu uhelnatého, které vzniká zplyňováním, tj. nedokonalým spalováním rostlinné biomasy za omezeného přístupu vzduchu. K tomuto zplyňování lze používat například dřevěné špalíky, dřevní štěpku, piliny, dřevěné či travní pelety, v některých případech ale i koks a dřevěné či jiné uhlí. Tyto suroviny se potom spalují v dřevoplynovém generátoru. Ten si lze snadno představit jako vrchem plněný velký kotel. Uhlík pak v tomto generátoru za vysoké teploty reaguje s párou nebo kyslíkem. Vzniká směs oxidu uhelnatého, vodíku, methanu a oxidu uhličitého. Tyto plyny mohou být po následném ochlazení spalovány jako palivo v prostředí bohatém na kyslík.[11]

### 2.1 HISTORIE

První vozidlo poháněné dřevoplynem bylo vyrobeno již počátkem minulého století, avšak největší rozmach jako palivo zaznamenal za druhé světové války. V těchto časech byla totiž ropa velmi ceněnou surovinou a paliva spolu s výrobky z ní byly využívány hlavně pro vojenské účely. Dřevoplyn se tak stal určitou alternativou tehdy oblíbeného svítiplynu, který mohl fungovat pouze v zážehových motorech. V nacistickém Německu byl dřevoplyn v civilních nákladních automobilech později dokonce zákonnou povinností, a tak postupně byla valná většina vznětovým motorem vybavených aut přestavěna na pohon dřevoplynem. Odhaduje se, že jen právě v nacistickém Německu bylo do konce války v provozu přibližně půl milionu vozidel poháněno právě tímto palivem.[12]



Obr. 7 Automobil s dřevoplynovým generátorem [12]

## 2.2 NUTNÉ ÚPRAVY MOTORU

Diesellové motory mohou být převedeny do plného provozu na dřevoplyn dvěma způsoby. První způsob spočívá ve snížení kompresního poměru a instalace zážehového systému. Tím však není využito principu a potenciálu vznětového motoru, jelikož jde fakticky o přestavbu na motor zážehový. Druhou a optimálnější možností je spustit vznětový motor v tzv. duálním režimu, kdy je motor poháněn plynem, ale start je prováděn za pomoci nafty. Protože je z toho důvodu zachován i původní diesellový pohon, je takový systém lepší volbou než první možnost přestavby. Navíc pokud dojde palivo z biomasy, nebo se vyskytne závada na zplynovači, lze okamžitě přejít na naftový pohon. Aby vznětové motory mohly být poháněny dřevoplynem, bylo samozřejmě nutností doinstalovat automobilům dřevoplynové generátory. Ty byly prvně umístěovány na příď nebo zád' vozidla, viz *obr. 7*, či umístěné na přívěsný vozík. Později automobilky Volkswagen a Mercedes-Benz přišly s vozidly, jež měly systém zplyňování zcela skryt v konstrukci vozidla.[11], [12]

## 2.3 VÝHODY

Pozitiv užití dřevoplynu není moc a od začátku byl uvažován jakožto dočasné řešení kvůli válečným okolnostem a nedostatku tradičních fosilních paliv. Výhodou paliva je využití obnovitelných zdrojů a s ním i cena palivového dříví, která hlavně v době války byla rapidně menší než cena špatně sehnatelné nafty. Druhou výhodou je, že hoření dřeva při porovnání se spalováním nafty není tak škodlivé a při použití filtrů v dřevoplynovém generátoru produkuje pouze malé množství sazí.[11]

## 2.4 NEVÝHODY

Nevýhod užití tohoto paliva je hned několik a několikanásobně převyšují výhody, proto se také za nedlouho po druhé světové válce od užití tohoto paliva upustilo a vrátilo se k palivům fosilním. Hlavní nevýhodou byla menší účinnost a také menší výkon motoru v porovnání s naftovým pohonem. Oproti naftou poháněným motorům byla také složitější manipulace s vozidlem, jelikož řazení motoru šlo pouze při vysokých otáčkách, protože motor musel neustále nasávat dřevěný plyn. Vozidla poháněná dřevoplynem navíc nebyla ani zdaleka tak komfortní jako naftová, a to hned z několika důvodů. Start dřevoplynového generátoru při použití běžného dřeva trval až několik minut a v průběhu jízdy vyžadoval generátor častou ruční obsluhu. Při nesprávné obsluze, výrobě (netěsnosti) či poruše generátoru pak hrozí cestujícím otrava oxidem uhelnatým, jež vzniká při spalování.[11], [12]

## 2.5 ZHODNOCENÍ

I přes to, že dnes se již pohon motoru dřevoplynem kvůli jeho značným nevýhodám prakticky nepoužívá a jeho provoz se omezuje pouze na hrstku nadšenců, je lze právem považovat za otce alternativních paliv pro vznětové motory. Vezme-li se v potaz současné postavení ekologie, masové použití dřevoplynu pro pohon motorů by pak nedával smysl, neboť by znamenal tragédii pro lesy.

### 3 BIONAFTA

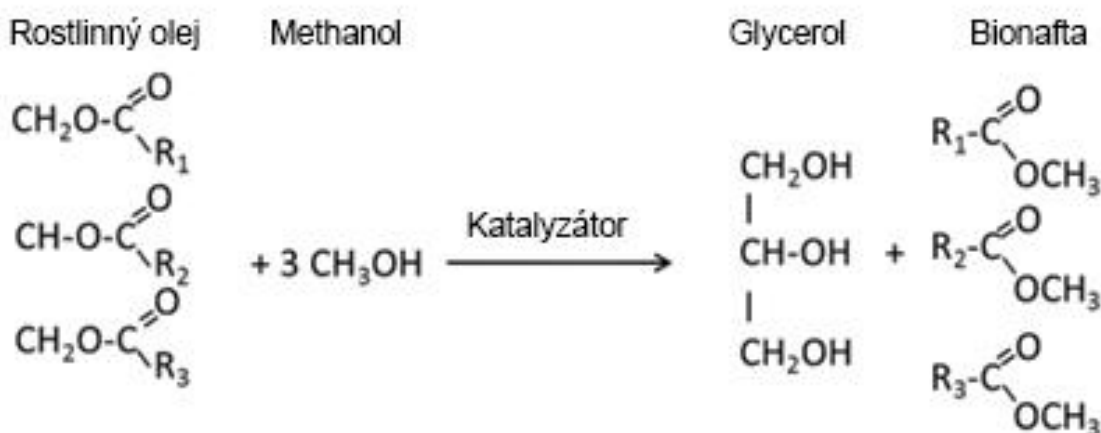
Pojmem bionafta nebo biodiesel lze považovat za zavádějící, jelikož správně se takto může označovat jakékoliv ve vznětových motorech použitelné ekologické palivo z obnovitelných zdrojů. Nicméně širokou veřejností se pod tímto pojmem rozumí methylestery mastných kyselin (z anglického fatty acid methyl ester pak známé pod zkratkou FAME) mající základ v rostlinných olejích, živočišných tucích, nebo také směsi těchto esterů s uhlovodíky (převážně motorovou naftou). Tato bakalářská práce bude tedy, ač lehce nesprávně, užívat obecný termín bionafta právě pro tyto methylestery.

#### 3.1 HISTORIE

V minulém století se experimentovalo s použitím čistých rostlinných olejů jakožto paliva pro vznětové motory. Olej však, i přesto že má hodnoty spalného tepla velmi podobné naftě, nemůže být použit v moderních motorech. Problémem není pouze jeho vysoká viskozita a bod vzplanutí, tyto vlastnosti lze do jisté míry zlepšit ohřátím, ale jeho nepoužitelnost vyplývá převážně z tvorby poměrně dosti velkých kapek a jeho nízké odpařivosti. To je příčinou tvorby karbonu, který v rámci desítek až stovek provozních hodin u pohonných jednotek s přímým vstřikem paliva zadře motor. Jelikož jsou však rostlinné oleje levnou, dostupnou a obnovitelnou surovinou, hledal se způsob, jak je v motorech použít. Řešení se našlo právě v úpravě vylisovaného a vyčištěného oleje esterifikací.[6]

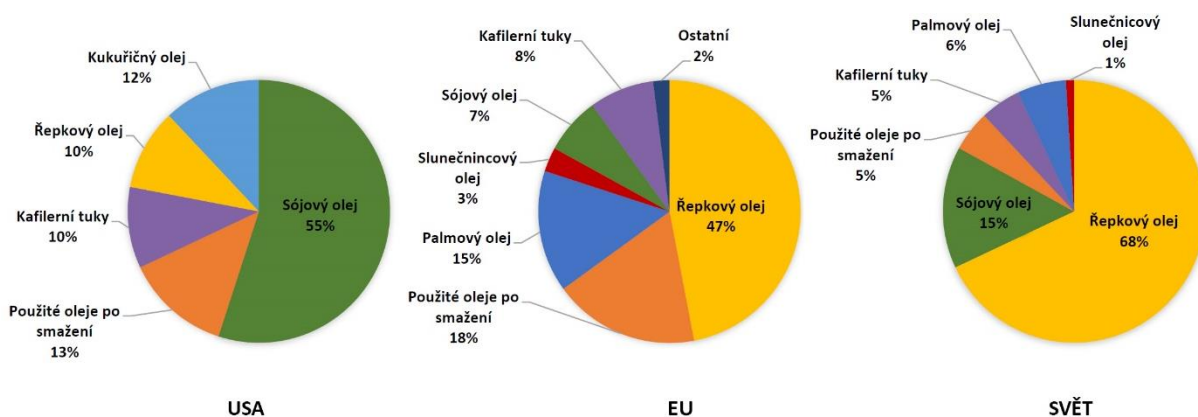
#### 3.2 VÝROBA

Bionafta se vyrábí takzvanou esterifikací, přesněji transesterifikací, někdy nazývanou alkoholýza. Ta je jednou z nejoblíbenějších používaných metod, jelikož se jedná o jednoduchou, ne moc finančně nákladnou chemickou reakci, jež mění velmi viskózní oleje na látku s velmi nízkou viskozitou, a tedy vhodnou jako palivo do dieselových motorů. Při tomto procesu jsou pomocí alkoholu štěpeny velké molekuly oleje na menší. Nejvíce používaný alkohol pro tuto chemickou reakci je methanol, kvůli jeho ceně a dostupnosti, ale je možné použít i ethanol, či jiné alkoholy. Při esterifikaci vzniká jako vedlejší produkt glycerol, který se využívá především v kosmetickém průmyslu, ale také v průmyslu potravinářském a v lékařství.[8]



Obr. 8 Chemická reakce vzniku bionafty [13]

Jaký olej bude základem bionafty se odvíjí od dostupnosti plodin v dané oblasti. V Evropě a v České republice nevyjímaje se používá především řepkový olej, potom mluvíme o takzvaném methylesteru řepkového oleje (V ČR známé pod zkratkou MEŘO, v ostatních zemích jako RME). V Severní a Jižní Americe dominuje olej sójový (SOME) a v zemích Asie se pak primárně používá palmový olej (PME). Na Indickém subkontinentu či v Brazílii není výjimkou užití oleje lisovaného ze semen dávkivce černého (JME).[1], [14] V rámci některých výzkumů byly jako základ použity oleje lisovaného z mořských řas (AOME), tato surovina se však zatím komerčně nepoužívá.[14] Bionafta může být vyrobena, mimo rostlinné plodiny, také ze zvířecích tuků (TME) nebo z použitých olejů po smažení (UCOME).[1] Procentuální zastoupení surovin pro výrobu bionafty v USA a Evropské unii v roce 2016 a celosvětové zastoupení v roce 2013 lze vidět na obr. 9.



Obr. 9 Procentuální zastoupení surovin pro výrobu bionafty [14] (upraveno autorem)

Z grafu je patrné, že nejvíce bionafty je vyrobeno z řepkového oleje. To je dáno nízkými nároky řepky na vodu a kvalitu půdy, tudíž je lehce pěstovatelná po celém světě. Nevýhodou užití řepky i jiných nejčastěji používaných rostlinných olejů je však konkurence potravinářskému průmyslu. Mezi 2% označené jako ostatní na prostředním grafu lze zařadit olej z již výše zmíněného dávkivce černého, olej sezamový nebo olej ricinový.[14]

### 3.3 BIONAFTA 1. GENERACE

Pojem bionafta 1. generace, čistá bionafta nebo B100 jsou vše stejná označení, mluvící o palivu tvořeném ze 100 % estery mastných kyselin, tedy bez přídavku jiné látky. V České republice a také ve světě se jedná o palivo samostatně již takřka nepoužívané. Její využití spočívá hlavně k výrobě bionafty 2. generace, kterou byla nahrazena.

#### 3.3.1 UCOME

Pod pojmem UCOME (z anglického used cooking oil methyl ester) se rozumí methylestery použitých olejů po smažení. Jelikož se jedná o bionaftu vyrobenou z odpadních látek, odpadá problém negativního vlivu na konkurenci potravin a zároveň se tímto řeší likvidace použitých fritovacích, či jiných kuchyňských olejů. Výroba bionafty z těchto olejů se může jevit jako levnější, avšak vysoký obsah volných mastných kyselin v těchto vstupních surovinách je důvodem obtížné, a tím pádem nákladné transesterifikace. Právě z důvodu mnohem obtížnější výroby a udržení kvality paliva ve srovnání s rostlinným olejem tak nemá UCOME většinový podíl na trhu bionafty.[14]



### 3.3.2 TME

TME (tallow methyl ester) v doslovném překladu označuje methylestery loje, ale spadají pod tento název i jakékoliv methylestery živočišných tuků. Stejně jako při výrobě UCOME, jsou kafilerní tuky odpadní látkou a při jejich použití bionafta nijak nekonkuruje výrobě potravin. Podobně však jako v případě UCOME je jeho výroba nákladnější a složitější než výroba z rostlinných olejů, neboť je těžší udržet správnou kvalitu paliva, a tak není bionafta z živočišných tuků tolik rozšířená.[14]

### 3.3.3 SROVNÁNÍ S NAFTOU

Vlastnosti bionafty z různých rostlinných olejů, z oleje po smažení a z kafilerního tuku jsou spolu s vlastnostmi motorové nafty (třída B), jejíž kvalita je určena normou ČSN EN 590, vypsány v *tab. 4*.

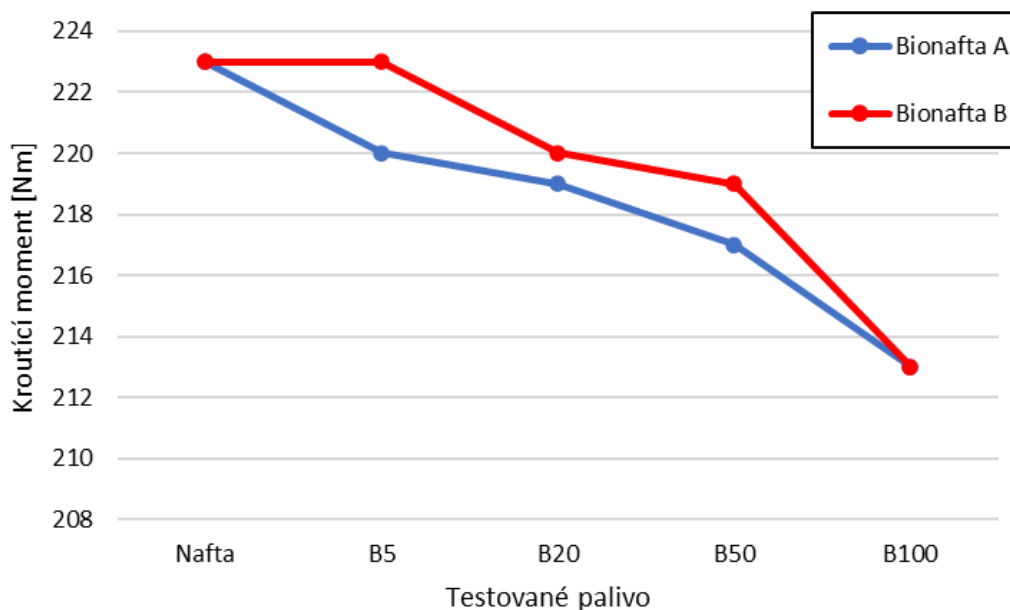
*Tab. 4* Vlastnosti B100 z různých výchozích surovin v porovnání s motorovou naftou [14], [15]

Parametr	Jednotka	Motorová nafta	RME	SOME	PME	UCOME	TME
Cetanové číslo	-	51	60	45	62	52	60
Bod zákalu (CP)	°C	2	-4	1	10,5	3	16
Hustota při 15 °C	kg·m <sup>-3</sup>	835	880	884	857	855–871	874
Minimální kinematická viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	2–4,5	4,4	4	4,5	4,6–5,3	4,8
Oxidační stabilita	h	23,7	8,6	2,1	7,5	-	1,6
Výhřevnost	MJ·kg <sup>-1</sup>	42,5	38	37	-	-	-

Z tabulky si lze povšimnout, že čistá bionafta vykazuje číselně odlišné vlastnosti od motorové nafty. B100, nehledě na jeho výrobní surovinu, má vyšší hustotu a kinematickou viskozitu a znatelně nižší bod zákalu. Z toho plyne horší startovatelnost a provozuschopnost za nízkých teplot. Nejhorší, co se nízkoteplotních vlastností týče, vychází methylestery z palmového oleje a živočišných tuků. Jelikož ale pro B100 platí zároveň obdobné požadavky na sezónní vlastnosti jako pro naftu motorovou, používají se ke zlepšení jejich vlastností za studena aditiva (tzv. zlepšovače toku za studena). I přesto je však vždy bod zákalu a filtrovatelnost bionafty nižší než u nafty motorové.[6], [14] Výhřevnost ve studii, ze které se vychází, byla měřena pouze u methylesteru řepkového a sójového oleje, očekává se však, že tato hodnota bude u bionafty z jiných surovin velmi podobná. Z důvodu malé oxidační stability bionafty je její skladovatelnost velmi špatná a lze ji skladovat pouze měsíc od její distribuce.[6]

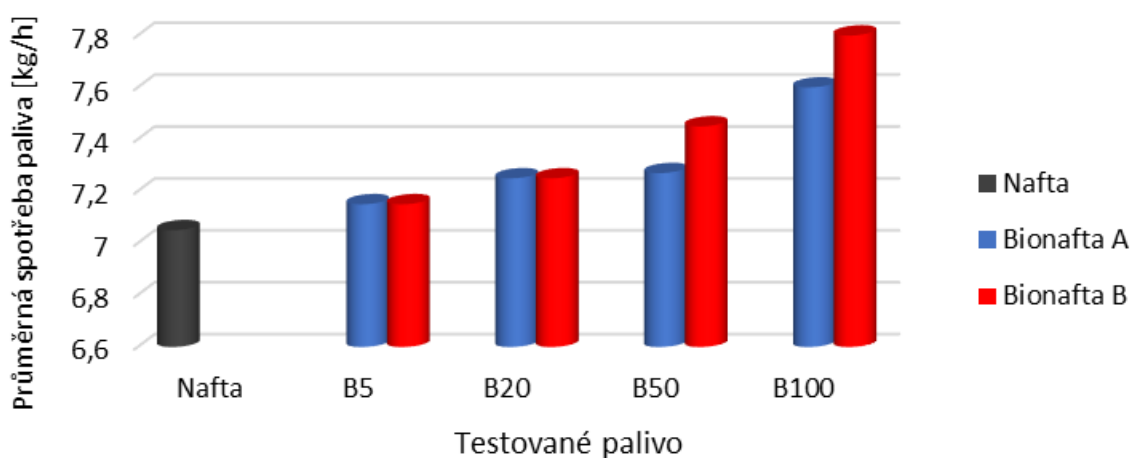
## VÝKON MOTORU

Použití čisté bionafty ve vznětovém motoru má za následek snížení jeho výkonu. Může za to nižší výhřevnost biodieselu, jeho vyšší viskozita a vyšší obsah vody v porovnání s konvenční naftou. Výkon motoru může taky ovlivnit kvalita, tedy čistota bionafty, a z jaké výchozí suroviny se vyráběla. Při použití B100 je uváděn pokles výkonu o 5 až 10 %.[6] S výkonem také klesá kroutící moment, graf takového poklesu lze vidět na *obr. 10*.



*Obr. 10* Kroucí moment v závislosti na použitém palivu [16] (upraveno autorem)

Pojem *Bionafta A* v grafu na obrázku *obr. 10* znamená palivo tvořené z 80 % TME a 20 % UCOME, *bionafta B* pak označuje směs tvořenou z 70 % TME a 30 % UCOME. U měřeného kroucího momentu lze pozorovat s B100 jeho snížení o zhruba 5 % oproti naftě. Krom sníženého výkonu a kroucího momentu použití čisté bionafty provází zvýšení spotřeby paliva, viz *obr. 11*. Pojmy *bionafta A* a *bionafta B* zde značí to stejné, co v *obr. 10*.

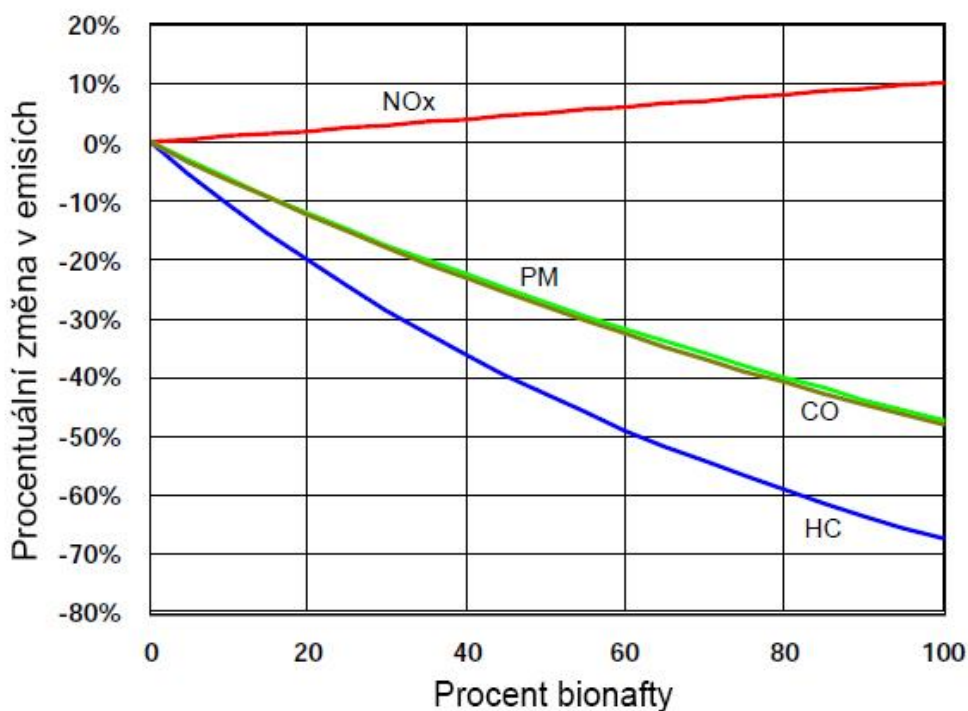


*Obr. 11* Srovnání průměrné spotřeby v závislosti na typu paliva [16] (upraveno autorem)

Z grafu na *obr. 11* lze vidět u *bionafty A* více než 7% nárůst spotřeby paliva v porovnání s naftou, u *bionafty B* více než 10%. Testování jak poklesu kroutícího momentu, tak změny spotřeby paliva však bylo prováděno s motorem na motorové zkušebně, nikoliv v reálném provozu. Toto měření bylo také prováděno s konstantními otáčkami motoru, tudíž se naměřené hodnoty mohou lišit od těch, které by byly naměřeny v reálném provozu. Průměrná spotřeba závisí také na kvalitě použité bionafty, stylu jízdy a také na použitém motoru a jeho úpravě.[16]

## EMISE

Jelikož je bionafta, na rozdíl od paliv uhlovodíkových získávaných z ropy, vyrobena pouze z obnovitelných zdrojů, tak při spalování nedochází k nárůstu oxidu uhličitého v atmosféře planety, a to proto, že nově rostoucí rostliny  $\text{CO}_2$  znovu využijí při svém růstu.[6] Čistý biodiesel má znatelně nižší obsah uhlíku než nafta motorová, protože není vyroben z ropy. Při zkoušení paliv na zkušebním motoru bylo zjištěno, že MEŘO má kratší dobu prodlevy vznícení než nafta. Ve srovnání s motorovou naftou v motoru tak lépe shoří a tím uvolňuje do ovzduší méně škodlivých látek.[15] Toto spolu s nižším obsahem uhlíku vede ke snížení emisí regulovaných látek, viz *obr. 12*.



*Obr. 12* Změna emisí s rostoucím podílem bionafty v motorové naftě [17]

Z grafu je patrné, že čím více je bionafty ve směsi bionafty s naftou, tím více klesá množství vypouštěného oxidu uhelnatého, pevných částic a nespálených uhlovodíků. Při použití B100 lze tedy snížit emise CO a PM o skoro 50 %, emise HC až skoro o 70 %. Naopak produkce oxidů dusíků lehce roste. S čistou bionaftou lze pozorovat jejich nárůst o 10 %. Nejsou však podrobně prozkoumány vypouštěné látky, které nejsou emisními normami neregulované a které mnohé studie ukázaly ve výfukových plynech přítomné. Jednalo se o látky jako jsou karbonylové sloučeniny, polycyklické aromatické uhlovodíky a nitro-deriváty polycyklických aromatických uhlovodíků a další toxické látky jako formaldehyd a acetaldehyd, které by mohly škodit jak životnímu prostředí, tak lidskému zdraví.[17]

### 3.3.4 NUTNÉ ÚPRAVY MOTORU

Aby vznětové motory mohly dlouhodobě fungovat na čistou bionaftu, jsou nutné nemalé úpravy. Tou největší je úprava systému vstřikování paliva, neboť bionafta má ve srovnání s motorovou naftou vyšší hustotu i viskozitu. Jsou tedy buď potřebné jiné vstřikovače paliva, které budou uzpůsobené na tyto zhoršené vlastnosti, nebo lze dodatečně doinstalovat předehřev paliva, který zlepší vlastnosti toku biodieselu. Je také známo, že bionafta způsobuje rychlejší opotřebení palivových čerpadel než motorová nafta, takže je vhodná modernizace na odolnější čerpadla, na toto palivo uzpůsobená. Při použití bionafty je nutný přechod na účinnější palivové filtry, neboť filtry určené pro konvenční naftu B100 ucpává. Palivo také je oproti naftě výrazně agresivnější na řadu materiálů, převážně pak na pryže a plasty, takže použití hadic, těsnění a dalších dílů z dražších speciálních materiálů kompatibilních s bionaftou, je nutností.[6]

### 3.3.5 VÝHODY

Mezi přední výhody lze zařadit v první řadě to, že toto palivo je vyrobenou pouze z obnovitelných zdrojů, je netoxické a biologicky odbouratelné. Nespornou výhodou je také možnost výroby bionafty z odpadních látek, jako jsou použité oleje po smažení, či kafilerní tuky, viz kapitoly 3.3.1 a 3.3.2. Oproti motorové naftě se také biodiesel vyznačuje vyšším cetanovým číslem a lepší mazivostí.

Jelikož bionafta ve vznětovém motoru lépe shoří, uvolňuje do ovzduší výrazně nižší množství pevných částic, aromatických sloučenin, oxidu uhelnatého a uhlíkatého a jiných chemických látek, které znečišťují životní prostředí, viz *obr. 12*. Tomu přispívá také téměř nulový obsah síry a aromatů.[17], [18]

### 3.3.6 NEVÝHODY

Bionafta 1. generace má při použití v naftovém motoru ale také řadu problémů. Pokud jde o dlouhodobý provoz motoru, nespornou nevýhodou je nutnost jeho úpravy. Užití bionafty pak doprovází zhoršení výkonu motoru a zvýšení spotřeby paliva, vyplývající z její menší výhřevnosti, vzhledem k motorové naftě. Dále je pak použití B100 spojeno se zhoršením provozuschopnosti motoru za studena, zejména v důsledku vyšší viskozity, relativně vysoké teploty vylučování parafinů a zhoršené teplotě filtrovatelnosti. Mnohé z problémů pramení také z velkého množství látek pryskyřičnaté povahy, které vznikají při částečné oxidaci esterů. Ty způsobují úsady na nehybných i pohyblivých částech motoru, jež jsou pak náchylnější ke korozi, a také nárůst látek nerozpustných v motorovém oleji. Olej potom rychleji degraduje a je nutností ho častěji měnit, čímž vzrůstají náklady na provoz.[6]

Bionafta se také vyznačuje znatelně horší skladovatelností oproti naftě motorové, která má bez biosložek podle normy ČSN 65 6500 záruční dobu 24 měsíců, kdežto podle též normy palivo B100 lze skladovat pouze měsíc od jeho distribuce.[6] Navzdory několika výhodám bionafta nespĺnila očekávání ekologické a k životnímu prostředí šetrné náhrady konvenční motorové nafty. Ačkoliv jsou emise většiny regulovaných látek nižší, emise látek neregulovaných a oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) vykazují tendenci růstu.[17]

Neposledním faktorem, jež také přispívá k nepoužitelnosti čisté bionafty je fakt, že náklady na její výrobu, i přes použití odpadních látek, převyšují náklady na výrobu motorové nafty. V současnosti se taktéž k její výrobě nejvíce používají suroviny, které konkurují produkci potravin. Cena za litr čisté bionafty je ve světě zhruba stejná jako cena za litr motorové nafty, mnohdy z důvodu nižšího zdanění.[18]

### 3.4 BIONAFTA 2. GENERACE

V případě bionafty 2. generace již nelze hovořit o čistě ekologickém palivu. Jedná se o směs FAME s podílem desulfurizovaných a dearomatizovaných složek ropného původu, tedy s motorovou naftou. V České republice musí biodiesel 2. generace, známý také jako směsná motorová nafta (SMN), obsahovat minimálně 30% čisté bionafty (B30).[6]

V zahraničí se směs bionafty a konvenční nafty označuje pouze jako B70, B80 apod., dle procent bionafty v naftě, a tedy název bionafta 2. generace je znám pouze v České republice. Taktéž v jiných zemích objem biodieselu s naftou není nijak limitován, či specifikován, nicméně se nejčastěji jedná o paliva B20 a B50.[16]

#### 3.4.1 SROVNÁNÍ S NAFTOU

Bionafta 2. generace zlepšuje vlastnosti motorové nafty, převážně co se mazivosti, cetanového čísla a emisí týče. Vlastnosti paliva pak záleží na přesném složení směsi.

#### VÝKON MOTORU

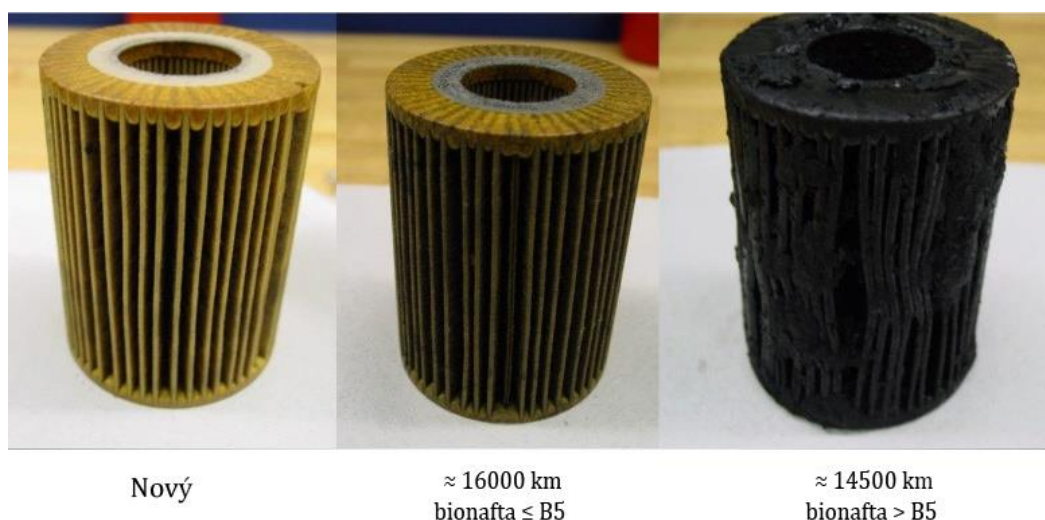
Vliv bionafty 2. generace na výkon motoru je znázorněn na *obr. 10*, vliv na jeho spotřebu pak na *obr. 11*. Čím více % objemu směsi tvoří bionafta, tím více se snižuje výkon motoru a zvyšuje spotřeba paliva.

#### EMISE

Vliv bionafty na vypouštěné emise je znázorněn na *obr. 12*. Platí, že čím více bionafty je obsaženo ve směsi bionafty s motorovou naftou, tím nižší jsou emise CO, HC a PM a lehce rostou emise NO<sub>x</sub>.

#### 3.4.2 NUTNÉ ÚPRAVY MOTORU

Na rozdíl od čisté bionafty, pro použití paliva bionafty 2. generace až do B20 není třeba upravovat motor. Mělo by se však dbát na včasné výměny filtrů, zejména olejového a palivového, neboť toto palivo, obdobně jako B100, způsobuje jejich rychlejší degradaci, viz *obr. 13*. Znázorněné filtry jsou však výrobcem určeny pro čistou motorovou naftu, a ne pro SMN. Pro vyšší podíl než B20 je vhodné provést úpravy rozepsané v kapitole 3.3.4.[16], [19]



*Obr. 13* Degradace olejového filtru při použití bionafty 2. generace [19]

### 3.4.3 VÝHODY

Mezi hlavní výhody bionafty 2. generace patří zlepšení vlastností motorové nafty. A to jak mazivosti, tak hlavně snížení emisí. Taky právě kvůli tomu většina dodavatelů nafty v České republice míchá motorovou naftu, aby obsahovala maximální možné povolené množství biosložek, tedy 7 %. Jako výhodu lze také považovat fakt, že přidávání FAME do nafty šetří množství použitého fosilního paliva.

### 3.4.4 NEVÝHODY

Oproti čisté bionaftě odpadá problémové skladování, které se však odvíjí od množství FAME v naftě a při použití paliva do B20 také odpadají nutnosti úprav motoru. Jinak přetrvávají nevýhody vypsané v kapitole 3.3.6.

## 3.5 ZHODNOCENÍ

Bionafta měla očekávání jakožto ekologická alternativa k motorové naftě. Toto očekávání z části splnila, jde o ekologické, lehce odbouratelné palivo vyrobené pouze z obnovitelných zdrojů, při jejímž spalování klesá valná většina Euro normami kontrolovaných látek. Znatelné je také snížení skleníkových plynů v životním cyklu tohoto paliva. Nicméně její čistá, s naftou nemíchaná varianta, sebou nese i značnou řadu nevýhod, jako kupříkladu náklady na její výrobu, nutnosti úprav motoru nebo konkurence potravinářskému průmyslu, které způsobují, že toto palivo nemůže v širším měřítku konkurovat motorové naftě, či ji nahradit. Některé její typy, jako UCOME, TME nebo JME a AOME by však neměly být zatracovány, neboť ke své výrobě využívají odpadních látek či zdrojů v potravinářství ani jinde nepoužívaných. Proto by jistě životnímu prostředí prospělo, kdyby právě bionafta z těchto surovin byla v budoucnu z hlediska emisí Euro normami nekontrolovaných látek více prozkoumána a následně i více využívána.

## 4 HYDROGENOVANÝ ROSTLINNÝ OLEJ

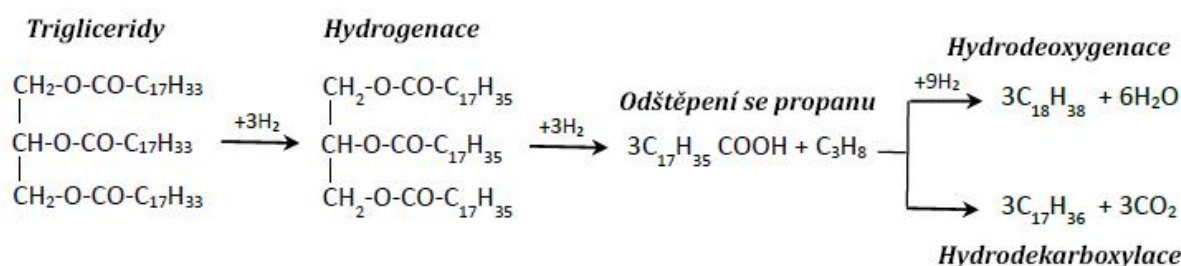
Mezi další ekologickou alternativu motorové nafty lze zařadit hydrogenovaný rostlinný olej, známý pod zkratkou HVO (z anglického hydrogen vegetable oil). HVO, někdy také nazývaný jako „Green diesel“ či obnovitelná nafta, je oproti bionaftě chemicky mnohem podobnější klasické motorové naftě.[14]

### 4.1 HISTORIE

Vznik HVO vychází přímo z bionafty. Ta kvůli svým nevýhodám, detailněji popsáných v kapitole 3.3.6, neobstála jakožto hojně užívané palivo. Byla však snaha o zachování paliva, jež lze vyrábět z různých druhů surových rostlinných olejů, použitých fritovacích olejů nebo živočišných tuků, které odstraní nevýhody bionafty, ale zároveň se bude vyznačovat stejnými výhodami jako jsou vyšší cetanové číslo, dobrá mazivost, téměř nulový obsah síry a polyaromatických uhlovodíků a použití takového paliva ve vznětových motorech povede k výraznému snížení emisí zdraví a životnímu prostředí škodlivých látek. Řešení se našlo v užití jiných chemických procesů, než je transesterifikace – v katalycké hydrogenaci.[18]

### 4.2 VÝROBA

Jak je již z názvu paliva patrné, HVO se vyrábí hydrogenací rostlinných olejů či živočišných tuků. Hydrogenace, někdy nazývaná jako adice vodíku, je chemickou reakcí mezi vodíkem a další látkou za přítomnosti katalyzátoru. Těmito katalyzátory nejčastěji bývají nikl, platina nebo paladium. K výrobě HVO se používají stejné vstupní suroviny jako v případě výroby FAME. Zjednodušeně se k získání HVO triglyceridy výchozí suroviny (kterou je v tomto případě vyčištěný rostlinný olej nebo živočišný tuk) hydrogenují a dále se rozkládají na různé meziproducty, hlavně monoglyceridy, diglyceridy a karboxylové kyseliny. Tyto meziproducty se pak přeměňují na alkany hydrodeoxygenací a hydrodekarboxylací. Konverze, ke které dochází prostřednictvím těchto reakcí, má za následek tvorbu uhlovodíků, které jsou podobné stávajícím složkám motorové nafty.[18]



Obr. 14 Reakční rovnice hydrogenačního procesu [20]

Oproti bionaftě při výrobě HVO nevzniká žádný vedlejší produkt jako glycerol a není k výrobě potřeba dalších chemikálií jako je methanol nebo jiný alkohol. Potřebný je pouze vodík. Ačkoliv se v dnešní době valná většina vodíku získává ze zemního plynu a o HVO tedy nejde mluvit jako o čistě ekologickém palivu, na jeho výrobu může být použit vodík, jež vzniká jako vedlejší produkt různých chemických reakcí. Do budoucna se také plánuje více vyrábět vodík z bioplynu a jiných obnovitelných zdrojů a oprostít se od nutnosti užití vodíku vyrobeného z fosilních zdrojů.[20] HVO lze vyrábět jak v samostatných zařízeních, tak dokonce ve stávajících rafineriích ropy a není tedy nutné budovat novou infrastrukturu.[18]

Podobně jako u FAME, i u HVO se věnuje čím dál větší pozornost alternativním nepotravinářským olejům, jako jsou oleje z dávivce a mořských řas, ale také odpadním kuchyňským olejům a kafilerním tukům, které by mohly být základem jeho výroby. Pokud by totiž HVO nemělo negativní vliv na produkci potravin, bylo by jím možné nahradit významnou část fosilní nafty.[18]

### 4.3 SROVNÁNÍ S NAFTOU

Srovnání vlastností HVO (od finské firmy Neste) a motorové nafty odpovídající normě EN 590 je vypsáno v tab. 5.

Tab. 5 Vlastnosti HVO v porovnání s motorovou naftou [18]

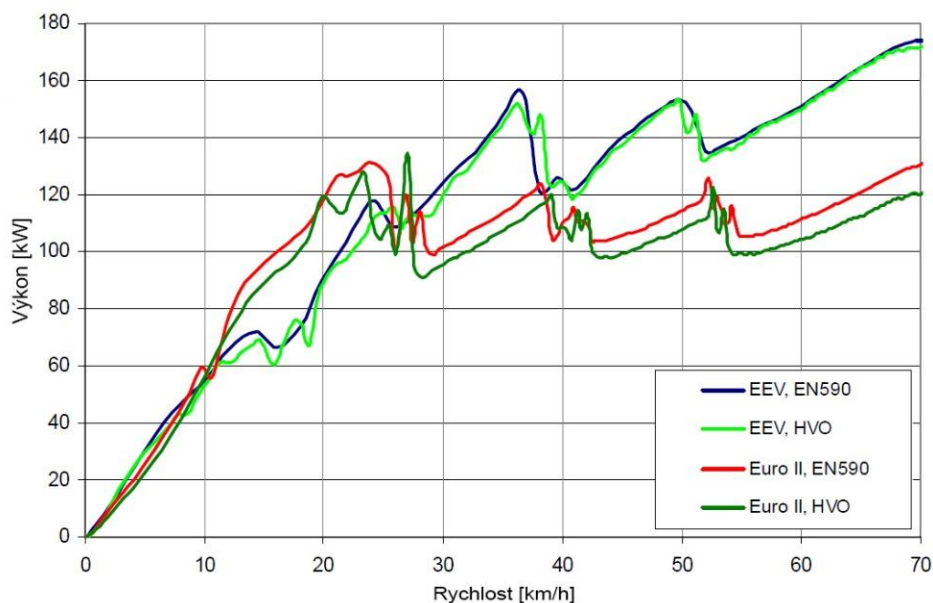
Parametr	Jednotka	Motorová nafta	HVO
Cetanové číslo	-	56,5	76,3
Bod zákalu (CP)	°C	-5	-22
Bod vzplanutí	°C	59	83
Hustota při 60 °C	kg·m <sup>-3</sup>	832,4	778,7
Kinematická viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	3,24	2,82
Výhřevnost	MJ·kg <sup>-1</sup>	43	44
Maximální filtrovatelnost (CFPP)	°C	-5	-21
Obsah vody	mg·kg <sup>-1</sup>	160	20
Obsah síry	mg·kg <sup>-1</sup>	10	<5

Z tabulky lze vidět, že HVO oplývá mnohem lepšími vlastnostmi než klasická motorová nafta. Hodnota cetanového čísla, jež se bere jako ukazatel kvality, byla změřena 76,3, nicméně jiné studie toto číslo uvádějí v rozmezí dokonce 84 až 99.[15] Bod zákalu i maximální filtrovatelnost HVO je nižší o několik stupňů, a tak odpadají problémy se špatnými starty a provozem v nízkých teplotách, které se vyskytuje u FAME. Obsah síry v HVO nemohl být přesně změřen, jelikož se jedná o hodnoty pod detekovatelnými hranicemi. Skutečnost, že je toto palivo prakticky bez síry, zajišťuje tomuto palivu průzračnou barvu a příznivý vliv na emise. Nicméně toto je zároveň důsledkem velmi nízké mazivosti paliva, a proto je zapotřebí mazací přísada k ochraně vstřikovacího systému. HVO také neobsahuje žádný kyslík, a tím pádem je jeho oxidační stabilita vysoká, což má za následek lepší skladovací vlastnosti než v případě bionafty. HVO lze dle norem skladovat stejně dlouho jako motorovou naftu.[18]



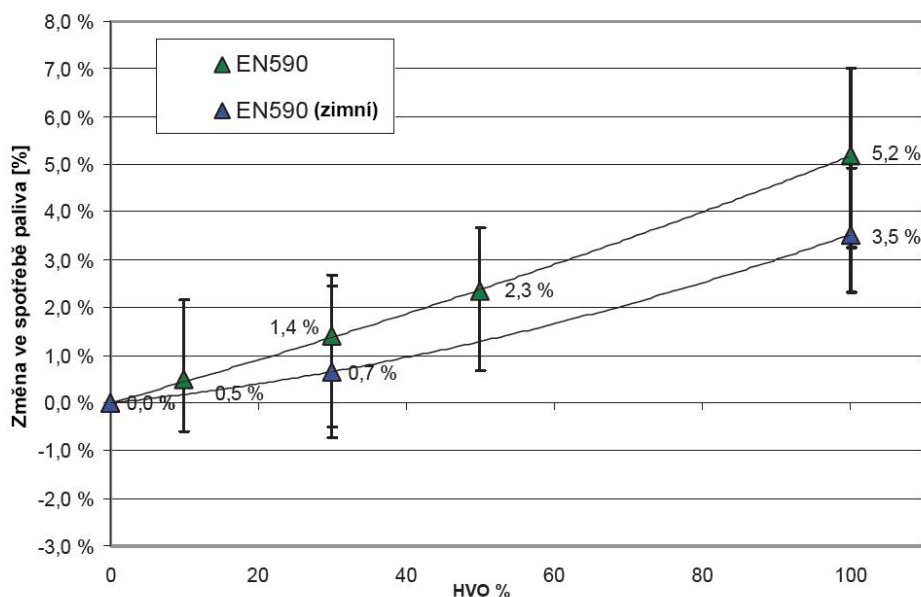
### 4.3.1 VÝKON MOTORU

K měření výkonu byly na válcové zkušební změřeny dva autobusy, přičemž jeden splňoval pouze normu EURO II, druhý normu EEV, jež zhruba odpovídá normě EURO V. Použitá nafta byla bez příměsi FAME. Graf z tohoto měření je vidět na *obr. 15*.



Obr. 15 Graf výkonu [21]

Výhřevnost na jeden kilogram je u HVO o něco málo vyšší než u nafty, což by mohlo evokovat zvýšení výkonu a snížení spotřeby paliva. Vzhledem ale k nižší hustotě HVO, je objemová výhřevnost ve srovnání s tržní naftou nižší. Z grafu na *obr. 15* lze vidět, že ztráta výkonu při použití HVO u novějšího autobusu je minimální. Při použití autobusu staršího je výkonnostní rozdíl znatelnější, ačkoliv se jedná o ztrátu v jednotkách procent. To by mohlo být způsobeno zastaralejším druhem vstřikovacího čerpadla. Co se týče spotřeby paliva, tak při použití pouze HVO v motoru může spotřeba stoupnout až o 7 %, viz *obr. 16*.

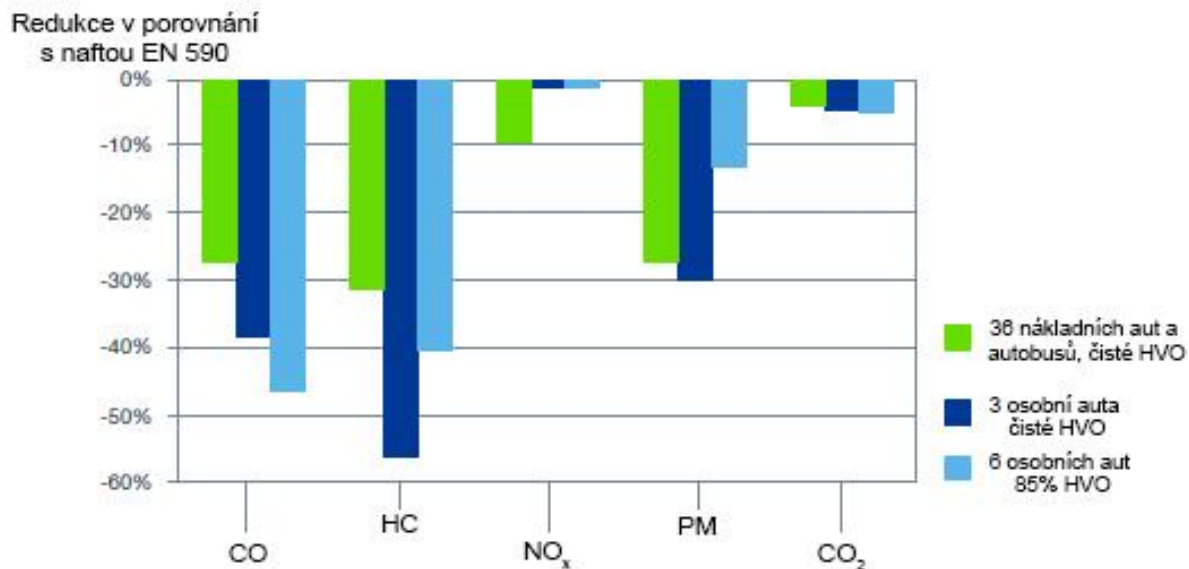


Obr. 16 Změna spotřeby s rostoucím podílem HVO v motorové naftě [21]

Nutno poznamenat, že motory použitých autobusů nebyly optimalizovány na použití HVO. V případě tohoto testování bylo pouze HVO načerpáno do nádrže namísto klasické nafty, tudíž lehké změny např. v časování vstřikování by mohly docílit možného zvýšení výkonu a snížení spotřeby, která by pak mohla být stejná jako při použití nafty.[18], [21] Nicméně grafy na *obr. 15* a *obr. 16* jsou dobrou ukázkou toho, že i bez jakékoliv optimalizace motoru lze HVO používat za cenu pouze minimálního zhoršení výkonu a zvýšení spotřeby.

#### 4.3.2 EMISE

Pokud bude HVO vyráběno pouze z obnovitelných zdrojů, pak stejně jako bionafta bude mít nižší emise CO<sub>2</sub> v životním cyklu, neboť rostliny vyprodukovaný oxid uhličitý opět použijí. Výrobci a dodavatelé paliva hovoří o celkovém snížení emisí tohoto oxidu až o 90 %.[22] U HVO bylo také v řadě studií zjištěno podstatné snížení emisí i všech kontrolovaných látek, viz *obr. 17*.



*Obr. 17* Průměrný vliv použití HVO na emise ve srovnání s naftou [23]

Výsledky znázorněné na obrázku výše poukazují na významné snížení emisí CO, HC, NO<sub>x</sub> i PM, a to jak při použití čistého HVO, tak při jeho smíchání s naftou, oproti motorové naftě samotné. Některá vozidla s motory se staršími typy vstřikovacích čerpadel poháněna čistým HVO vykazovala při měření emisí lehký růst NO<sub>x</sub>. [23] Stejně ale jako při měření výkonu motoru se vypouštěné emise HVO zkoumají pouze změnou paliva, což není ideální. Očekává se, že optimalizováním motoru pro toto palivo by bylo možné dosáhnout ještě lepších emisí výfukových plynů.

#### 4.4 NUTNÉ ÚPRAVY MOTORU

Jak již bylo v kapitole 4.3.1 naznačeno, HVO lze díky svým vlastnostem podobným naftě používat v běžných moderních vznětových motorech bez jakýchkoliv mechanických úprav. Lze jej použít jak čisté, tak také ve směsi s fosilní naftou, s kterou se lze mísit v jakémkoli poměru. Jelikož je ale cetanové číslo tohoto paliva mnohem vyšší než u motorové nafty, může nastat problém s dřívějším vznícením paliva a s tím zhoršení jízdních vlastností a poškozování vstřikovačů. Kvůli tomuto problému by pravděpodobně byly vyžadovány určité úpravy v řízení motoru jako je časování vstřiku paliva. Kromě adaptace časování vstřikování je vhodné upravit otevírání a zavírání EGR ventilu, který taktéž může mít vliv na výkon motoru a vypouštěné emise.[18]

#### 4.5 VÝHODY

HVO se ukazuje jako palivo s mnoha výhodami. Největší z nich je chemická podobnost s naftou při možnosti výroby pouze z obnovitelných a ekologických zdrojů. HVO si také zachovává kompatibilitu se stávajícími vznětovými jednotkami i bez jakékoliv jejich úpravy. Při masové výrobě tohoto paliva není navíc nutnost budovat nové rafinerie, neboť lze využívat ty stávající. Použití HVO navíc provází snížení emisí, a tudíž bude dost možná vhodné i pro nové emisní Euro normy. Oproti FAME jsou dobré jeho nízkoteplotní vlastnosti a skladovatelnost, která je stejná jako v případě motorové nafty.

#### 4.6 NEVÝHODY

Největší nevýhodou HVO jsou náklady na jeho výrobu a momentální využívání převážně vodíku z fosilních zdrojů k jeho výrobě. Odhad ceny HVO ve srovnání s cenou motorové nafty je vypsán v *tab. 6*. Cena motorové nafty je uvedena jakožto průměrná hodnota v době psaní této bakalářské práce. Cena HVO vyrobeného z vodíku z obnovitelných zdrojů se pak dá předpokládat ještě mnohem vyšší.

*Tab. 6* Srovnání ceny HVO s cenou nafty [24]

Palivo	Cena za litr
Motorová nafta	31 Kč
HVO	45 Kč

#### 4.7 ZHODNOCENÍ

HVO díky svým vlastnostem podobným naftě, své možnosti výroby z obnovitelných zdrojů a v neposlední řadě díky své malé emisivitě při spalování, má obrovský potenciál jakožto nejen konkurence, ale časem možná i náhrada motorové nafty. Nevýhodou je jeho cena, která by ale s větším rozšířením mohla časem padnout na dnešní ceny fosilních paliv. S větší dostupností HVO by výrobci automobilů mohli prodávat vozidla s již upravenou řídicí jednotkou přímo pro jeho spalování, a tudíž by odpadly jakékoliv starosti s optimalizací řízení motoru a jeho použití by nijak negativně neovlivňovalo výkon motoru a spotřebu paliva. Bude ale potřeba HVO prozkoumat ještě podrobněji, neboť většina studií jej zkoumala pouze u autobusů nebo těžkých nákladních vozidel, a tak v důsledku toho není k dispozici dostatek údajů o chování tohoto paliva ve vznětových motorech osobních automobilů.

## 5 DIMETHYLETHER

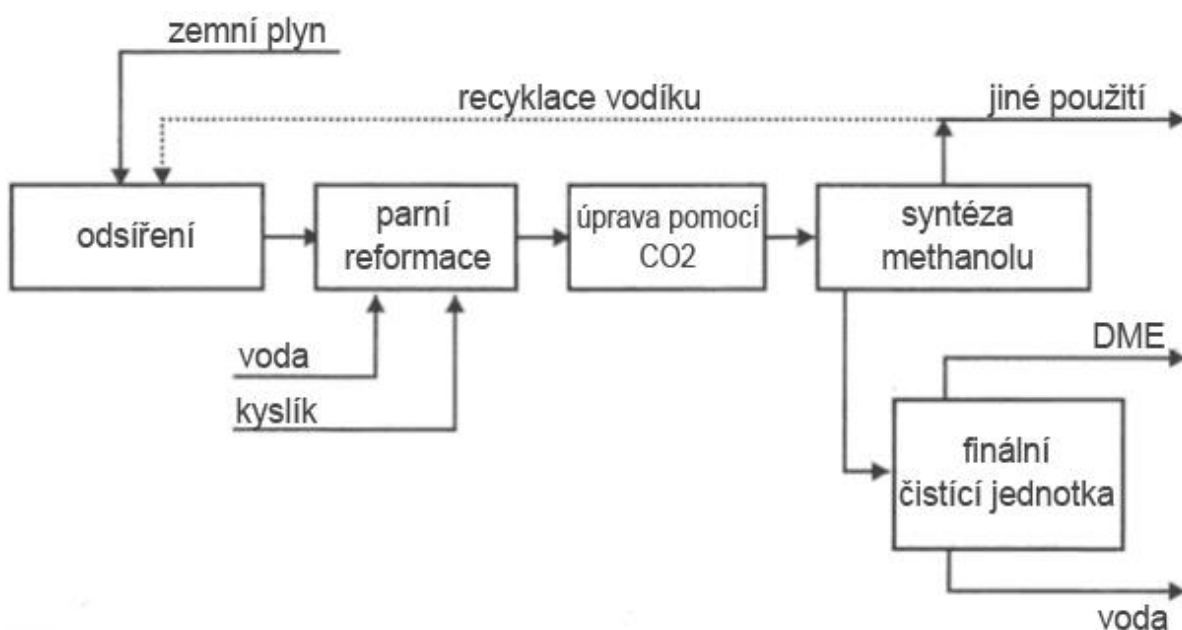
Dimethylether (DME), systematickým názvem methoxymethan, je organickou sloučeninou ze skupiny etherů s chemickým vzorcem  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ . Jedná se o nejjednodušší ether. Tento syntetický bezbarvý plyn s mírně nasládlým zápachem lze vyrábět z různých surovin. Nejčastěji jsou jimi zemní plyn, ropa, zbytkový olej, či uhlí, ale lze jej vyrábět také bez nutnosti užití fosilních paliv, a to z biomasy (BioDME). Když je tento plyn pod tlakem nad 500 kPa, tak kondenzuje do kapalně fáze. Jeho fyzikální i manipulační vlastnosti jsou velmi podobné zkapalněnému ropnému plynu (LPG), který se používá jako palivo do zážehových motorů.[25], [26]

### 5.1 HISTORIE

Počátky využívání DME sahají do druhé poloviny 20. století, kde se začal ve větší míře používat jakožto náhrada freonů, protože nemá škodlivý vliv na ozonovou vrstvu. Využití našel také jako chladivo, nebo jako prekursor pro výrobu jiných látek. První studie hovořící o dimethyletheru jako o palivu ve spalovacích motorech jsou pak z poloviny 90.let 20.století.[27]

### 5.2 VÝROBA

Výroba DME se nejčastěji provádí ze syntézního plynu. Takovýto úkon se sestává ze dvou hlavních kroků. Prvním krokem je samotná výroba syntézního plynu parním reformováním zemního plynu, nebo zplyňováním uhlí, ropných zbytků, biomasy či dřeva. Ačkoliv lze pro výrobu dimethyletheru použít obnovitelných zdrojů, nepoužívanější a nákladově nejefektivnější surovinou pro výrobu je zemní plyn. Ve druhém kroku výroby se syntézní plyn převádí pomocí katalyzátoru na methanol, který se následně pomocí speciálního katalyzátoru dehydratací přemění na DME.[26] DME lze vyrobit i za pomoci speciálního katalytického systému, který umožňuje provádět syntézu i dehydrataci methanolu v jedné jednotce, aniž by musel být methanol izolován a čištěn. Takovýto postup je však dražší než dvoufázový.[17] Zjednodušený postup výroby je zobrazen na obr. 18.



Obr. 18 Zjednodušený postup výroby DME [17]

### 5.3 SROVNÁNÍ S NAFTOU

Srovnání některých vlastností dimethyletheru s motorovou naftou odpovídající normě EN 590 je vypsáno v *tab. 7*. Tabulka obsahuje méně informací než v případě předchozích alternativních paliv, neboť je zde porovnáváno plynné palivo s kapalnou naftou.

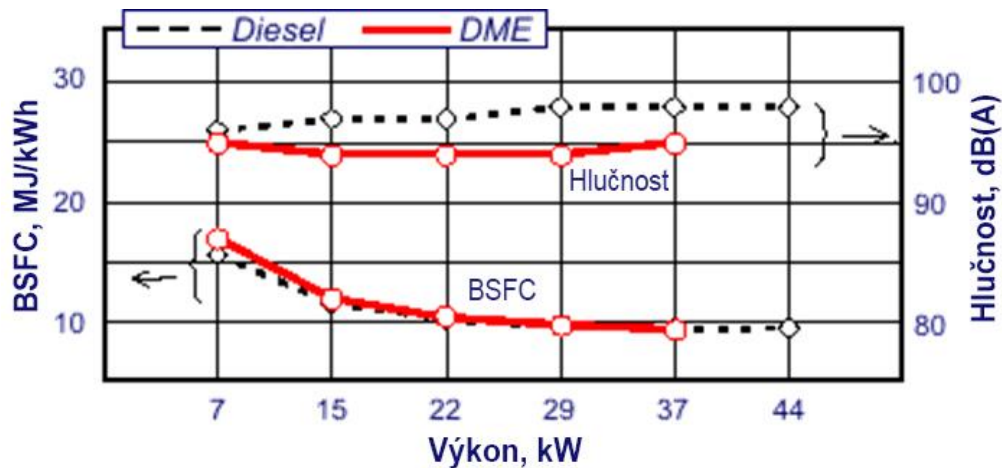
*Tab. 7* Srovnání vlastností motorové nafty a DME [27]

Parametr	Jednotka	Motorová nafta	DME
Cetanové číslo	-	51	55–66
Hustota v kapalném stavu (při 20 °C)	kg·m <sup>-3</sup>	831	667
Dynamická viskozita	cP	0,15	2
Výhřevnost	MJ·kg <sup>-1</sup>	42,5	27,6
Obsah síry	mg·kg <sup>-1</sup>	10	0
Teplota samovznícení	°C	250	235
Bod varu	°C	150–380	–25

Díky vhodně vysokému cetanovému číslu, které bývá v rozmezí 55 až 66, a také vzhledem k nízké teplotě samovznícení je DME ideální jakožto palivo vznětových motorů. DME má však oproti naftě menší výhřevnost, která porovná-li se 1 kg DME s 1 kg motorové nafty je více než o třetinu nižší. DME také má v kapalně fázi mnohem menší hustotu a viskozitu než nafta, z čehož plynou i velmi špatné mazací vlastnosti tohoto paliva, a proto se musí používat aditiva k jejich zlepšení. V provedených studiích bylo použito aditivum Lubrizol LZ539N, protože mělo z dostupných aditiv nejlepší schopnost snižovat opotřebení komponent palivového systému. Z bezpečnostních důvodů bývá do paliva také přidán ethylmerkaptan, aby bylo palivo při úniku lépe cítit, jelikož tato sloučenina má silný a velmi nepříjemný zápach. Je však lepší minimalizovat použití těchto aditiv, jelikož by mohly mít možné negativní dopady na emise výfukových plynů.[17]

#### 5.3.1 VÝKON MOTORU

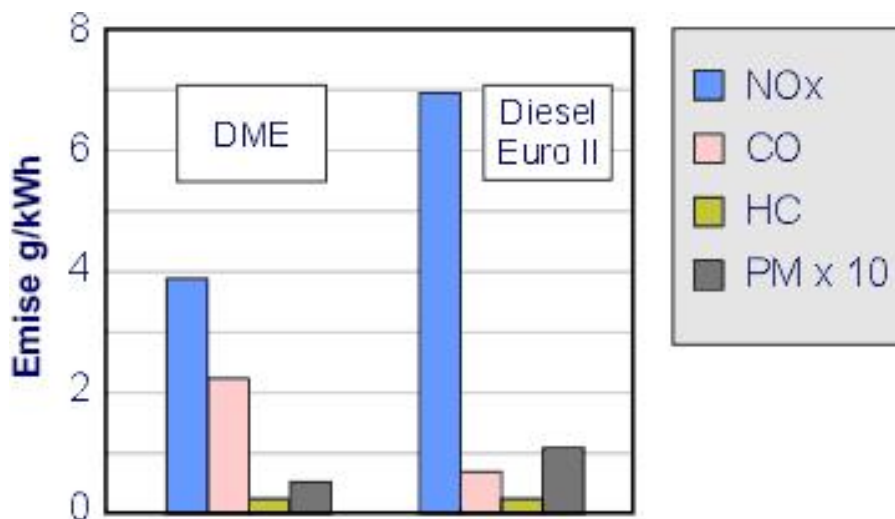
DME bylo zkoumáno z hlediska vstřikování do spalovacího prostoru motoru na různých zařízeních pro vstřikování paliva, od těch starších až po pokročilejší a dnes velmi používaný common-rail. Bylo zjištěno, že výkonnost motorů převedených na palivo DME je jen lehce snížena oproti vznětovým motorům před úpravou. U DME lze pozorovat menší prodlevu vznícení než při používání motorové nafty, tudíž je nárůst tlaku během konečné kompresní fáze, kdy se smíchává plyn se vzduchem, pomalejší, což má za následek snížení hluku motoru. To lze vidět spolu s měrnou spotřebou paliva v grafu na *obr. 19*. Nicméně tato měření byla provedena při konstantních otáčkách, a nikoliv v běžném provozu, tudíž se reálná hluchost motoru může lišit.[27]



Obr. 19 Porovnání hlučnosti motoru při použití DME a nafty [17]

### 5.3.2 EMISE

DME je velmi jednoduchý plyn, který postrádá C-C vazby. To spolu s vysokým obsahem kyslíku způsobuje jeho bezdýmnost při hoření, tudíž skoro nedochází k vypouštění žádných pevných částic. Údaje ze silniční zátěžové zkoušky porovnávající emise motoru používajícího motorovou naftu a DME jsou vyobrazeny na obr. 20.

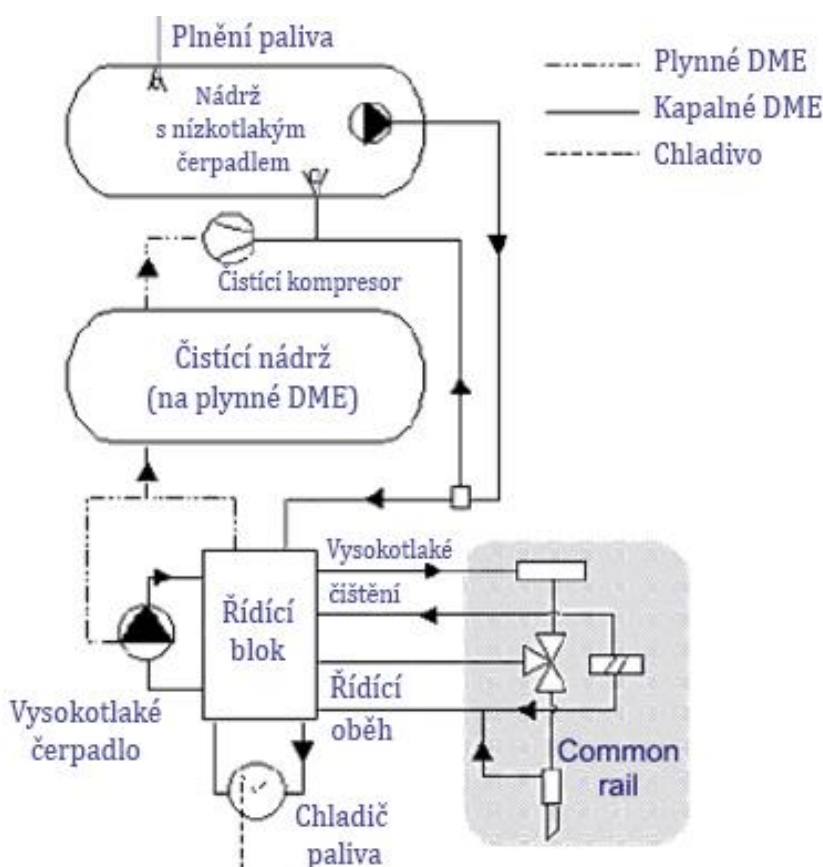


Obr. 20 Emise DME [17]

Emise znázorněné na obr. 20 byly naměřeny na osmiválcovém motoru nákladního vozidla o obsahu 7,6 litrů a porovnány s Euro II normou, kterou by měl motor splňovat. Emise  $\text{NO}_x$  byly zhruba o 40 % nižší než dovoluje daná emisní norma. Podobně na tom byly emise PM. Byl ale pozorován významný nárůst emisí CO. Množství vypouštěných HC zůstalo stejné. Tyto dvě látky lze však vcelku jednoduše redukovat oxidačním katalyzátorem. Předpokládá se, že v modernějších motorech budou emise DME minimální. Ačkoliv je většina emisí kontrolovaných látek mnohem menší, je stejně jako v případě použití bionafty pravděpodobné, že při spalování DME ve vznětových motorech vzniká určité množství toxických látek, jako např. formaldehyd. Ten by mohl tvořit až 10 % emisí z vypouštěných uhlovodíků. Co se emisí skleníkových plynů týče, hlavně tedy  $\text{CO}_2$ , ty u DME nejsou o moc lepší než v případě motorové nafty, a to ani v případě výroby tohoto plynu z biomasy.[25]

## 5.4 ÚPRAVY MOTORU

Použití DME v motoru předchází složité úpravy. Vyžaduje se upravený systém vstřikování paliva s tlakovým čerpadlem a komplikovaným chladicím a nízkotlakým systémem, jež budou palivo udržovat v kapalně fázi.[27] Dále je vhodné, aby kvůli nízké výhřevnosti plynu a zachování výkonu motoru bylo oproti naftě vstřikováno větší množství paliva. Obě palivové nádrže (jedna na kapalně a jedna na plynně DME), vzhledem k povaze plynu, musí být dostatečně tlakově odolné a je nutné, aby těsnění bylo z materiálů tomuto plynu odolných. DME totiž kvůli své žíravosti není kompatibilní s většinou elastomerů, a proto je nutné pečlivě vybírat materiály, které budou s tímto plynem v kontaktu, aby se zabránilo poškození těsnění. Mezi takoveto odolné materiály lze zařadit například polytetrafluorethylen.[1], [25] Rozložení palivového systému v autobusu Volvo, upraveného pro pohon na DME je znázorněno na *obr. 21*.



Obr. 21 Rozložení palivového systému pro použití DME [17]

Palivový systém je ve své podstatě podobný systému LPG. Je však navíc z bezpečnostních důvodů doplněn o tzv. čistící systém paliva, ve kterém se DME udržuje v plynně fázi. Tento systém je nezávislý na elektrině a signálech z ostatních systémů a ke své činnosti využívá stlačený vzduch z brzdového systému vozidla. Tankování samotného DME probíhá zcela stejně jako u LPG a lze použít stejnou infrastrukturu. Plnění obou palivových nádrží vozidla je sledováno upravenou řídicí jednotkou a elektrickým plnicím ventilem v nádržích. Tato řídicí jednotka zajišťuje po zapnutí klíčku zapalování, že se palivo rovnoměrně rozdělí do obou nádrží. Během provozu motoru je palivo v plynně stavu čerpáno z čistící nádrže do palivové nádrže s nízkotlakým čerpadlem, kam dorazí v kapalně fázi.[17]

## 5.5 VÝHODY

Hlavní výhodou DME je jeho relativně levná a jednoduchá výroba s možností využití pouze obnovitelných zdrojů. Plyn má nízký bod varu, kolem  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což vede k rychlému odpařování při vstřiku DME v kapalně fázi do spalovacího prostoru motoru, a to spolu s optimálním cetanovým číslem zajišťuje ideální samovznícení paliva. Výsledkem toho je čisté hoření plynu a nízké emise. Motory přestavěné na pohon DME také vykazovaly sníženou hlučnost oproti motorům používajících motorovou naftu.

## 5.6 NEVÝHODY

Hlavní nevýhodou DME je složitá úprava motoru a palivového systému popsána v kapitole 5.4. Plyn má také nízkou výhřevnost, a tak pokud chce DME s délkou dojezdu na jednu nádrž konkurovat naftě, tak pouze za cenu velké nádrže, která v osobním automobilu bude zabírat nemalou část zavazadelníku. Nevýhodou je i cena, neboť výroba DME ze zemního plynu stojí zhruba stejně jako výroba motorové nafty a výroba tohoto paliva z biomasy je pak zhruba 3x dražší, pokud se bere cena s ohledem na stejnou energetickou účinnost.[17], [27]

## 5.7 ZHODNOCENÍ

Ačkoliv je DME použitelné palivo ve vznětových motorech, jeho použití provází nutností nemalých úprav palivového systému. Je tedy spíše pravděpodobné, že v budoucnu budou vyvinuty specializované motory přímo pro DME, než že se budou starší vozy upravovat pro použití tohoto paliva. DME bylo stejně jako HVO navíc zkoušeno převážně na autobusech a velkých nákladních vozidlech, tudíž ani není dostatek dat o jeho použití v osobních automobilech. Výroba samotného paliva je zhruba stejně finančně náročná jako v případě motorové nafty a pokud se tedy vezmou v úvahu vlastnosti tohoto paliva a nutnosti úpravy palivového systému, jeví se toto palivo jako neefektivní jakožto větší konkurence, či dokonce náhrada motorové nafty.

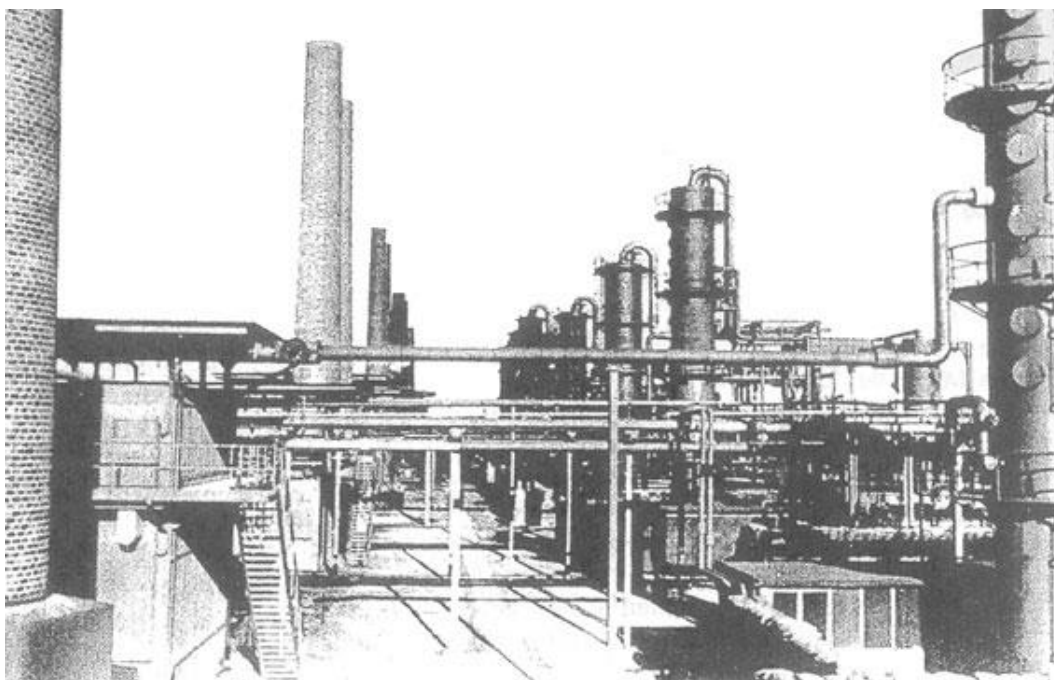


## 6 SYNTETICKÁ NAFTA

Syntetická nafta, známá někdy také jako e-diesel, či FT diesel, je nafta vyrobená chemickými reakcemi, a ne rafinací z ropy, jako je tomu u nafty motorové. Toto palivo lze vyrábět ze surovin obsahujících uhlík, nejčastěji tedy z uhlí či zemního plynu, ale k její výrobě lze využít také surovin z biomasy.[1]

### 6.1 HISTORIE

Ač se syntetická nafta může zdát moderní, její počátek sahá hluboko do historie, přesněji řečeno do 20.let 20.století. Právě v tomto období byl německými chemiky Franzem Fischerem a Hansem Tropschem podán patent na její výrobní proces. Tímto procesem jde vyrábět jak nafta, tak benzín. Největší rozmach pak syntetická paliva zažila během druhé světové války. Německo mělo potřebu stát se soběstačným, avšak mělo velmi omezené zdroje ropy a také pohonných hmot, které muselo dovážet. Nicméně problémem nebylo uhlí, kterého mělo Německo přebytek, a ze kterého díky Fischerově–Tropschově syntéze bylo schopno získávat syntetický benzín a naftu pro tanky, letadla a motorová vozidla. Sám Adolf Hitler schválil projekt velké chemické společnosti IG Fabren na výrobu těchto paliv a na stavbu několika továren. Jedna z největších továren byla postavena poblíž Pölitz (dnes Police v Polsku), viz *obr. 22*. V těchto fabrikách pracovali nuceně nasazení dělníci a váleční zajatci a během války jich bylo právě v továrně u Pölitz zaměstnáno přes 30 000, z nichž během práce zhruba 13 000 zemřelo hladem a na nemoci. Odhaduje se, že během každého z válečných let bylo v Německu vyrobeno přibližně 4 500 000 barelů syntetických paliv. V roce 1944 byl ve Spojených státech přijat zákon o syntetických palivech, který pověřil americký báňský úřad vývojem syntetických paliv. Když Spojenci vyhráli druhou světovou válku, Německo od syntetických paliv upustilo. Tento americký úřad pak demontoval dvě německé továrny a přivezl je do Spojených států. Tyto závody byly důkladně prozkoumány a jeden byl znovu sestaven v Louisianě a několik let vyráběl přibližně 100 barelů syntetických paliv a olejů denně.[17], [28]

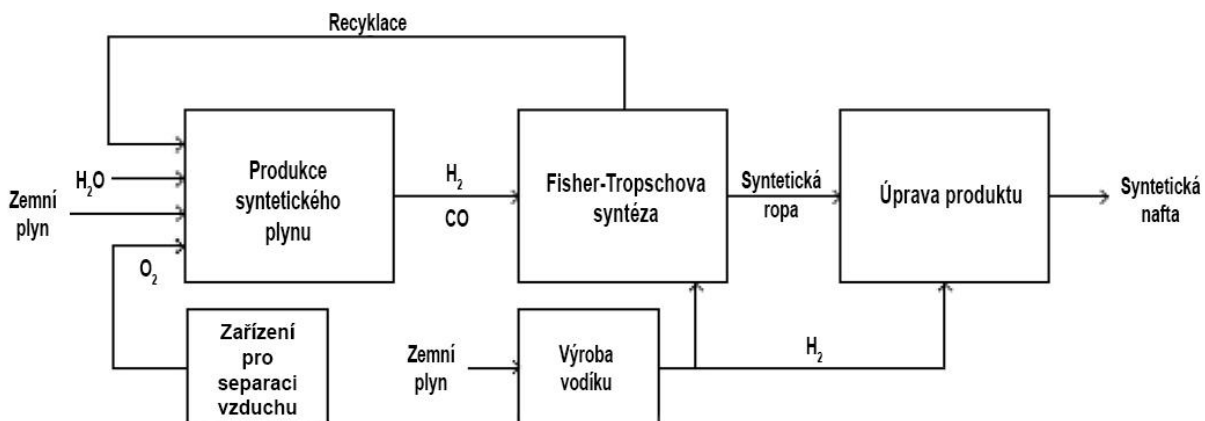


*Obr. 22* Nacistická továrna na syntetická paliva poblíž Pölitz [28]

Koncem 40. let se začalo s výzkumem syntetických paliv i v Jihoafrické republice. Tato práce byla prováděna prostřednictvím společnosti Sasol. První závod této společnosti byl postaven v roce 1955, stavba dalších pak probíhala v 80. letech 20. století. Hlavním cílem těchto továren bylo vyrábět benzín a naftu z místních zdrojů uhlí, protože v době výstavby těchto závodů se na Jihoafrickou republiku vztahovalo mezinárodní embargo a pohonné hmoty nemohly být dováženy. Továrny na syntetická paliva jsou v Africe stále používány a produkují zhruba 160 tisíc barelů syntetický paliv či olejů denně.[17]

## 6.2 VÝROBA

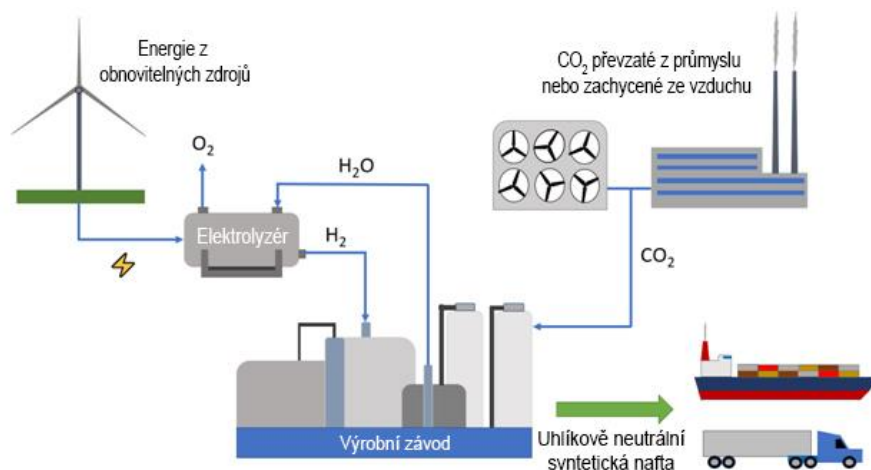
Syntetická nafta se vyrábí tzv. GTL technologií (Gas to liquid). Doslovně jde o přeměnu plynů na kapalinu. Tento proces se sestává ze tří částí. Jako první se uhlí, zemní plyn nebo biomasa tepelně přemění na syntetický plyn složený z oxidu uhelnatého a vodíku. Ve druhém kroku procesu se syntetický plyn přivádí do katalytického reaktoru, kde probíhá Fischerova-Tropschova syntéza. Při této syntéze mohou být použity dva typy katalyzátorů, a to katalyzátory na bázi železa nebo kobaltu. Volba katalyzátoru je důležitá pro určení toho, jaké vstupní suroviny lze přeměnit na syntetická paliva. Železo se používalo hlavně u uhelných surovin (Německo za druhé světové války, Jihoafrická republika). Kobalt je považován za vhodnější pro proces výroby ze zemního plynu. Produkty Fischer-Tropschovy reakce jsou směsí kapalných a voskových uhlovodíků. Dále se krakováním pomocí vodíků převádí vosky na kapalně uhlovodíky. Tímto vznikne syntetická ropa. Její destilací se pak vyrábí syntetický benzín, petrolej anebo právě nafta. V posledním kroku se směs uhlovodíků upravuje. To zahrnuje izomerizaci, která zlepšuje syntetickou naftu, převážně její nízkoteplotní vlastnosti. Celý tento proces výroby syntetických paliv je velmi náročný jak energeticky, protože je třeba velmi vysoký tlak a teplota, tak finančně.[1], [17]



Obr. 23 Výrobní proces syntetické nafty [17]

### 6.2.1 VÝROBA POUZE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ

Výroba syntetické nafty je také možná pouze z obnovitelných zdrojů. Na takovouto výrobu není nutnost použít pouze biomasu, nicméně i používaný vodík a oxidy uhlíku používané při výrobních procesech musí být vyrobeny ekologicky. Díky tomu lze palivo vyrobit dokonce tak, aby bylo uhlíkově neutrální. Takový proces je však ještě výrazněji finančně nákladnější než již tak velmi drahá výroba z fosilních zdrojů jako je uhlí či zemní plyn. Některé zdroje uvádějí, že litr tohoto paliva je až 100x dražší než litr nafty.[29] Zjednodušené schéma výroby e-dieselu pouze z obnovitelných zdrojů a za uhlíkové neutrality je vyobrazeno na obr. 24.



Obr. 24 Výroba syntetické nafty pouze z obnovitelných zdrojů [30]

### 6.3 SROVNÁNÍ S NAFTOU

Vlastnosti syntetické nafty se mohou od konvenční nafty lehce lišit, a to podle použitých katalyzátorů a reaktorů při Fischer-Tropschově syntéze. Obecně má ale e-diesel ve srovnání s motorovou naftou vždy lepší samovzněcovací vlastnosti v důsledku vyššího cetanového čísla, skoro nulový obsah síry a velmi nízký obsah aromátů a polyaromátů. Srovnání vlastností motorové nafty, která odpovídá normě EN 590, a syntetické nafty je vypsáno v tab. 8.

Tab. 8 Srovnání vlastností motorové nafty a syntetické nafty [17]

Parametr	Jednotka	Motorová nafta	FT Diesel
Cetanové číslo	-	56,5	74
Bod zákalu (CP)	°C	-5	3
Bod vzplanutí	°C	59	72
Hustota při 15 °C	kg·m <sup>-3</sup>	832,4	785
Kinematická viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	3,24	3,57
Výhřevnost	MJ·kg <sup>-1</sup>	43	44–48
Obsah síry	mg·kg <sup>-1</sup>	10	<5

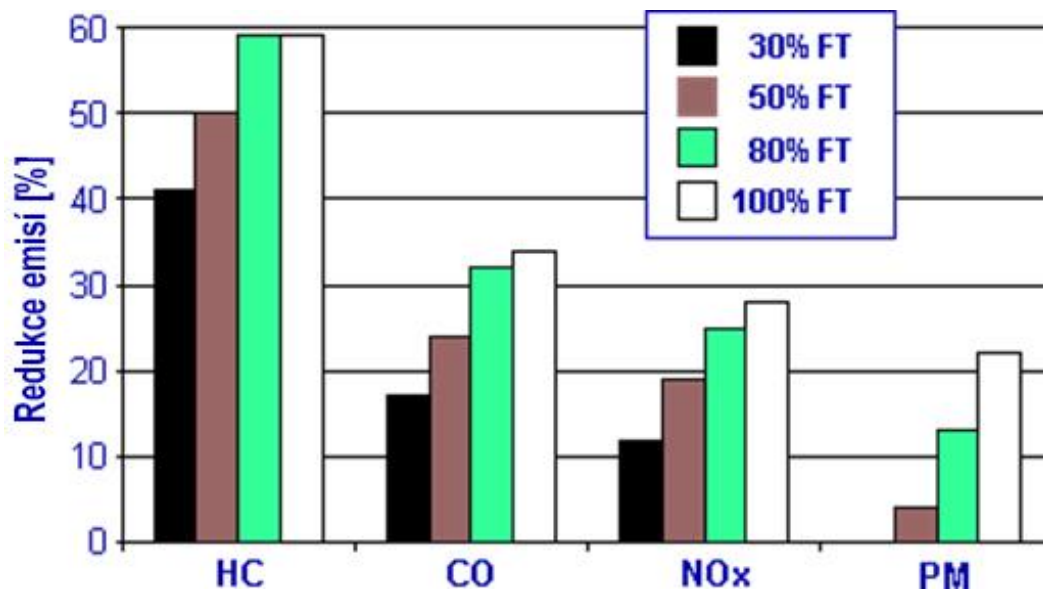
Obsah síry v syntetické naftě nemohl být studiem přesně změřen, neboť se jedná o hodnoty pod detekovatelnými hranicemi. Dá se tedy říct, že toto palivo je bez síry. Obdobně jako u HVO však prakticky nulový obsah síry znamená nutnost použít mazací aditiva, nebo palivo smíchat s FAME, které má vynikající mazací vlastnosti, k ochraně palivového a vstříkovacího systému. Syntetická nafta má také oproti naftě horší vlastnosti za studena, což lze opět vyřešit přidáním aditiv do paliva. Vzhledově je syntetická nafta bez barvy a skoro bez jakéhokoliv zápachu.[17]

### 6.3.1 VÝKON

Jelikož má syntetická nafta vyšší cetanové číslo než nafta z ropy, tak ve spalovacím prostoru motoru lépe shoří. Oproti konvenční naftě může být i vyšší výhřevnost tohoto paliva. To s optimálním nastavením vstřikování, tedy s úpravou řídicí jednotky na vlastnosti tohoto paliva, může vést ke zvýšení výkonu motoru a snížení spotřeby paliva. To, o kolik procent by však výkon motoru byl vyšší a spotřeba nižší, než ve srovnání s klasickou motorovou naftou není přesně známo, neboť nebylo provedeno dostatek studií této problematiky. Stejně tak není známo, jak se tyto vlastnosti liší ve vozidlech, u kterých se řídicí jednotka nijak neupravovala. Předpokládá se však, že výkon motoru i spotřeba zůstanou stejné.[17]

### 6.3.2 EMISE

Řada experimentálních studií prokázala, že použití syntetické nafty, a to jak čisté, tak ve směsi s konvenční motorovou naftou ve vznětových motorech, vede ke snížení emisí kontrolovaných látek. Syntetická nafta má totiž pro nižší emise vhodné vlastnosti – vysoké cetanové číslo, nízký obsah aromatických látek a prakticky nulový obsah síry. Srovnání redukce emisí vypouštěných látek je vyobrazeno na obr. 25.



Obr. 25 Snížení emisí syntetické nafty při porovnání s motorovou naftou [17]

Z grafu výše lze vidět při použití čisté syntetické nafty snížení emisí HC o skoro 60 %, CO a NO<sub>x</sub> o zhruba 30 % a PM o něco málo přes 20 % oproti konvenční naftě. Z hlediska emisí skleníkových plynů, hlavně tedy CO<sub>2</sub>, způsobujících globální oteplování, je ve svém životním cyklu syntetická nafta vyrobená ze zemního plynu přibližně rovnocenná naftě motorové. Při použití uhlí k její výrobě je na tom však ještě hůře.[17]

## 6.4 NUTNÉ ÚPRAVY MOTORU

Syntetická nafta (v její aditivované formě se zlepšenou mazivostí) je zcela kompatibilní se stávajícími vznětovými motory bez nutnosti jakýchkoliv jejich úprav. Při jejím používání je ale vhodné, podobně jako u HVO, optimalizovat řízení motoru, konkrétně časování vstřikování paliva kvůli jejímu vysokému cetanovému číslu. Tato úprava však není podmínkou.[17]

## 6.5 VÝHODY

Nespornou výhodou je kompatibilita se stávajícími vznětovými motory a možnost použití tohoto paliva bez jakýchkoliv úprav motoru. Masivnějšímu použití syntetické nafty nahrávají také její vlastnosti, hlavně nízký obsah aromátů a síry, což napomáhá ve výfukových plynech snižovat životnímu prostředí nebezpečné látky. Syntetickou naftu lze také vyrábět nejen z obnovitelných zdrojů, ale dokonce tak, aby byla uhlíkově neutrální.

## 6.6 NEVÝHODY

Obecně nevýhodou e-dieselu je jeho špatná mazivost a nízkoteplotní vlastnosti. Oba tyto problémy však lze vyřešit přidáním aditiv. Největší nevýhodou syntetické nafty jsou tak podobně jako u HVO náklady na její výrobu. Pokud budeme chtít vyrábět toto palivo ze surovin z biomasy, tak náklady na výrobu a následně i cena paliva nemůžou být momentálně dostatečně konkurenceschopné s cenami klasické motorové nafty. I v případě výroby z fosilních zdrojů jsou náklady na výrobu mnohem vyšší a cena za barel může být až několikrát dražší.[18] Odhad ceny syntetické nafty je v *tab. 9*. Lze těžko určit přesnou cenu syntetické nafty, jelikož se jedná o palivo málo využívané, a tedy i špatně dostupné a důvodem vysokých cen je spíše výroba pouze v malém množství. Negativním aspektem tohoto paliva jsou i emise skleníkových plynů, hlavně tedy emise CO<sub>2</sub>, které jsou v životním cyklu paliva stejné, nebo dokonce vyšší než v případě motorové nafty.[17]

*Tab. 9* Porovnání ceny syntetického paliva s cenou nafty [29], [31]

Palivo	Cena za litr
Motorová nafta	31 Kč
Syntetická nafta	10 € ≈ 240 Kč
Syntetická nafta vyrobená pouze z obnovitelných zdrojů	50 € ≈ 1200 Kč

## 6.7 ZHODNOCENÍ

Syntetická nafta má do budoucna díky svým vlastnostem, které jsou stejné nebo dokonce mnohdy i lepší než v případě motorové nafty, velkou šanci uspět na poli alternativních paliv. Tomu nahrává i její kompatibilita se stávajícími motory bez nutnosti úprav. Nevýhodou je však její vysoká cena a výroba převážně z uhlí, či zemního plynu, tudíž i při použití tohoto paliva se zcela neustoupí od fosilních zdrojů. Výroba je sice možná z obnovitelných zdrojů a s nulovou uhlíkovou stopou, avšak širší využití této výroby vzhledem k jejím nákladům se v dnešní době jeví nereálně. Předpokládá se ale, že do budoucna se cena syntetické nafty bude s jejím větším a komerčním využíváním a zvyšováním produkce snižovat až na dnešní ceny fosilních paliv.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo udělat rešerši na téma možných alternativních paliv použitelných ve vznětových pohonných jednotkách. Práce by měla poskytnout objasnění základních pojmů této problematiky a vhléd do ní.

Ačkoliv mnohé z paliv oplývají v jistých oblastech lepšími vlastnostmi než dnes ve vznětových motorech nejpoužívanější motorová nafta, pro běžné uživatele je ale nejdůležitější cena paliva, kompatibilita se stávajícími motory bez nutnosti úprav a chování motoru z hlediska výkonu a spotřeby, proto se mnohé z paliv nyní mohou jevit jako neefektivní. Alternativním palivům ani nenahrává fakt, že ve srovnání s elektromobilitou se jim ze strany médií i výrobců nedostává příliš pozornosti, což vede k malé informovanosti, a tím i k malému zájmu o tato paliva. Připravované nové evropské emisní normy Euro 7 a VII by však v budoucnu mohly alternativním palivům otevřít dveře, budou-li schopny plnit přísné emisní limity, na které motorová nafta již pomalu nestačí.

Alternativními palivy s největším potenciálem nahrazení motorové nafty jsou hydrogenovaný rostlinný olej spolu se syntetickou naftou. Právě tato dvě paliva nabízí nejlepší vlastnosti z momentálně dostupných alternativních paliv, neboť mají vysoké cetanové číslo, dobrou výhřevnost a při jejich spalování v motoru i nízkou emisivitu. Obě tato paliva navíc nevyžadují mechanickou úpravu stávajících vznětových jednotek a lze je vyrábět pouze z obnovitelných zdrojů, ačkoliv myšlenka širšího uplatnění této technologie je momentálně spíše utopická. HVO dokonce ke své výrobě může využívat jinak nevyužívaných odpadních látek, jako jsou například kafilerní tuky či použité oleje po smažení. V blízké budoucnosti se dá očekávat rozvoj těchto paliv a jejich následné větší uplatnění, čímž by se mohly jejich vysoké výrobní náklady snížit.

Obecně však bude potřeba tato paliva ještě detailněji prozkoumat, jelikož většina studií je zkoumala hlavně u autobusů nebo těžkých nákladních vozidel, a tedy není k dispozici dostatek údajů o chování těchto paliv ve vznětových motorech osobních automobilů, které tvoří nemalou část vozidel s touto pohonnou jednotkou.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] REIF, Konrad. *Diesel engine management: systems and components*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2014. ISBN 9783658039806.
- [2] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003, viii, 580 stran : ilustrace. ISBN 80-238-8756-4.
- [3] Vznětový motor je s námi už 125 let. Víte, jak funguje?. *Cebia.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-11-03]. Dostupné z: <https://www.cebia.cz/novinky/rady-a-tipy/vznetovy-motor-je-s-nami-uz-125-let-vite-jak-funguje>
- [4] KOLEKTIV VÚNM A ČKD. *Naftové motory čtyřdobé. 1. díl. 2. vyd.* Státní nakladatelství technické literatury : Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1962, 541 s. : il. gr. + 1 složený list A3, 2 složené listy A4
- [5] ŠTĚTINA, Josef. Přednášková prezentace - Spalovací motory. In: *Termomechanika online* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: [https://drive.google.com/file/d/1NVIKwYB2NpRrVLB81rmv8Ao5i5U0pnZ\\_/view](https://drive.google.com/file/d/1NVIKwYB2NpRrVLB81rmv8Ao5i5U0pnZ_/view)
- [6] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 376 s. : il. ISBN 80-239-6461-5.
- [7] Cetane numbers of branched and straight-chain fatty esters determined in an ignition quality tester. *Fuel*. 2003, **82**(8), 971-975. ISSN 0016-2361. Dostupné z: doi:10.1016/S0016-2361(02)00382-4.
- [8] *Diesel and Gasoline Engines*. IntechOpen, 2020. ISBN 9781789852486. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.75259
- [9] Motorová nafta třídy B, D, F. *UnipetrolRPA.cz* [online]. [cit. 2022-11-09]. Dostupné z: <https://www.unipetrolrpa.cz/CS/NabidkaProduktu/rafinerske-produkty/PohonneHmoty/Nafty/Stranky/Motorov%C3%A1-nafta-t%C5%99%C3%ADdy.aspx>
- [10] REŞITOĞLU, İbrahim Aslan, Kemal ALTINIŞIK a Ali KESKIN. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean technologies and environmental policy* [online]. Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015, **17**(1), 15-27 [cit. 2022-11-10]. ISSN 1618-954X. Dostupné z: doi:10.1007/s10098-014-0793-9
- [11] Historie vozidel s pohonem na plyn - dřevoplyn. *Lpg-cng.ochranamotoru.cz* [online]. [cit. 2022-11-11]. Dostupné z: <https://lpg-cng.ochranamotoru.cz/drevoplynova-vozidla-plavidla-pohon-drevoplyn-drevo-plyn.htm>
- [12] Wood gas vehicles: firewood in the fuel tank. *Lowtechmagazine.com* [online]. 2010 [cit. 2022-11-11]. Dostupné z: <https://www.lowtechmagazine.com/2010/01/wood-gas-cars.html>

- [13] FAME, Fatty acid methyl esters. *F3centre.se* [online]. 2017 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://f3centre.se/sv/faktablad/fame-fatty-acid-methyl-esters/>
- [14] KIM, Dong-Shik, Mohammadmatin HANIFZADEH a Ashok KUMAR. *Trend of biodiesel feedstock and its impact on biodiesel emission characteristics*. 2018, **37**(1), 7-19. ISSN 19447442. Dostupné z: doi:10.1002/ep.12800
- [15] CHENG, Qiang, Hulkkonen TUOMO, Ossi KAARIO a Larimi MARTTI. *HVO, RME, and Diesel Fuel Combustion in an Optically Accessible Compression Ignition Engine*. 2019, **33**(3), 2489-2501. ISSN 0887-0624. Dostupné z: doi:10.1021/acs.energyfuels.8b03822
- [16] MCCARTHY, P., M.G. RASUL a S. MOAZZEM. Comparison of the performance and emissions of different biodiesel blends against petroleum diesel. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2011, **6**(4), 255-260. ISSN 1748-1317. Dostupné z: doi:10.1093/ijlct/ctr012
- [17] MAJEWSKI, W. A., KHARI, K. M. Diesel Emissions and Their Control, SAE International, 2006, 561 s., ISBN 0768006740, 9780768006742.
- [18] DIMITRIADIS, Athanasios, Ioannis NATSIOS, Athanasios DIMARATOS, Dimitrios KATSAOUNIS, Zissis SAMARAS, Stella BEZERGIANNI a Kalle LEHTO. Evaluation of a Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Effects on Emissions of a Passenger Car Diesel Engine. *Frontiers in Mechanical Engineering*. 2018, **4**. ISSN 2297-3079. Dostupné z: doi:10.3389/fmech.2018.00007
- [19] DODGE, Edward. Fuel Stability Problems Challenge FAME Biodiesel. *Edward T. Dodge* [online]. 2014-07-25 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.edwardtdodge.com/2014/07/25/fuel-stability-problems-challenge-fame-biodiesel/>
- [20] Hydrotreatment to HVO. *ETIPBioenergy* [online]. [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://www.etipbioenergy.eu/value-chains/conversion-technologies/conventional-technologies/hydrotreatment-to-hvo>
- [21] Nylund, Nils-Olof & Erkkilä, K. & Ahtiainen, M. & Murtonen, Timo & Saikkonen, P. & Amberla, A. & Aatola, H.. (2011). Optimized usage of NExBTL renewable diesel fuel OPTIBIO. 2604. 1-172.
- [22] Hydrogenovaný rostlinný olej. *DAF Trucks* [online]. [cit. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://www.daftrucks.cz/cs-cz/trucks/alternativni-paliva-a-hnaci-soustavy/clean-diesel-technology/hvo>
- [23] Bio/synthetic diesel (paraffins): Emissions. *IEA-AMF* [online]. [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: [https://www.iea-amf.org/content/fuel\\_information/paraffins/emissions](https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/paraffins/emissions)
- [24] VACULÍK, Martin. Svět motorů: Biopalivo lepší než nafta sama. *ČAPPO - Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu* [online]. 25.5.2021 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.cappo.cz/aktuality-a-media/ostatni-media/precetli-jsme-za-vas/svet-motoru-biopalivo-lepsi-nez-nafta-sama>



- [25] ARCOUMANIS, Constantine, Choongsik BAE, Roy CROOKES a Eiji KINOSHITA. The potential of di-methyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: A review. *Fuel*. 2008, **87**(7), 1014-1030. ISSN 00162361. Dostupné z: doi:10.1016/j.fuel.2007.06.007
- [26] SEMELSBERGER, Troy A., Rodney L. BORUP a Howard L. GREENE. Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel. *Journal of Power Sources*. 2006, **156**(2), 497-511. ISSN 03787753. Dostupné z: doi:10.1016/j.jpowsour.2005.05.082
- [27] MAKOŚ, Patrycja, Edyta SŁUPEK, Joanna SOBCZAK, et al. Dimethyl ether (DME) as potential environmental friendly fuel. *E3S Web of Conferences*. 2019, **116**. ISSN 2267-1242. Dostupné z: doi:10.1051/e3sconf/201911600048
- [28] Politz Synthetic Oil Plant. *Battlefields WW2* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.battlefieldsww2.com/synthetic-fuel-plant-politz.html>
- [29] First e-fuel made from green hydrogen and CO2 is 100 times more expensive than petrol, but costs should plummet. *HydrogenInsight* [online]. 21.3.2023 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.hydrogeninsight.com/transport/first-e-fuel-made-from-green-hydrogen-and-co2-is-100-times-more-expensive-than-petrol-but-costs-should-plummet/2-1-1423373>
- [30] The Potential of Synthetic Fuels as a Carbon Neutral Solution. *Synfuel Americas* [online]. [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.synfuelsamericas.com/the-potential-of-synthetic-fuels-as-a-carbon-neutral-solution/>
- [31] Future Fuel: Porsche Sponsors Major eFuel Initiative—at \$45 a Gallon. *MotorTrend* [online]. 20.12.2022 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.motortrend.com/features/porsche-supercup-efuel-direct-air-carbon-capture/>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>AOME</i>	Methylester oleje z mořských řas
<i>BSFC</i>	Měrná spotřeba paliva
<i>C</i>	Uhlík
<i>CH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub></i>	Dimethylether
<i>CO</i>	Oxid uhelnatý
<i>CO<sub>2</sub></i>	Oxid uhličitý
<i>DME</i>	Dimethylether
<i>FAME</i>	Souhrnné označení bionafty
<i>GTL</i>	Technologický proces přeměny plynu na kapalinu
<i>H<sub>2</sub></i>	Vodík
<i>H<sub>2</sub>O</i>	Voda
<i>HC</i>	Nespálené uhlovodíky
<i>HVO</i>	Hydrogenovaný rostlinný olej
<i>JME</i>	Methylester oleje z dávivce
<i>MEŘO</i>	Methylester řepkového oleje
<i>NO</i>	Oxid dusnatý
<i>NO<sub>2</sub></i>	Oxid dusičitý
<i>NO<sub>x</sub></i>	Souhrnné označení pro oxidy dusíku
<i>O<sub>2</sub></i>	Kyslík
<i>PM</i>	Pevné částice
<i>PME</i>	Methylester palmového oleje
<i>RME</i>	Methylester řepkového oleje
<i>SME</i>	Methylester slunečnicového oleje
<i>SMS</i>	Směsná motorová nafta (bionafta 2. generace)
<i>SO<sub>2</sub></i>	Oxid siřičitý
<i>SOME</i>	Methylester sójového oleje
<i>TME</i>	Methylester loje
<i>UCOME</i>	Methylester použitých olejů po smažení