

# Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů



**Pavel Majtán**

**Analýza využití biopaliv ve spalovacích motorech**

Analysis of using biofuels in internal combustion engines

Bakalářská práce

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

Praha 2021

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavel Majtán

Zemědělské inženýrství  
Inženýrství údržby

Název práce

**Analýza využití biopaliv ve spalovacích motorech**

Název anglicky

**Analysis of using biofuels in internal combustion engines**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je analyzovat využití biopaliv pro spalovací motory a popsat jejich vliv na provozní parametry, především na výkon a emise. Práce se bude zaměřovat především na biopaliva s budoucím potenciálem.

### Metodika

V bakalářské práci budou na základě literárního rozboru popsány vlastnosti biopaliv a jejich dopad na provoz spalovacího motoru. Výsledná analýza bude na základě vlastního měření ověřena na měřených datech vybraného motoru a zvolených palivech.

- 1) Úvod
- 2) Cíl a metodika práce
- 3) Biopaliva (popis, základní předpisy, dělení biopaliv, předpisy atd.)
- 4) Biopaliva s potenciálem (podrobný popis biopaliv, dopad na životní prostředí, dopad na spalovací motor a údržbu atd.)
- 5) Diskuse
- 6) Závěr

**Doporučený rozsah práce**

30-40

**Klíčová slova**

Paliva, pohony, motor, vozidlo

---

**Doporučené zdroje informací**

- HROMÁDKO, J. *Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- LEE, S. – SHAH, Y T. *Biofuels and bioenergy : processes and technologies*. Boca Raton: CRC Press, 2013. ISBN 978-1-4200-8955-4.
- MACEK, J. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STROJNÍ FAKULTA. *Spalovací motory. I*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1.
- Předpisy, periodika a firemní literatura
- SCRAGG, A H. – C.A.B. INTERNATIONAL, ISSUING BODY. *Biofuels : production, application and development*. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI, 2009. ISBN 9781845935924.
- ŠMERDA, T. – ČUPERA, J. – FAJMAN, M. *Vznětové motory vozidel : biopaliva, emise, traktory*. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0160-5.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2020/2021 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

---

Elektronicky schváleno dne 20. 12. 2019

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

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 14. 12. 2020

## **Prohlášení**

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

V Praze dne 4. 5. 2021

---

Podpis

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D., za ochotu, cenné rady a odborné vedení, které mi poskytl při zpracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za jejich podporu po dobu studia.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce analyzuje biopaliva užívaná ve spalovacích motorech a informuje o odlišných vlastnostech v porovnání s palivy fosilními. Jako biopaliva s potenciálem budoucího využití se jeví hydrogenované rostlinné oleje (HVO) pro motory vznětové a alkoholová paliva (etanol, butanol) pro motory zážehové. Spalováním směsí fosilních paliv s biopalivy lze dosáhnout plynulého chodu motoru bez snížení výkonu s nižšími hodnotami emisí škodlivých látek. Etanol však při koncentraci více než 40 obj.% v automobilovém benzínu způsoboval větší korozivní účinky paliva. Nejvíce prostoru je ponecháno porovnání butanolu s automobilovým benzínem pro chod zážehového motoru. Čistý butanol po dlouhotrvajícím 300hodinovém chodu motoru vykazoval násobně vyšší emise CO a HC v porovnání se spalováním čistého benzínu.

## **Klíčová slova**

Paliva, pohony, motor, vozidlo

## **Summary**

This bachelor thesis focuses on biofuels used in internal combustion engines and informs about different properties in comparison with fossil fuels. Hydrogenated Vegetable Oils (HVO) for diesel engines and alcohol fuels (ethanol, butanol) for spark ignitions engines are produced as biofuels with potential for future use. By burning a mixture of fossil fuels and biofuels, smooth engine operation can be achieved without reducing performance with lower emissions. However, ethanol at a concentration of more than 40% by volume in gasoline caused greater corrosive effects of the fuel. The greatest emphasis is on the comparison of butanol with gasoline for the operation of a spark ignition engine. Pure butanol after a long-term operation of the engine exhibits many times higher emissions of CO and HC compared to the combustion of pure gasoline.

## **Key words**

Fuels, drives, engine, vehicle

## Obsah

1. Úvod .....	1
2. Cíl a metodika práce .....	3
3. Biopaliva.....	4
3.1 Stručný popis spalovacího motoru.....	5
3.2 Motorová nafta.....	7
3.2.1 Cetanové číslo .....	8
3.2.2 Destilační křivka .....	8
3.2.3 Bod vzplanutí .....	9
3.3 Automobilový benzin .....	9
3.4 Biopaliva I. generace .....	10
3.4.1 Rostlinné oleje.....	11
3.4.2 MEŘO .....	11
3.5 Biopaliva II. generace .....	13
3.6 Biopaliva III. generace.....	13
4. Biopaliva s potenciálem .....	15
4.1 Alternativní paliva ve vznětových motorech .....	15
4.1.1 HVO .....	15
4.1.2 Alkoholová paliva .....	16
4.1.3 Zemní plyn .....	16
4.1.4 Bioplyn.....	17
4.2 Alternativní paliva v zážehových motorech .....	17
4.2.1 Metanol.....	17
4.2.2 Bioetanol .....	18
4.2.3 LPG .....	19
4.3 Negativní vliv biopaliv na chod spalovacích motorů .....	20

4.3.1 Koroze .....	21
4.3.2 Karbonové usazeniny .....	22
4.4 Benzin vs. butanol a jejich vliv na zážehový motor .....	22
5. Diskuse .....	24
6. Závěr.....	27
7. Seznam použitých zkratek.....	29
8. Citovaná literatura .....	30



# 1. Úvod

Sestrojení automobilu a následně spalovacího motoru může být považováno za jeden z největších vynálezů moderní společnosti. Silniční doprava se ve 20. a 21. století stala jedním z nejdůležitějších hospodářských odvětví. S rostoucím počtem motorových vozidel a jejich provozem se zvyšuje negativní vliv na životní prostředí, a to především znečišťováním ovzduší výfukovými plyny, hlukem či výstavbou silnic v oblastech s ornou půdou. Nejrozšířenějšími palivy pro pístové spalovací motory v několika příštích letech nadále budou motorová nafta a automobilový benzín. Zásoba ropy na naší planetě bude vyčerpána podle současných informací do 40 let a stále aktuálnějším tématem je otázka, jak a čím fosilní paliva nahradit. To je hlavním důvodem k hledání alternativních možností provozu motorových vozidel [1].

Zatímco produkce emisí skleníkových plynů, zejména CO<sub>2</sub>, z energetiky a průmyslu na území Evropské unie v posledních letech klesají, v dopravě je tento trend opačný. Nejrychleji se rozvíjejícím zdrojem skleníkových plynů je právě doprava. Evropská unie jakožto hlavní představitel boje proti klimatickým změnám se různými způsoby snaží produkci skleníkových plynů snižovat [2]. Řešením by měla být alternativní paliva. Biopalivům se již řadu let věnuje zvýšená vědecká pozornost, zatím však nebyla vyrobena taková, která by byla pro spalovací motory vhodná ve všech ohledech. V bakalářské práci jsou hodnocena biopaliva první generace (vyráběná v plodin potravinářského průmyslu), druhé generace (založené na nepotravinářských plodinách) a třetí generace (získávaná z druhů řas a sinic) společně s palivy fosilními z pohledu jejich využití ve spalovacích motorech.

Nahradit motorovou naftu jakožto palivo využívané ve vznětových motorech bude nejspíše ještě několik let nemožným cílem. Hlavní surovinou při pokusech nalezení alternativního paliva pro motorovou naftu jsou rostlinné oleje. Surové oleje mají v roli paliva řadu nevýhod, a proto musí být chemicky upravovány, aby se svými vlastnostmi přiblížily motorové naftě. Do povědomí veřejnosti se biopaliva dostala zpočátku převážně kvůli metylesterům rostlinných olejů. Dnes je však již známo, že tato biopaliva první generace nebudou schopna motorovou naftu plně nahradit. Větší naděje je v současnosti vkládána do hydrogenovaných rostlinných olejů (HVO), které mají výborné vlastnosti pro spalování, a navíc jsou z 60 % vyráběny z odpadních materiálů [3] [4].

Při hledání alternativních paliv, která by v budoucnu byla schopna nahradit paliva fosilní, je potřeba zkoumat i další aspekty. Aby mohla některá z paliv uspět, musí být jejich využívání ekonomicky přijatelné. V neprospěch biopaliv hovoří vyšší spotřeba paliva, nutnost častější výměny motorového oleje či dokonce častější údržba motoru. Špatná kvalita či nedokonalá čistota paliv může vést k zanesení palivových filtrů nebo poškození palivových čerpadel a následnému havarijnímu stavu motoru [5].

Mezi biopaliva s potenciálem nahradit fosilní paliva lze řadit také paliva alkoholová. Alkoholová paliva (především etanol a butanol) využívaná ve směsích s automobilovým benzinem vykazují pozitivní vliv na chod motoru i na množství emisí ve výfukových plynech. Alkoholová paliva lze získávat přírodní cestou, tedy alkoholovým kvašením zemědělských surovin, či syntetickou výrobou [6].

Právě využití butanolu v zážehovém motoru je v této bakalářské práci věnován největší prostor. Tato práce využívá naměřených hodnot ze studie Pexa a kol. [7], které jsou srovnávány s poznatky z recentní literatury zabývající se využitím biopaliv.

## 2. Cíl a metodika práce

Cílem bakalářské práce je analyzovat využití biopaliv pro spalovací motory a popsat jejich vliv na provozní parametry, především na výkon a emise. Práce je zaměřena především na biopaliva s budoucím potenciálem.

V bakalářské práci jsou na základě literárního rozboru popsány vlastnosti biopaliv a jejich dopad na provoz spalovacího motoru. Výsledná analýza byla na základě měření akademické skupiny Pexa a kol., Technická fakulta České zemědělské univerzity v Praze, 2017 [7] ověřena na měřených datech mobilního generátoru ProMax 3500A poháněného motorem Briggs and Stratton typu Vanguard o výkonu 4,8 kW. Testovanými palivy byly čistý benzín BA 95 a n-butanol. Spalovací motor generátoru byl v chodu při rychlosti otáček  $3000 \text{ ot. min}^{-1}$  (tedy s výstupní frekvencí 50 Hz) postupně zatěžován elektrickým odporem s hodnotami 25, 50, 75 a 100 % jmenovitého výkonu generátoru. Během zatížení spalovacího motoru byla měřena výstupní frekvence, elektrické napětí a elektrický proud na generátoru. Dále byl měřen hmotnostní průtok paliva pomocí laboratorní váhy Vibra AJ 6200. Analyzátor emisí BrainBee a analyzátor částic EEPS byly použity pro měření množství emisí ve výfukových plynech. Provozní parametry motoru byly zaznamenávány čidly na teplotu oleje, paliva a nasávaného vzduchu. Naměřená data byla následně zpracována softwarovým programem vytvořeným v LabView pro tento účel [7].

### 3. Biopaliva

Biopaliva jsou jednou z nejdiskutovanějších podkategorií alternativních paliv. Evropská unie definuje biopalivo jako „kapalné nebo plynné palivo používané pro dopravu vyráběné z biomasy“, kde „biomasou se rozumí biologicky rozložitelná část produktů, odpadů a zbytků biologického původu ze zemědělství (včetně rostlinných a živočišných látek), z lesnictví a souvisejících průmyslových odvětví včetně rybolovu a akvakultury, jakož i biologicky rozložitelná část průmyslových a komunálních odpadů“ [8]

Za biopaliva jsou podle Směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropské unie ze dne 22. října 2014 považována taková paliva nebo zdroje energie, jenž alespoň částečně slouží jako náhrada paliv na bázi ropy. Alternativní paliva by měla přispívat k dekarbonizaci dopravy a snižovat její negativní dopad na životního prostředí. Zahrnují mimo jiné i elektřinu, vodík, stlačený zemní plyn (*Compressed Natural Gas*; CNG), zkapalněný zemní plyn (*Liquified Natural Gas*; LNG) zkapalněný ropný plyn (*Liquified Petroleum Gas*; LPG), syntetická a parafinická paliva [9].

Biopaliva mohou být dále dělena na alkoholová biopaliva (bioetanol, biometanol, butanol), biooleje (rostlinný olej, bionafta) a zkapalněná plynná biopaliva (bioplyn, dřevoplyn) [6].

Výhodou v užívání biopaliv je, že patří mezi obnovitelné zdroje energie, tedy přírodní zdroje, jejichž obnova zásob trvá řádově stejný časový úsek jako jejich spotřeba, a proto jsou na rozdíl od fosilních paliv teoreticky nevyčerpatelné. Jejich využíváním se, jak již bylo zmíněno, snižuje produkce emisí skleníkových plynů. Další výhodou pro daný stát může být i snížení závislosti na ropě dovážené z jiných zemí a s tím spojené ovlivňování trhu s pohonnými hmotami [2].

Naopak jako jednu z hlavních nevýhod užívání biopaliv je potřeba zdůraznit náročný proces jejich výroby spojený s přibýváním CO<sub>2</sub> v atmosféře, čímž je zvyšována uhlíková stopa biopaliv. Zvyšující se poptávka po biopalivech a s ní spojené státní dotace na pěstování surovin pro výrobu biopaliv (řepka olejka, kukuřice aj.) způsobují úbytek orné půdy pro pěstování plodin určených ke konzumaci. S tím je spojená ztráta tamní biodiverzity i následné zdražování potravin [10]. V neposlední řadě mohou být také biopaliva příčinou technických

závad ve spalovacích motorech, což se nepříznivě finančně projevuje v nutnosti častější údržby motorů [2].

Obecně lze automobilová paliva dělit do více skupin podle složení nebo využití v různých typech motorů:

- kapalná fosilní uhlovodíková paliva (benzin, nafta, petrolej),
- plynná fosilní uhlovodíková paliva (CNG, LPG),
- paliva získaná zpracováním biomasy (bioetanol, rostlinné oleje a jejich estery, bioplyn),
- alkoholy,
- vodík,
- exotická paliva (amoniak, nitrometan aj.) [4].

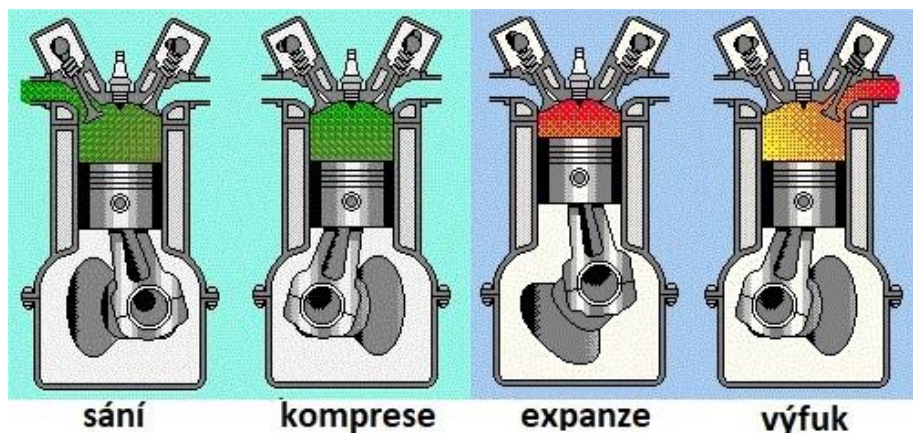
Více než polovina světově spotřebované energie pochází ze spalování fosilních paliv. Kapalná fosilní paliva i v dnešní době stále s drtivou převahou pohání silniční i leteckou dopravu [11]. Přestože snaha o využívání alternativních paliv roste, motorová nafta a automobilový benzin budou i v příštích několika letech hlavními palivy v silniční dopravě. Z tohoto důvodu jsou v kapitolách 3.2 a 3.3 popsány vlastnosti těchto dvou nejčastěji užívaných paliv ve spalovacích motorech.

### 3.1 Stručný popis spalovacího motoru

Spalovací motor je tepelný stroj, který spalováním paliva získává tepelnou energii a využitím vhodného plynného média ji převádí na mechanickou práci. Energie daného plynného média je využívána jako potenciální energie (tlak). První funkční vynálezy motorů v podobě parních strojů pochází již z druhé poloviny 18. století. Princip funkce zážehového motoru, jak je znám dnes, si nechal patentovat roku 1877 Nicolaus August Otto a dodnes je označován jako Ottův motor. O 20 let později Rudolf Diesel vynalezl motor vznětový. Nutno zmínit také rok 1886, kdy si Karl Benz nechal patentovat první tříkolové vozidlo poháněné spalovacím motorem [12] [13].

Zmíněné zážehové a vznětové motory jsou hlavními dvěma skupinami pístových spalovacích motorů, tedy motorů s vnitřním spalováním využívaných k pohonu drtivé většiny současných motorových vozidel. Pístové spalovací motory jsou děleny na dvoutaktní a častěji

užívané čtyřtaktní motory, kde je jeden pracovní oběh vykonán za čtyři zdvihy pístu (dvě otáčky klikového hřídele) [Obr.1].



**Obr. 1:** Pracovní oběh čtyřdobého motoru [14].

Výhodou pístových spalovacích motorů je jejich vysoká celková účinnost, tedy účinnost charakterizující transformaci energie obsažené v palivu na mechanickou práci. Pohybuje se v rozmezí 30–45 %. Mezi další výhody pístových spalovacích motorů lze řadit možnost rychlého spuštění a zatížení, využívání paliv s vysokým energetickým obsahem či možnost provedení motorů jako vícepalivových. Za nevýhodu lze označit nutnost spouštění odlehčeného motoru pomocí cizího zdroje energie. Pístový spalovací motor má také nevýhodný průběh točivého momentu, což vede k nutnosti použití vícešupňových převodovek. Velice diskutovanou nevýhodou je negativní vliv provozu pístových spalovacích motorů na okolní prostředí (exhalace, hluk a vibrace) [15] [16].

U zážehových motorů je směs paliva se vzduchem zážehována energií vnějšího zdroje (elektrickou jiskrou). Paliva využívaná pro chod zážehových motorů jsou automobilový benzín, plynná a alkoholová paliva. Maximální hodnota kompresního poměru  $\varepsilon = 11,5$ , tlak na konci komprese je v rozmezí 0,8–1,5 MPa s teplotou až 600 °C. U vznětových motorů dochází ke vznícení směsi paliva se vzduchem v důsledku vysoké teploty vyvolané stlačením. Pro dosažení požadované teploty vznícení je nutnost kompresního poměru  $\varepsilon$  v rozmezí 15–22 (v závislosti na způsobu vstřiku paliva). Na konci komprese působí na píst vznětového motoru tlak 3–5,5 MPa a teplota až 900 °C [15] [16].

Spalovací motor je složen z pevných nepohyblivých částí (blok motoru, kliková skříň a hlava válců) a pohyblivých částí (klikové ústrojí a rozvody). Blok motoru s válci je hlavní nosná část motoru. Nejčastěji se jedná o odlitek z litiny nebo lehkých slitin. Mezi příslušenství spalovacího motoru lze řadit chlazení, mazání, palivový systém, zapalování, sací a výfukové potrubí. Do celkového klikového ústrojí je řazena kliková skupina (klikový hřídel, ojnice, setrvačnick a tlumič torzních kmitů) a pístní skupina s pístem, těsníci a stíracími kroužky, pístním čepem a pojistkami. Právě tyto součásti zabezpečují přenos síly od tlaku plynů na ojnici. Píst je kromě zatížení mechanickými silami (od tlaků plynu) a setrvačnými silami (od vratného pohybu pístu) zatěžován také teplotně. Zatížení lze charakterizovat rázovým účinkem vyvolaným prudkým nárůstem tlaku a teploty ve spalovacím prostoru a únavovým účinkem vyvolaným cyklickými změnami zatěžujících sil. Nejvíce tepelně namáháno je dno pístu, kde maximální teploty spalin mohou dosahovat až 2500 °C [15] [17].

Velmi důležitými faktory je proto správné chlazení a mazání, čímž je udržován správný chod motoru při výše uvedených extrémních pracovních podmínkách. Chlazení motoru může být vzduchové či kapalinové, které je konstrukčně náročnější, zato však tišší a efektivnější. Mazací soustava zajišťuje snížení tření a tím opotřebení třecích ploch, odvod tepla, ochranu proti korozi, odvod nečistot a utěsnění pístu ve válci [16].

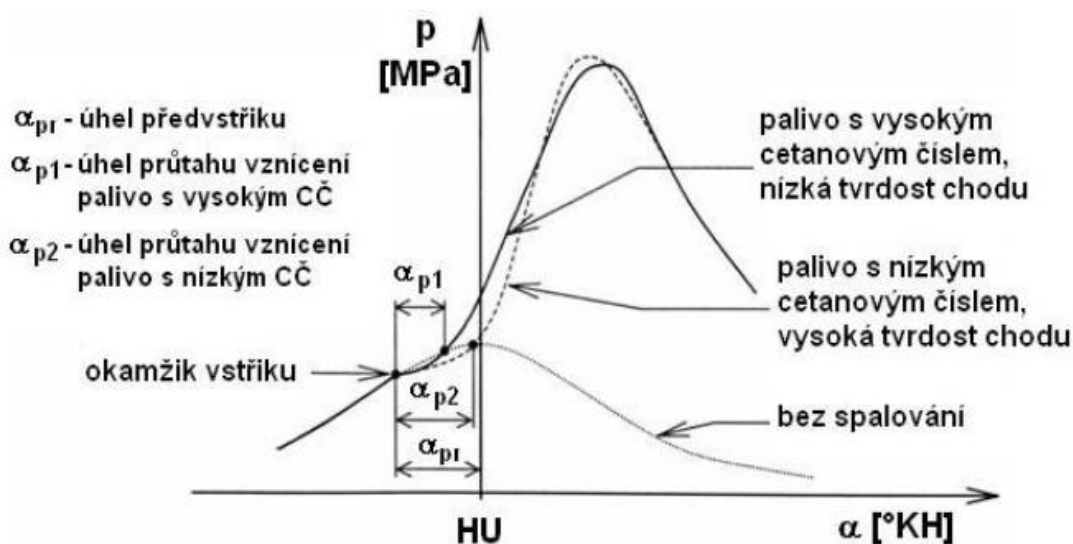
### 3.2 Motorová nafta

Motorová nafta je fosilním palivem užívaným ve vznětových motorech. Jedná se o směs uhlovodíků v kapalném stavu získávanou rafinací ropy při teplotách 150–360 °C. Kvalita motorové nafty je určena normou ČSN EN 590. Vzniká mísením petroleje s plynovým olejem. Dlouhé uhlovodíkové řetězce ve struktuře motorové nafty mají tendenci při nízkých teplotách krystalizovat, a proto v zimních měsících hrozí zatuhnutí nafty, tzv. zamrzávání. Podle principu chodu vznětového motoru je u motorové nafty kladen důraz na dobrou vznětlivost. Doba, která uplyne mezi vstříknutím paliva do spalovacího prostoru motoru a jeho vznícením se nazývá průtah vznícení. Tato doba je dána cetanovým číslem, konstrukcí motoru a způsobem vstřikování paliva [6] [4].



### 3.2.1 Cetanové číslo

Cetanové číslo (CČ) charakterizuje kvalitu a průtah vznícení motorové nafty. CČ je udáváno objemovým podílem cetanu (CČ = 100; velmi krátká prodleva vznícení) a 1-metylnaftalenu (CČ = 0; velmi špatná schopnost vznícení). Nízké CČ vede k tvrdému chodu motoru, s tím spojenou vyšší hlučností motoru a má také negativní vliv na emise kvůli nedokonalému spalování. Většina motorových naft na evropském trhu disponuje CČ v rozmezí 50–55 [6]. Hodnota CČ je měřena na zkušebním jednoválcovém motoru při změně kompresního poměru a porovnáváním zkoušeného paliva s referenčními vzorky [12]. Graf ( $p$ - $\alpha$ ) závislosti tlaku ve spalovacím prostoru na úhlu pootočení kliky klikového ústrojí (neboli na poloze pístu ve válci) ukazuje vliv cetanového čísla na hoření palivové směsi [Obr.2].



Obr. 2: Vliv cetanového čísla na průběh hoření [13].

### 3.2.2 Destilační křivka

Destilační křivka je výsledkem destilační zkoušky paliva. Jedná se o důležitý kvalitativní test, který určuje frakční složení zkoušeného vzorku. Destilační křivka udává, při jakých teplotních hodnotách dochází k odpaření určitého objemu paliva. Křivka má tzv. desetiprocentní, padesátiprocentní a devadesátipětiprocentní body, tedy teploty odparu 10, 50 a 95 % vzorku paliva. Teplota počátku destilační křivky určuje odpařivost paliva a ovlivňuje startovatelnost motoru za nízkých teplot. Teplota konce destilační zkoušky naopak



udává mazací schopnost, množství emisí či kouřivost. Motorová nafta by měla destilovat od cca 150 °C a konec destilace by neměl přesáhnout cca 360 °C [6].

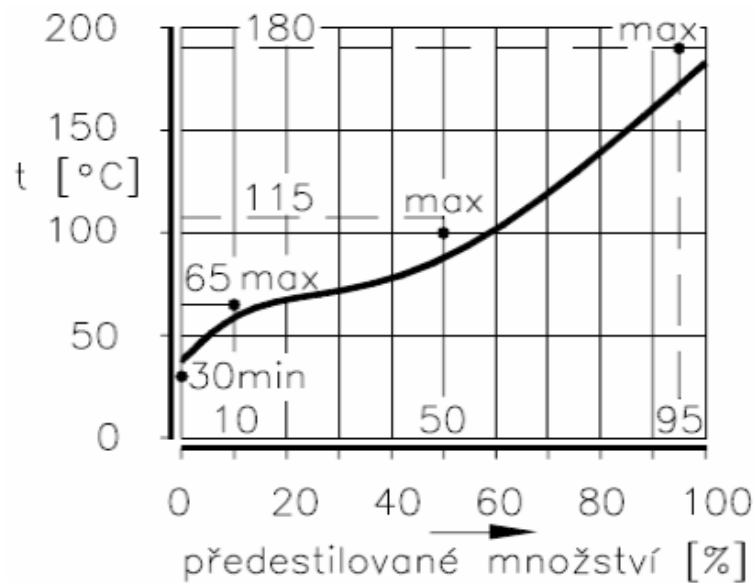
### 3.2.3 Bod vzplanutí

Dalším z jakostních parametrů testované látky je bod vzplanutí, který určuje příslušnou třídu hořlaviny z bezpečnostního hlediska. Bod vzplanutí je teplota, při níž lze směs palivových par s okolním vzduchem za atmosférického tlaku zapálit. U motorové nafty by tato teplota měla být vyšší než 55 °C, což značí třetí třídu nebezpečnosti. Nižší bod vzplanutí značí přítomnost automobilového benzínu v motorové naftě [6] [12].

## 3.3 Automobilový benzin

Benzin je kapalná látka ropného původu využívaná primárně jako palivo v zážehových spalovacích motorech. Surový benzin získávaný frakční destilací ropy však nesplňuje požadavky, které jsou na palivo tohoto typu kladeny. Z tohoto důvodu je nutné surový benzin ošetřit přimícháváním aditiv, isooktanu a dalších látek. Tyto úpravy chemického složení napomáhají i k potřebnému zvýšení výhřevnosti. Automobilový benzin by měl mít dobré antidetonační vlastnosti a vhodnou odpařivost za nízkých teplot. Nesmí obsahovat pryskyřice a těžší frakční podíly, které by smývaly olejový film ze stěn válců a ředily olej v motorové skříni. Požadován je také minimální obsah síry, která zapříčiňuje korozi v palivovém systému a zvyšuje emise výfukových plynů [4].

Na rozdíl od motorové nafty je teplota vzplanutí benzínu pod 0 °C a patří tedy mezi hořlaviny první třídy. Odpařitelnost při skladování je určena začátkem destilace. V našich klimatických podmínkách se nachází začátek destilace benzínu okolo 30 °C. Konec destilace benzínu by neměl přesahovat 210 °C, aby nedocházelo k trvalému ředění olejové náplně za chodu motoru [6] [4] [Obr.3].



**Obr. 3:** Destilační křivka automobilového benzínu [18].

Jedna z nejdůležitějších vlastností benzínu – jeho antidetonační vlastnost – je charakterizována oktanovým číslem (OČ). Detonační hoření je ve spalovacím prostoru nežádoucí jev, kde místní řetězovou reakcí vzniká extrémní rychlostí (až  $3000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) vysoký tlak a rezonance motoru způsobuje tzv. klepání. Oktanové číslo je vyjádřeno objemovým podílem izooktanu (OČ = 100; vysoká odolnost vůči klepání) ve směsi s n-heptanem (OČ = 0; velmi nízká odolnost vůči klepání). Hodnota OČ je měřena na zkušebním jednoválcovém motoru výzkumnou či motorovou metodou. Surový benzin vzniklý frakční destilací ropy má velmi nízké oktanové číslo, a proto je potřeba jeho hodnotu následně zvyšovat přidáváním antidetonátorů a rafinérskými postupy: reformováním, krakováním, izomerací či alkylací [4] [6].

### 3.4 Biopaliva I. generace

Biopaliva první generace jsou obecně vyráběna z potravinářské biomasy, tzn. z plodin potravinářského průmyslu. Mezi biopaliva první generace je řazen i etanol a bionafta. Etanol je nejčastěji vyráběn fermentací glukózy za použití kvasinek. Při výrobě bioetanolu první generace jsou zapotřebí suroviny jako cukrová třtina, kukuřice, syrovátka, ječmen, bramborový odpad a cukrová řepa. Dalším (a posledním) průmyslově vyráběným biopalivem první generace je bionafta, která vzniká chemickým procesem. Konkrétně extrakcí oleje z olejnatých rostlin či semen a následným rozrušováním vazeb mastných kyselin [19].

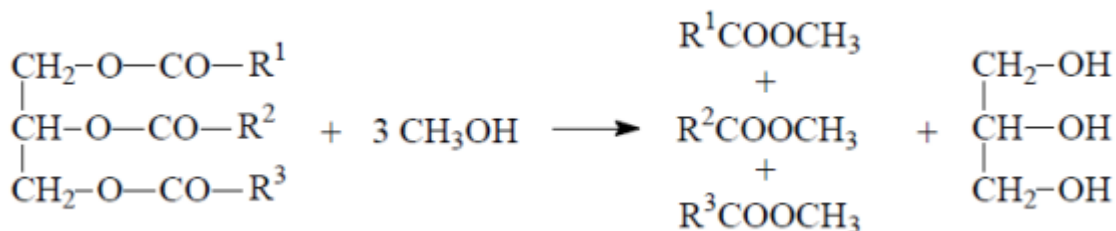
Biopaliva první generace jsou tedy řazena do kategorií metylester řepkového oleje (MEŘO), bioetanol, bioethyltercbutylether (BioETBE) vyráběn adiční reakcí bioetanolu s izobutanem a rostlinný olej (v našich klimatických podmínkách zejména řepkový olej) [1].

### 3.4.1 Rostlinné oleje

Z olejnatých semen rostlin je lisováním a filtrací získáván olej, který tvoří přibližně 35–40 % hmotnosti semene. V České republice ve spojitosti s využitím v biopalivech je významné využití především řepkového oleje z řepky olejky. Jedná se o až 120 cm vysokou bylinu s výrazně žlutými květy pěstovanou v jarních měsících, ze které je zmiňovaný olej získáván lisováním. Aby mohl být olej použitý ve výrobě paliv, musí splňovat normu ČSN 65 6516. Kvůli odlišným vlastnostem od fosilních paliv nelze rostlinné oleje využívat jako primární paliva bez úprav spalovacích motorů. Kromě reálného rizika poškození motoru by bylo problémem i překročení stanovených emisních hodnot ve výfukových plynech. Úprava vznětových motorů konstruovaných na motorovou naftu pro použití olejů jako paliva je ekonomicky nevýhodná, a proto je třeba co nejvíce přizpůsobit vlastnosti olejů motorové naftě. Řepkový olej vykazuje oproti motorové naftě mimo jiné vyšší hodnoty viskozity a hustoty. Procesem esterifikace, změnou teploty či smícháním mohou být tyto hodnoty upraveny (resp. sníženy) tak, aby bylo možné řepkový olej použít jako ekvivalent motorové nafty [12] [20].

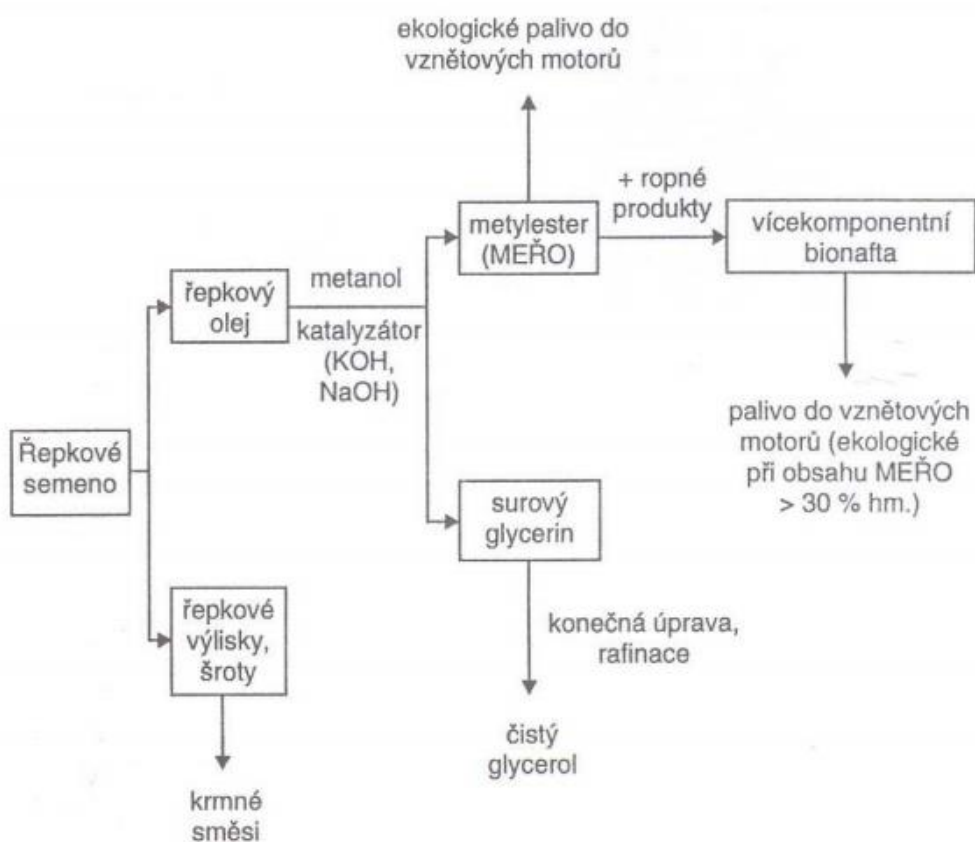
### 3.4.2 MEŘO

Metylester řepkového oleje (MEŘO) je nažloutlá kapalná látka bez mechanických nečistot, která je neomezeně mísitelná s motorovou naftou. Vyrábí se reesterifikací řepkového oleje za přítomnosti metanolu a alkalických hydroxidů [Obr.4]. Postupně se z řepkového oleje uvolňují acylové zbytky, které se vážou na přítomný metanol a tím jako sekundární produkt vzniká glycerol neboli glycerin. Z 2,5 tun řepkového oleje se takto vyrobí přibližně 1 t MEŘO [21].



**Obr. 4:** Chemické děje při procesu reesterifikace řepkového oleje [22].

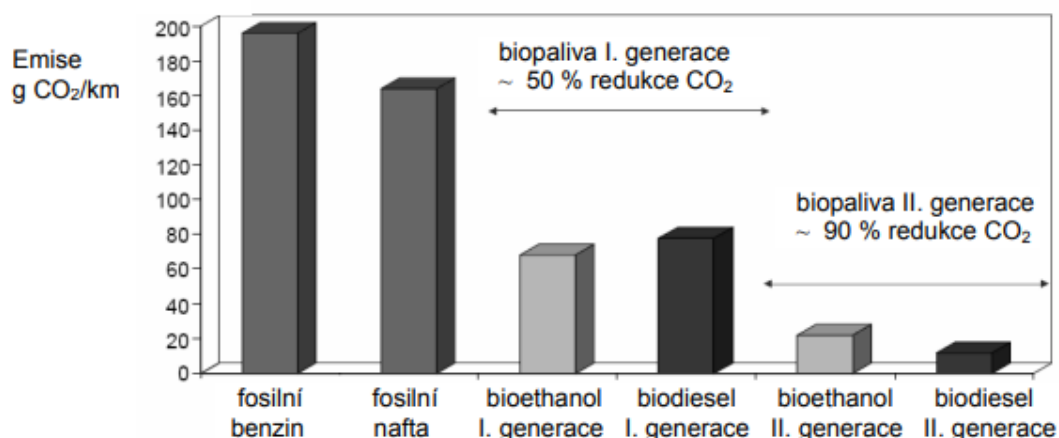
Metylester řepkového oleje jakožto finální produkt popisované esterifikace již splňuje požadované hodnoty viskozity, hustoty či bodu vzplanutí. Spalováním MEŘO dochází k výraznému snížení emisí nespálených uhlovodíků oproti motorové naftě. Navíc rozložitelnost MEŘO v přírodě je mnohonásobně rychlejší než v případě motorové nafty, což má pozitivní vliv na podzemní vodu a životní prostředí obecně. MEŘO může být využíván jako úplná náhrada motorové nafty nebo použit jako povinná biologická příměs ve fosilním palivu. Směs metylesteru řepkového oleje s motorovou naftou je označována jako bionafta, která musí splňovat jakostní parametry dané normou ČSN 65 6508 [21].



**Obr. 5:** Celkový proces výroby MEŘO [21].

### 3.5 Biopaliva II. generace

Největší rozdíl druhé generace biopaliv oproti první je v druhu biomasy pro jejich výrobu. Tou je nepotravinářská lignocelulosová biomasa, do které patří dřevo, těžební zbytky, rostlinné odpady, seno, sláma nebo rychle rostoucí dřeviny. Výhodou je, že cena této biomasy je výrazně nižší než cena rostlinného oleje, kukuřice a cukrové třtiny, na druhou stranu je zpracování nepotravinářské biomasy obecně složitější [19]. Velkou výhodou biopaliv druhé generace je vliv na životní prostředí. Potenciál snížení emisí CO<sub>2</sub> u biopaliv druhé generace je až 90 % oproti palivům fosilním. U první generace rozdíl činí přibližně 50 % [Obr.6]. Biopalivo z dřevné štěpky lze užívat plnohodnotně pro pohon vznětových motorů, nejen částečným přimícháváním do motorové nafty, a na rozdíl od MEŘO by nemělo být příčinou poškození motoru [23].



**Obr. 6:** Potenciál snížení emisí CO<sub>2</sub> biopalivy první a druhé generace [2].

### 3.6 Biopaliva III. generace

Ačkoli je třetí generace biopaliv zatím stále ve výzkumné fázi a průmyslově využívána by měla být nejdříve od roku 2025, mělo by se jednat o vhodné řešení, které předčí předchozí generace biopaliv a jejich nedostatky. Cílem je získání paliv z různých druhů řas a sinic. Řasy mohou být pěstovány v rybnících, nádržích či na mořských březích a není tak obsazována orná půda. Geneticky upravené řasy jsou schopny produkovat mnohem více energie než

například kukuřice či jiné suchozemské plodiny první generace biopaliv. Některé druhy řas mohou také růst v odpadních vodách, kde jsou živeny z bakterií, fosfátů a dusičnanů a snižují tak spotřebu sladké vody, zároveň spotřebovávají CO<sub>2</sub>. Pěstování geneticky upravených řas pro maximální zisk olejů je však energeticky náročné a je vyžadováno velké množství hnojiv. Dalšími nevýhodami je rychlejší degradace kapalného paliva a vysoká viskozita při nízkých teplotách. Z ekonomických důvodů a potřeby nedostatkového fosforu pro hnojení nejsou biopaliva třetí generace zatím průmyslově produkována [24] [25].

## 4. Biopaliva s potenciálem

### 4.1 Alternativní paliva ve vznětových motorech

Hlavní surovinou pro výrobu alternativních paliv k motorové naftě ve vznětových motorech jsou rostlinné oleje. Jak již bylo uvedeno výše, surové rostlinné oleje z praktických důvodů využití v palivářském průmyslu příliš nenalezly, a proto jsou využívány ve formě bionafty, tedy jakožto metylestery mastných kyselin (*fatty acid methyl esters*; FAME). Nejvyužívanější FAME na území České republiky je metylester řepkového oleje (MEŘO). V ČR podle zákona č. 180/2007 Sb. musí být v motorové naftě minimální podíl biopaliva 6 obj.% z celkového objemu prodané motorové nafty. MEŘO má však kvůli svým chemickým vlastnostem řadu nevýhod. Nejenže má nižší výhřevnost a volné mastné kyseliny způsobují korodování kovových částí, ale kvůli nízké oxidační stabilitě bionafta vytváří pryskyřičnaté úsady, což může vést k ucpávání částí palivového systému. Tyto oxidační produkty také mohou znehodnocovat motorový olej po jejich vniknutí do klikové skříně motoru. Těmto nedostatkům by se mělo předejít použitím hydrogenovaných rostlinných olejů (*Hydrotreated Vegetable Oils*; HVO) [3].

#### 4.1.1 HVO

Při hydrogenaci jsou rostlinné oleje za vysokých reakčních teplot (300–420 °C) a tlaku (do 20 MPa) přeměněny na směs uhlovodíků za účelem výroby diesellových paliv. Hydrogenované rostlinné oleje (HVO) mají nižší hustotu, vyšší viskozitu a vyšší cetanové číslo než motorová nafta, tedy výborné vlastnosti pro spalování. Izomerací HVO při výrobě je zamezeno případným nízkoteplotním problémovým vlastnostem. HVO je z 60 % vyráběn z odpadních materiálů (zvířecí tuk, odpadní oleje), z více jak poloviny se tedy jedná o biopalivo druhé generace. Kvůli uhlovodíkovému složení se na HVO, narozdíl od FAME, nevztahují žádná omezení pro skladování a distribuci [3]. Přimícháním 30 obj.% HVO do motorové nafty se cetanové číslo nafty zvýší až o 10 jednotek, hustota nafty však klesá k 820 kg·m<sup>-3</sup>, což je podle normy EN 590 dolní limit hustoty. Díky vyššímu cetanovému číslu klesají při spalování hodnoty emisí, především pevných částic. Oproti ropné motorové naftě je spalováním čistých HVO dosaženo až 46% poklesu počtu pevných částic, emise CO jsou nižší až o 80 % [26].

### 4.1.2 Alkoholová paliva

Metanol, etanol (bioetanol) a další alkoholy jsou využívány především jako paliva zážehových spalovacích motorů, nicméně i v motorech vznětových našly své uplatnění. Nevýhodou užívání alkoholů ve vznětových motorech je jejich nízké cetanové číslo a s tím spojená neochota vzplanutí při kompresi, a proto například pro užití metanolu je potřeba vybavit hlavu motoru pomocným zapalovacím systémem. Potřebnou úpravou alkoholových paliv je také přidávání aditiv pro zvýšení cetanového čísla a zlepšení mazacích schopností. Problém s neochotou vznícení alkoholového paliva lze řešit i přimícháváním motorové nafty. Bioetanol lze ve vznětových motorech užívat jako směs E95 (95 % bioetanol, 5 % aditiva). Pro toto palivo je nicméně vyžadováno zvýšení kompresního poměru a dávky paliva pro jeho vznícení. V motoru upraveném na užívání E95 již nelze spalovat motorovou naftu [6] [4].

### 4.1.3 Zemní plyn

Zemní plyn je neobnovitelným zdrojem energie získávaným těžbou z k tomu určených ložisek. Zemní plyn je z více než 90 % tvořen metanem, tedy obsahuje poměrně malé množství uhlíku, a proto je při jeho spalování nízká tvorba CO<sub>2</sub>. Dále nejsou produkovány pevné částice ani síra a klesá i produkce NO<sub>x</sub>. Zemní plyn je tedy považován za velmi čistou alternativu k benzínu či motorové naftě, čistší než ropný plyn LPG (kapitola 4.2.3). Jakožto zdroj energie v dopravě je využíván ve dvou formách – CNG (stlačený zemní plyn) a LNG (zkapalněný zemní plyn). Zemního plynu pro pohon spalovacích motorů je využíváno u osobních i dodávkových automobilů, ale nejvíce u vozidel pro městský provoz, jako jsou autobusy či popelářské vozy. CNG je pod tlakem 20 MPa uchováván ve vysokotlakých ocelových lahvích, které způsobují větší hmotnost vozidla a úbytek zavazadlového prostoru. Při tomto tlaku je objem plynu zmenšen v poměru 200:1. LNG je oproti tomu ochlazen na teplotu -162 °C a uchováván v kryogenních komorách pod tlakem 0,15 MPa, objem zkapalněného zemního plynu je tímto způsobem redukován v poměru 600:1. Oproti CNG při stejném množství paliva je tak LNG uskladněno v menších a lehčích nádržích. Distribuce a skladování je ale obecně složitější a nákladnější, a proto je CNG využíváno více. Velkou nevýhodou LNG je také samovolný odpar paliva z nádrže. Zemní plyn, jakožto plynné palivo, je lépe mísitelný se vzduchem, což zajišťuje dokonalejší spalování a s tím již spojenou redukcí škodlivých látek. Díky vysokému oktanovému číslu (okolo 130) je chod motoru plynulejší a tišší. Problémem s užíváním zemního plynu je kromě pořizovací ceny řídká síť čerpacích stanic a menší dojezdová vzdálenost oproti provozu na fosilní paliva [1] [4].



#### 4.1.4 Bioplyn

Bioplyn je bezbarvý plyn, který vzniká anaerobní fermentací, tedy mikrobiálním rozkladem a kvašením biomasy bez přítomnosti kyslíku. Touto biomasou jsou nejčastěji senáže, rostlinné zbytky, chlévská mrva, kejda, podestýlka hospodářských zvířat, komunální odpady aj. Bioplyn je převážně tvořen metanem, dále oxidem uhličitým, vodíkem, dusíkem a sirovodíkem. Největší vliv na výhřevnost bioplynu má metan, jehož podíl závisí na teplotě fermentace, množství vody či stupni rozkladu substrátu. Pro použití bioplynu ve spalovacích motorech je zapotřebí následná úprava, tj. odstranit z bioplynu sirovodík, oxid uhličitý, vlhkost a všechny mechanické nečistoty. Je třeba docílit požadavků kladených na zemní plyn a s tím spojený více jak 90% obsah metanu. Nevýhodou je nestabilní sezónní produkce, jelikož fermentační procesy probíhají nejlépe při teplotách okolo 40 °C. Z tohoto důvodu je v zimních měsících produkce bioplynu nedostatečná [6] [27].

## 4.2 Alternativní paliva v zážehových motorech

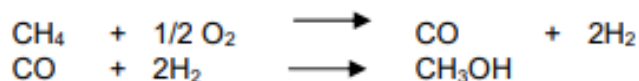
Pro zážehové motory je důležitým faktorem hodnota oktanového čísla. Alternativní paliva disponují vysokým oktanovým číslem (zpravidla přes 100), a proto i přes nižší výhřevnost mají potenciál pro užití zážehových motorech.

### 4.2.1 Metanol

Metanol je alkoholovým palivem využívaným převážně v zážehových motorech. Tato bezbarvá toxická kapalina může být vyráběna suchou destilací dřeva, či získávána jako sekundární produkt při výrobě dřevěného uhlí. V současné době ale převládá výroba syntetického metanolu ze zemního plynu [28]. Na obrázku níže jsou chemickými rovnicemi popsány dvě metody výroby metanolu. První metoda je založena na reakci metanu s vodní párou, druhá na parciální oxidaci (částečném spálení) metanu. V obou případech následuje reakce oxidu uhelnatého [Obr.7].



#### Výroba metanolu metodou parního reformingu



#### Výroba metanolu metodou parciální oxidace

**Obr. 7:** Metody pro výrobu syntetického metanolu [4].

Metanol může být podle normy ČSN EN 228 přidáván do automobilového benzínu až do 3 obj.%. M85 je označení pro palivo složené z 85 % metanolem a 15 % benzinem. Tato směs díky svému vysokému oktanovému číslu nezpůsobuje ani při vyšším kompresním poměru klepání motoru. Kvůli těmto antidetonačním vlastnostem je využíván i pro závodní motory automobilů. Hlavní výhodou oproti fosilním palivům v užívání ať už čistého metanolu, nebo jeho směsí s benzinem je příznivější složení emisí při spalování. U pevných částic a CO je pokles až 50 %, emise oxidů dusíku jsou nižší přibližně o 25 %. Nicméně spalováním alkoholových paliv vznikají zdraví nebezpečné aldehydy [29].

#### 4.2.2 Bioetanol

Bioetanol je označení pro etanol vyrobený z přírodních zemědělských surovin alkoholovým kvašením. Pro jeho výrobu jsou spotřebovávány suroviny s vyšším obsahem sacharidů a škrobu, tedy cukrová třtina, cukrová řepa, kukuřice, obilniny aj. Z důvodu použití potravinářské biomasy se jedná o biopalivo první generace. Získaný bioetanol (biolih) je třeba následně nákladným procesem odvodnit, čímž jeho cena roste. Podle normy ČSN EN 228 lze bioetanol mísit s benzinem do 5 obj.% a tuto směs spalovat bez úpravy zážehového motoru. Dalším častým využitím bioetanolu je směs E85 (85 % bioetanol, 15 % benzin). Kvůli nižší výhřevnosti E85 oproti automobilovému benzinu je nutné počítat se zvýšením spotřeby paliva až o 40 %. S tím je spojena nutná úprava motoru pro delší dobu vstříku paliva. Nevýhodou je špatná dostupnost čerpacích stanic a cena E85, která je (s přihlédnutím k vyšší spotřebě) srovnatelná s cenou benzínu. Kvůli nižšímu bodu vzplanutí (a vyšší teplotě hoření) jsou s bioetanolem spojeny problémy se studenými starty v zimních měsících. Bioetanol byl již

dříve používán v tzv. trojsměsi (automobilový benzín, bioetanol, benzen) označované Dynalkol [4]. Podobně jako u metanolu se spalováním bioetanolového paliva redukuje počet škodlivých emisí CO a nespálených uhlovodíků [30].

Dalším alkoholovým palivem je butanol, který se vyrábí složitou fermentací biomasy či hydratací butanu. Butanol může být přidáván do automobilového benzínu ve vyšší koncentraci než etanol, a to až do 10 obj.%, zároveň má oproti etanolu vyšší výhřevnost a nižší oktanové číslo. Butanol nepohlcuje vodu, nezpůsobuje tedy v takové míře korozi palivových systémů a je obecně méně agresivní k většině konstrukčních materiálů včetně plastů. S automobilovým benzinem lze butanol míchat v libovolném poměru. V budoucnu by butanol mohl být zdrojem vodíku pro palivové články [31].

### 4.2.3 LPG

Zkapalněný ropný plyn LPG (*Liquified Petroleum Gas*) je tvořen směsí propanu a butanu. Ačkoli se jedná o palivo ropného původu, díky jeho možnosti plného nahrazení běžných fosilních paliv (benzín, nafta) lze hovořit o palivu alternativním. Získává se jako sekundární produkt při těžbě zemního plynu nebo při zpracování ropy. LPG je lehce stlačitelný, na zkapalnění propanu za teploty 20 °C stačí tlak 0,85 MPa, pro butan je tato hodnota ještě nižší. Poměr těchto dvou látek se různí ve složení letní a zimní směsi. Zimní směs obsahuje větší podíl propanu, jehož bod varu je -42 °C, aby bylo i za nízkých teplot dosaženo dostatečného tlaku v nádrži. Zkapalněním dochází ke kompresi objemu v poměru 250:1. Za normálních podmínek se však jedná o plynnou látku, čehož je využíváno i ve spalovacích motorech. Paliva v plynném skupenství jsou lépe mísitelná se vzduchem a snáze je tak dosaženo ideálního směšovacího poměru, což zajišťuje dokonalé spalování bez kouře. Tímto spalováním je chod motoru pravidelnější a tišší. Dále nevzniká nespálený karbon, jenž by se mohl usazovat na pístech a ventilech. LPG nesmývá palivový film ze stěn válce a nedochází k ředění motorového oleje [6]. Kvůli hodnotě oktanového čísla (105-112 v závislosti na kvalitě) má LPG lepší antidetonační vlastnosti než automobilový benzín. Užíváním LPG v zážehovém motoru je snížena úroveň emisí NO<sub>x</sub>, pevných částic, nespálených uhlovodíků i CO. Emise CO<sub>2</sub> jsou na stejné úrovni. Hlavní výhodou LPG je příznivá cena paliva (přibližně poloviční oproti benzínu) a zároveň dostatečně hustá síť čerpacích stanic v celé Evropě. Ačkoli se LPG může ekonomicky či ekologicky jevit jako správná alternativa fosilních paliv, jsou zde dva hlavní důvody pro jeho neperspektivní budoucnost. Jak již bylo zmíněno, výroba LPG je vázána na těžbu ropy, a proto jeho

rozšiřování v budoucnu není logicky možné. Druhým mínusem je fakt, že se nejedná o obnovitelný zdroj energie [4] [32].

### 4.3 Negativní vliv biopaliv na chod spalovacích motorů

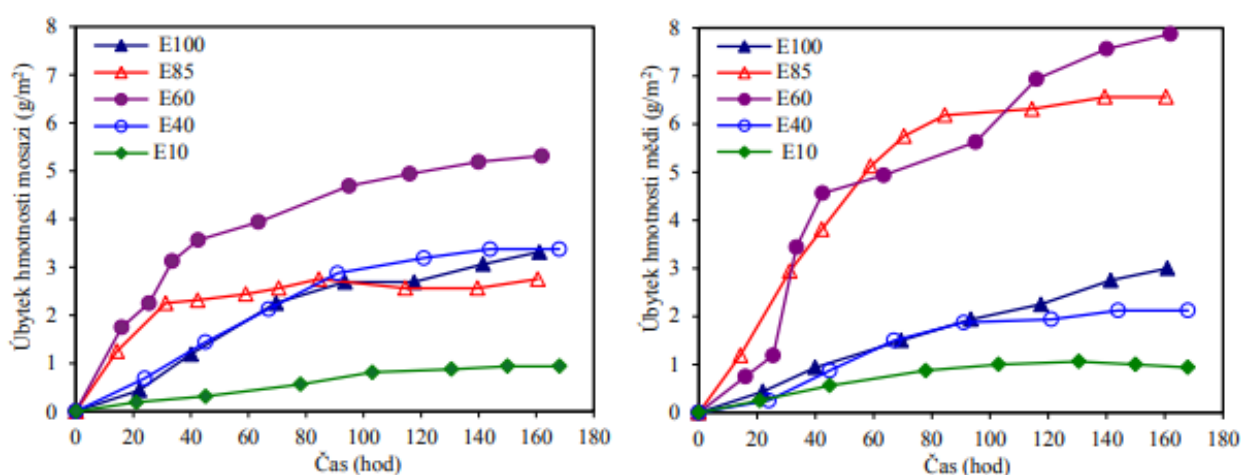
Při pokusu o využití alternativních paliv ve spalovacích motorech je nutné analyzovat nejen výstupní hodnoty při chodu motoru, ale také dlouhodobý vliv na jeho životnost. Důležitou vlastností paliva je jeho viskozita, která se mimo jiné snižuje s rostoucí teplotou. Kinematická viskozita ovlivňuje čerpatelnost a vstřikování paliva, čímž je zajištěn plynulý chod motoru. S vysokou viskozitou se zvyšuje tlak v palivové soustavě a tím i nároky na palivová čerpadla [12].

Spalováním rostlinných olejů, jakožto zástupců první generace biopaliv, dochází ke vzniku usazenin ve vstřikovacích tryskách a na stěnách válce. To je způsobeno polymerací těchto rostlinných olejů při vyšších provozních teplotách. Pojem polymerace označuje prodlužování uhlíkových řetězců. V případě polymerace olejů vznikají polotuhé shluky, které vytváří na površích povlak a snižují tak průtok v palivovém systému. U vysokotlakého systému přímého vstřikování *Common rail* tak hrozí selhání dávkování paliva a poškození vznětového motoru. Průnikem části nespáleného paliva z pracovního prostoru válce do klikové skříně dochází k urychlené degradaci motorového oleje. Při užívání paliv s biosložkami je tedy potřeba zkrátit interval výměny motorového oleje. Vyšší obsah bionafty způsobuje také častější zanesení palivových filtrů. Při delším odstavení vozidla má bionafta navíc tendence usazování na dně palivové nádrže či v palivovém systému. To může mít za následek poškození palivového čerpadla. Důležitým vlivem na správnou funkci motoru je vždy jakost užívaného paliva [33] [5].

Alkoholová paliva v zážehových motorech přináší kromě zvýšené spotřeby paliva také nevýhody, které se projeví až v delším časovém horizontu. Bioetanol disponuje vyšší odpařivostí, což může způsobovat potíže při vyšších teplotách v letních měsících (vznik bublin v palivovém systému a následná separace jednotlivých složek paliva). Etanol v palivu má například oproti benzínu vyšší schopnost vázat na sebe vodu, což může mít za následek korozi kovových částí motoru. Negativní vlastnosti alkoholů při jejich 5–10% zastoupení v palivu se však téměř neprojevují [34].

### 4.3.1 Koroze

Podle normy ČSN EN ISO 8044 je koroze kovů a jejich slitin definována jako *fyzikálně–chemická interakce kovu a prostředí vedoucí ke změnám vlastností kovu, které mohou vyvolávat významné zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami* [35]. Důsledkem koroze je narušení funkčnosti a životnosti daného materiálu. Korozní charakteristiky paliv jsou tak velice důležité pro životnost motoru. Rychlost koroze je zapříčiněna přítomností vody, kyselin, volného glycerolu či obsažených katalyzátorů z výroby paliva (Na a K). U bionafty může přítomná voda reagovat s estery za vzniku mastných kyselin, které mohou zapříčinit další korozi [36]. Ethanol určený pro mísení s benzínem může obsahovat maximálně 0,3 hm.% vody, 0,007 hm.% kyseliny octové a 20 mg/kg chloridů [37]. Obsah těchto látek v biopalivu je ukazatelem jeho korozních vlastností. Přidáváním inhibitorů koroze do paliva by měla být zajištěna alespoň částečná ochrana proti korozi [38] [39]. Studie Matějovský a kol., 2013 [37] testovala korozivní účinek laboratorně připravených lihobenzínových směsí E10, E40, E60, E85 a E100, které byly uměle kontaminovány vodou a stopovým množstvím chloridů, síranů, kyselinou sírovou a kyselinou octovou jako zdroji možného znečištění. Paliva byla testována na oceli, mědi, hliníku a mosazi. Z hmotnostních úbytků jednotlivých kovových materiálů v závislosti na čase byla vypočtena korozní rychlost, která byla hlavní veličinou pro porovnání korozivních účinků jednotlivých paliv. Nejvyšší korozní aktivitu vykazovalo ve většině případů palivo E60 [37][Obr.8].



**Obr. 8:** Časová závislost úbytku hmotnosti vzorku mosazi a mědi v kontaminovaných palivech E10 až E100 při dynamickém korozním testu [37].

### 4.3.2 Karbonové usazeniny

V důsledku nedokonalého spalování či tepelné a oxidační degradace maziv mohou vznikat usazeniny karbonu, které snižují výkon motoru a způsobují jeho provozní problémy. Mezi častá místa vzniku usazenin lze řadit kvůli vysokému tepelnému namáhání oblasti hrotů vstříkovacích trysek. Vznikem usazenin uvnitř vstříkovacího otvoru či na povrchu injektoru je snižována plynulost pracovního chodu motoru, a to snížením průtoku v trysce, resp. změnou tvaru vstříkovacího kuželu [Obr.9]. Dalšími postiženými místy jsou poté pístní kroužky a stěny válců, odkud se usazeniny dostávají do motorového oleje. Nadměrná tvorba karbonových usazenin je spojena s vyšší viskozitou a nižší těkavostí bionafty. Usazeniny vznikají rozkladem uhlovodíků nebo polymerací uhlovodíkových řetězců, které následně tvoří uhlíkové sedimenty. Dlouhodobým užíváním mohou některá biopaliva způsobit snížení výkonu právě vlivem karbonových usazenin [40] [6].



**Obr. 9:** Karbonové usazeniny na vstříkovacích tryskách [41].

### 4.4 Benzin vs. butanol a jejich vliv na zážehový motor

Jak již bylo zmíněno, butanol je alkoholovým palivem, které má oproti nejpoužívanějšímu alkoholovému palivu – etanolu – řadu výhod. Mezi ně patří nižší bod vznícení a vyšší výhřevnost. Kvůli nižší afinitě k vodě butanol způsobuje méně korozi v palivovém systému. Butanol je oproti etanolu díky delšímu uhlíkovému řetězci také lépe mísitelný s fosilními palivy. Proto lze butanol mísit s benzinem ve vyšším poměru, aniž by byla potřeba úprava palivového systému [42] [43].

Butanol, jakožto biopalivo druhé generace, v porovnání s ostatními alkoholovými palivy disponuje obecně lepšími palivovými vlastnostmi. Důležité je však srovnání butanolu s automobilovým benzínem a otázka, zda může být benzin butanolem nahrazen. Butanol má oproti benzínu nižší výhřevnost, což zapříčiňuje vyšší spotřebu paliva a zároveň nižší výkon motoru [11]. Vyšší oktanové číslo butanolu a lepší mísitelnost se vzduchem naopak přispívá k dokonalejšímu spalování. Spalování benzínu s příměsí butanolu zapříčiňuje pokles emisí CO a nespálených uhlovodíků (*Hydrocarbons*; HC) [44]. Spalování benzinového paliva s až 20% příměsí butanolu navíc nesnižuje výkon motoru [45].

Studie zmíněné výše mají však své limity, protože jejich výsledky byly založené na krátkodobých měřeních. Pro účely této bakalářské práce byly využity výsledky studie akademické skupiny Pexa a kol., Technická fakulta České zemědělské univerzity v Praze, 2017 [7]. Tato studie byla zaměřena na dlouhodobé porovnání butanolu a automobilového benzínu, čímž byl ošetřen aspekt vlivu paliv na motor při jeho dlouhodobém chodu. Měření byla prováděna za chodu mobilního generátoru ProMax 3500A se zážehovým motorem o výkonu 4,8 kW. Byly vzájemně porovnávány naměřené hodnoty při spalování n-butanolu a čistého benzínu BA 95, a to po 5 a 300hodinovém provozu spalovacího motoru s 25, 50, 75 a 100% zátěží. Poznatky z této studie a jejich srovnání s recentní literaturou jsou diskutovány v kapitole 5.



## 5. Diskuse

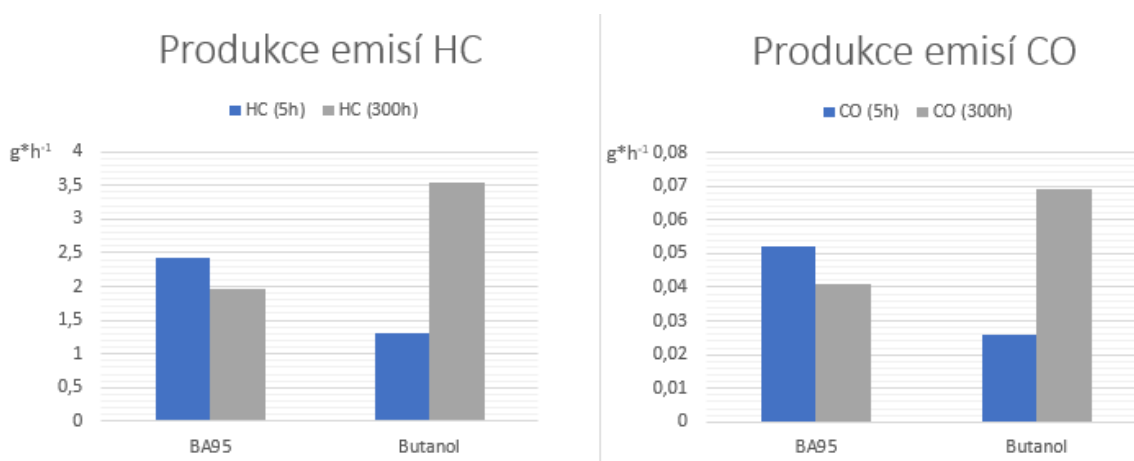
Spotřeba paliva je pro uživatele automobilu velice důležitým faktorem pro kalkulaci nákladů na provoz. Alkoholová paliva (etanol, butanol) disponují nižší výhřevností oproti benzínu, a proto je jejich spotřeba při spalování v zážehovém motoru vyšší. Studie ukazují, že spotřeba bioetanolu E85 je oproti benzínu o 30 % [46], respektive o 40 % [47] vyšší. Ve studii Pexa a kol., 2017 byla měřena spotřeba butanolu, která byla oproti benzínu přibližně o 25 % vyšší. Dále studie porovnávala změnu spotřeby paliva v závislosti na době chodu motoru. Spotřeba BA 95 se po 300hodinovém chodu motoru zvýšila v průměru o 14 % (při 25% zatížení motoru až o téměř 50 %), spotřeba butanolu vzrostla o 18 %. Spotřeba paliva tedy rostla s dobou chodu motoru neohledě na typ paliva [7].

Emise výfukových plynů jsou v současné době jedním s nejdiskutovanějších dopravních témat. Na snižování emisí je kladen důraz velkými mezinárodními organizacemi, a to je také důvodem (mimo omezení spotřeby fosilních paliv) podpory užívání biopaliv jako paliv ve spalovacích motorech. Spalováním butanolu v zážehovém motoru jsou oproti benzínu výrazně sníženy emise CO a HC, a to přibližně o 50 % [7] [48]. Řádově stejné hodnoty jsou potvrzeny i čínskou studií z roku 2018 [49]. Naopak emise NO<sub>x</sub> jsou u butanolu o více než 60 % vyšší [48]. Nižší emise NO<sub>x</sub> při spalování čistého benzínu byly naměřeny i vietnamskou studií z roku 2019, a to v porovnání s palivy s butanolovými příměsmi v libovolných koncentracích [50]. Osobní a dodávkové automobily jsou zodpovědné za 15 % všech emisí oxidu uhličitého v EU [51]. V důsledku dokonalého spalování alkoholových paliv dochází ke snížení emisí CO, na druhou stranu emise CO<sub>2</sub> se zvyšují. Vlastnosti butanolu, resp. jeho nižší počet atomů uhlíku a vodíku oproti benzínu, umožňují jeho dokonalé spalování i při nízkém poměru vzduchu v palivové směsi. Zvýšené emise CO<sub>2</sub> u alkoholových paliv jsou i důvodem obecně vyšší spotřeby paliva [52]. Přibližně 10% zvýšení emisí CO<sub>2</sub> v případě butanolu je potvrzeno i českou studií [48].

Dlouhodobé měření ukázalo, že po 300hodinovém chodu zážehového motoru na automobilový benzín se oproti chodu 5hodinovému nejvíce změnila hodnota emisí NO<sub>x</sub>, a to zvýšením v průměru přibližně o 40 % (při 25% zatížení až o 100 %). Emise CO a HC naopak mírně poklesly, konkrétně o 17, resp. 15 %. Emise CO<sub>2</sub> s poklesem o 4 % zůstaly řádově konstantní. Nicméně rozdíly v hodnotách emisí naměřené po 5 a 300 hodinách provozu na butanol byly markantní. Pokles emisí NO<sub>x</sub> byl podle zatížení v průměru o 75 % nižší, u emisí



CO<sub>2</sub> došlo k poklesu o 25 %. V porovnání s benzinem tedy butanol vykazoval o 70 % nižší hodnoty NO<sub>x</sub> a o 12 % CO<sub>2</sub>. Avšak hodnoty CO a HC zaznamenaly nepřiměřený růst. Emise HC při dlouhodobém chodu byly zvýšeny téměř 3krát, emise CO dokonce 3,6krát. Oproti benzínu byly hodnoty těchto škodlivin o 80, resp. 67 % vyšší. Po 300hodinovém chodu na butanol se také snížil maximální výkon generátoru o více než 11 % [7]. Až 20% obsah butanolu ve směsi s benzinem má pozitivní vliv na snižování emisí [53]. Pexa a kol., 2017 uvádí, že chod zážehového motoru na čistý butanol je prakticky nerealizovatelný především kvůli enormnímu zvýšení emisí CO a HC [7]. Grafy produkce emisí HC a CO v g·h<sup>-1</sup> po 5 a 300hodinovém chodu ukazují, že zatímco produkce těchto škodlivin při spalování benzínu mírně klesá, u butanolu je výsledek opačný a mnohem strmější [Obr.10].



**Obr. 10:** Produkce emisí HC a CO ve výfukových plynech spalovacího motoru při spalování benzínu a butanolu po 5 a 300 provozních hodinách [7].

Budoucnost spalovacích motorů není příznivá. Podle Evropského parlamentu by měla být schválena v následujících měsících emisní norma Euro 7 stanovující limitní hodnoty škodlivin ve výfukových plynech motorových vozidel. V platnost by měla vyjít začátkem roku 2026. Dodržení limitů emisí požadovaných touto normou nebude pravděpodobně splnitelné pro spalovací motory bez elektrické výpomoci. Tato norma nebude však zdaleka posledním zpřísněním požadavků na emise v dopravě. Podle předsedy Výboru pro životní prostředí, veřejné zdraví a bezpečnost potravin Evropského parlamentu Pascala Canfina [54] bude limit emisí CO<sub>2</sub> od roku 2035 tak přísný, že technologie spalovacích motorů nebude schopna tyto limity plnit ani s elektrickou výpomocí. To by znamenalo, že od roku 2035 bude možné prodávat pouze automobily s čistě elektrickými pohony. O finální podobě těchto ekologických norem a opatření zatím Evropský parlament stále jedná [55]. Koncern

Volkswagen, jakožto jeden z největších výrobců automobilů na světě, předpokládá, že do roku 2030 bude v Evropě odbyt plně elektrických vozů až 60 % [56].

Restrikce pro ochranu životního prostředí se netýkají pouze silniční dopravy. Například nákladní lodní doprava, jakožto doprava s největším množstvím vypouštěných škodlivin do ovzduší, by se měla postupně přeorientovat na vodíkový pohon [57]. Evropská unie usiluje díky Zelené dohodě pro Evropu (*European Green Deal*) mimo jiné o redukci emisí na nulu. I díky tomu by Evropa, jakožto první kontinent, měla do roku 2050 dosáhnout klimatické neutrality [58].

## 6. Závěr

Biopaliva představují alternativní zdroj energie, který by měl postupně snižovat závislost průmyslu a dopravy na ropě. Biopaliva 1. generace nedokázala být plnohodnotnou alternativou k fosilním palivům. Evropský parlament roku 2017 přiznal, že právě 1. generace biopaliv nadále nebude zahrnuta do cílů EU v oblasti obnovitelných zdrojů energie. Optimističtější vyhlídky na úspěch mají HVO a alkoholová paliva, která se například rozsáhle využívají ve Švédsku či Brazílii. Upřednostnění alkoholových paliv před fosilními bude možné v případě, že se stanou atraktivnějšími pro řidiče. Alkoholová paliva tedy musí být oproti fosilním palivům levnější, bezproblémově použitelné ve stávajících palivových systémech, nesmí výrazně snižovat výkon motoru a musí vykazovat nízké emise. Spalování benzinové směsi s butanolem vykazuje přijatelnější hodnoty emisí a čistší chod motoru. Nicméně úplná náhrada benzínu butanolem prozatím není reálná z důvodu enormního zvýšení emisních hodnot CO a HC při dlouhodobém chodu motoru.

Budoucnost alkoholových paliv by proto mohla být v příměsích benzínu do 10 obj.% u etanolu, resp. 20 obj.% u butanolu. Hlavním problémem u etanolových paliv je vysoká tendence ke korodování palivových systémů. Nejvyšší korozní rychlost byla naměřena na oceli v palivech E40 a E60. E60 mělo nejvyšší korozivní účinek také při testu mosazi a mědi. Další nevýhodou pro alkoholová paliva je jejich náročný proces výroby. Nedostatek biomasy pro výrobu takového množství alkoholových paliv, které by nahradilo benzin, je znatelný. V neposlední řadě až o 40 % vyšší spotřeba při užívání alternativních paliv a kratší intervaly výměn motorových olejů opět zvýhodňují paliva fosilní. Naopak ve prospěch alkoholových paliv hovoří jejich vysoké oktanové číslo, které zajišťuje plynulý chod motoru bez klepání způsobeného detonačním hořením. Ve vznětových motorech se jako velice perspektivní biopalivo jeví hydrogenované rostlinné oleje (HVO), jež v mnoha vlastnostech překonávají metylestery mastných kyselin. Uhlovodíkový charakter HVO lze přirovnat k motorové naftě s extrémně vysokým cetanovým číslem, a i proto je lze přidávat do motorové nafty v téměř libovolném množství. Příměsi HVO snižují hodnoty emisí při spalování a zlepšují užité vlastnosti motorové nafty.

Otázkou je, jak budou biopaliva využívána v budoucnu. Začíná se ukazovat, že ani s biopalivy není možné dosahovat téměř nulových emisí škodlivých látek. Evropská unie v příštích několika letech pomocí nových přísných emisních norem plánuje znemožnit prodej

automobilů poháněných spalovacím motorem bez elektrické výpomoci. V případě přechodu k automobilům s elektrickým pohonem by však musela být infrastruktura stanic pro nabíjení vozidel výrazně posílena. Podle předsedkyně německé VDA (Asociace automobilového průmyslu) Hildegardy Müllerové není záměrem EU eliminovat spalovací motory, protože problémem pro klima nejsou motory, ale paliva. Priorita by tedy měla být v podpoře syntetických paliv z obnovitelných zdrojů energie. Například koncern Porsche pracuje na výzkumu paliva vyráběného ze vzdušného CO<sub>2</sub>. Pokud EU bude nadále chtít jít cestou podpory alternativních paliv pro spalovací motory, lze nejspíše očekávat například daňové zvýhodnění pro obchod s biopalivy a zároveň znevýhodnění paliv fosilních. Paliva z obnovitelných zdrojů energie mohou v budoucnu rozhodnout o tom, zda spalovací motory budou nadále součástí nových vozidel či jsou jejich dny sečteny.

## 7. Seznam použitých zkratek

BA 95	bezolovnatý automobilový benzín s oktanovým číslem 95
CČ	cetanové číslo
CNG	stlačený zemní plyn ( <i>Compressed Natural Gas</i> )
CO	oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
E85	palivo tvořené z 85 % etanolem
E95	palivo tvořené z 95 % etanolem
FAME	metylestery mastných kyselin ( <i>Fatty Acid Methyl Esters</i> )
HC	nespálené uhlovodíky ( <i>Hydrocarbons</i> )
HVO	hydrogenované rostlinné oleje ( <i>Hydrotreated Vegetable Oils</i> )
LNG	zkapalněný zemní plyn ( <i>Liquified Natural Gas</i> )
LPG	zkapalněný ropný plyn ( <i>Liquified Petroleum Gas</i> )
M85	palivo tvořené z 85 % metanolem
MEŘO	metylester řepkového oleje
NO <sub>x</sub>	oxidy dusíku
OČ	oktanové číslo

## 8. Citovaná literatura

- [1] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [2] HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Petr MILER, Vladimír HÖNIG a Martin CINDR. Technologie výroby biopaliv druhé generace. *Chemické Listy* [online]. 2010, 784-790 [cit. 2020-10-15]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010\\_08\\_784-790.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_08_784-790.pdf)
- [3] ŠIMÁČEK, Pavel, Dan VRTIŠKA, Zlata MUŽÍKOVÁ a Milan POSPÍŠIL. Motorová paliva vyráběná hydrogenací rostlinných olejů a živočišných tuků. *Chemické Listy* [online]. 2017, , 206-212 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2017\\_03\\_206-212.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2017_03_206-212.pdf)
- [4] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005. ISBN 8024703505.
- [5] PEREIRA, Flávio M., José A. VELÁSQUEZ, Jorge L. RIECHI et al. Impact of pure biodiesel fuel on the service life of engine-lubricant: A case study. *Fuel* [online]. 2020, 261 [cit. 2021-04-24]. ISSN 00162361. Dostupné z: doi:10.1016/j.fuel.2019.116418
- [6] HÖNIG, Vladimír. *Paliva a maziva* [online]. [cit. 2020-10-14]. Dostupné z: <https://oppsmad.tf.czu.cz/?q=pm>
- [7] PEXA, M., J. ČEDÍK, B. PETERKA a M. HOLŮBEK. The operational parameters of portable generator after long-term operation on biobutanol. *Agronomy Research* [online]. 2018, 16, 1190-1199 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: doi:doi.org/10.15159/AR.18.120
- [8] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES* [online]. [cit. 2020-10-14]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:cs:PDF>
- [9] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva* [online]. [cit. 2020-10-14]. Dostupné z: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d414289b-5e6b-11e4-9cbe->

- [10] GROOM, MARTHA J., ELIZABETH M. GRAY a PATRICIA A. TOWNSEND. Biofuels and Biodiversity: Principles for Creating Better Policies for Biofuel Production. *Conservation Biology* [online]. 2008, **22**(3), 602-609 [cit. 2021-03-23]. ISSN 0888-8892. Dostupné z: doi:10.1111/j.1523-1739.2007.00879.x
- [11] AWAD, Omar I., R. MAMAT, Obed M. ALI, N.A.C. SIDIK, T. YUSAF, K. KADIRGAMA a Maurice KETTNER. Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2018, 82, 2586-2605 [cit. 2021-03-24]. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2017.09.074
- [12] ŠMERDA, Tomáš, Jiří ČUPERA a Martin FAJMAN. *Vznětové motory vozidel: biopaliva, emise, traktory*. 1. vyd. Brno: CPress, 2013. Auto-moto-profi (CPress). ISBN isbn978-80-264-0160-5.
- [13] RAUSCHER, J. *Spalovací motory, Studijní opory, VUT FSI Brno*. 2004.
- [14] *Dvoutaktní nebo čtyřtaktní motor? Jaký je jejich rozdíl? Jaké mají výhody? Zobrazit magazín »* [online]. [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: [https://www.sekacky-pily.cz/UserFiles/Image/clanky/ctyrtaktni\\_motor.jpg](https://www.sekacky-pily.cz/UserFiles/Image/clanky/ctyrtaktni_motor.jpg)
- [15] PECHOUT, Martin. *Spalovací motory: Skripta*.
- [16] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [17] DOLAN, Antonín. *Traktory a doprava I: Interní učební text*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- [18] LÉBL, Jan. *Pohonné hmoty v 21. století*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
- [19] LEE, Roland a Jean-Michel LAVOIE. From first- to third-generation biofuels: Challenges of producing a commodity from a biomass of increasing complexity. *Animal Frontiers* [online]. 2013, 3(2), 6-11 [cit. 2020-10-16]. ISSN 2160-6056. Dostupné z: doi:10.2527/af.2013-0010

- [20] STUPAVSKÝ, Vladimír. Kapalná biopaliva – cíle a perspektivy. *Biom.cz* [online]. [cit. 2020-12-05]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kapalna-biopaliva-cile-a-perspektivy>
- [21] POKORNÝ, Zdeněk. *Bionafta - ekologické alternativní palivo do vznětových motorů*. Vyd. 1. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1998. Ekonomika (žlutá ř.). ISBN isbn80-7105-173-x.
- [22] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. *Základy zpracování a využití ropy*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-619-2.
- [23] Dřevní štěpka místo nafty?. In: *Www.unipetrol.cz* [online]. Praha, 2019 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: [https://www.unipetrol.cz/cs/Media/TiskoveZpravy/Stranky/20190523\\_TZ\\_UniCRE\\_Comsyn.aspx](https://www.unipetrol.cz/cs/Media/TiskoveZpravy/Stranky/20190523_TZ_UniCRE_Comsyn.aspx)
- [24] DEMIRBAS, Ayhan. Use of algae as biofuel sources. *Energy Conversion and Management* [online]. 2010, 51(12), 2738-2749 [cit. 2021-02-20]. ISSN 01968904. Dostupné z: doi:10.1016/j.enconman.2010.06.010
- [25] CHOWDHURY, Harun a Bavin LOGANATHAN. Third-generation biofuels from microalgae: a review. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* [online]. 2019, 20, 39-44 [cit. 2021-02-20]. ISSN 24522236. Dostupné z: doi:10.1016/j.cogsc.2019.09.003
- [26] AATOLA, Hannu, Martti LARMI, Teemu SARJOVAARA a Seppo MIKKONEN. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. *SAE International Journal of Engines* [online]. 2009, 1(1), 1251-1262 [cit. 2021-03-06]. ISSN 1946-3944. Dostupné z: doi:10.4271/2008-01-2500
- [27] CZ BIOM. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. Vyd. 3. 2010. ISBN 978-80-903777-5-2.
- [28] SUN, Harold, Wesley WANG a Kim-Pui KOO. The practical implementation of methanol as a clean and efficient alternative fuel for automotive vehicles. *International Journal of Engine Research* [online]. 2019, 20(3), 350-358 [cit. 2021-03-13]. ISSN 1468-0874. Dostupné z: doi:10.1177/1468087417752951



- [29] ZHANG, Zhi Ying a Hui Ming LI. Impacts of Methanol Blending Gasoline on Vehicle as Transportation Fuel. *Advanced Materials Research* [online]. 2012, 512-515, 2638-2642 [cit. 2021-03-13]. ISSN 1662-8985. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.512-515.2638
- [30] ELFASAKHANY, Ashraf. Investigations on the effects of ethanol–methanol–gasoline blends in a spark-ignition engine: Performance and emissions analysis. *Engineering Science and Technology, an International Journal* [online]. 2015, 18(4), 713-719 [cit. 2021-03-13]. ISSN 22150986. Dostupné z: doi:10.1016/j.jestch.2015.05.003
- [31] ABO, Bodjui Olivier, Ming GAO, Yonglin WANG, Chuanfu WU, Qunhui WANG a Hongzhi MA. Production of butanol from biomass: recent advances and future prospects. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2019, 26(20), 20164-20182 [cit. 2021-03-14]. ISSN 0944-1344. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-019-05437-y
- [32] *Journal of Environmental Protection and Ecology: ECOLOGIC AUTOMOTIVE DIESEL ENGINE ACHIEVED BY LPG FUELLING*. Pana, C; Negurescu, N; Popa, MG; Cernat, A, . ISSN 1311-5065.
- [33] XUE, Jinlin, Tony E. GRIFT a Alan C. HANSEN. Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2011, 15(2), 1098-1116 [cit. 2021-04-24]. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2010.11.016
- [34] KIZLINK, Juraj. Vliv biopaliv na motory. *Biom.cz* [online]. 2010 [cit. 2021-04-24]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vliv-biopaliv-na-motory>
- [35] ČSN EN ISO 8044. *Koroze kovů a slitin - Základní termíny a definice*. 2016.
- [36] HASEEB, A.S.M.A., M.A. FAZAL, M.I. JAHIRUL a H.H. MASJUKI. Compatibility of automotive materials in biodiesel: A review. *Fuel* [online]. 2011, 90(3), 922-931 [cit. 2021-04-24]. ISSN 00162361. Dostupné z: doi:10.1016/j.fuel.2010.10.042
- [37] MATĚJOVSKÝ, Lukáš. Testování korozivních vlastností lihobenzínových směsí na oceli, hliníku, mědi a mosazi. *Paliva* [online]. [cit. 2021-04-24]. ISSN 1804-2058. Dostupné z: doi:10.35933/paliva.2013.02.04
- [38] ELLAPPAN, R., S. ARUMUGAM a V. SANTHANAM. Electro-chemical corrosion Behavior of

Vegetable oil-Based Engine oil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2020, 954 [cit. 2021-04-24]. ISSN 1757-899X. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/954/1/012040

- [39] ZAGIDULLIN, R. N., V. A. IDRISOVA, T. G. DMITRIEVA a A. T. GIL'MUTDINOV. Additive package for alternative automotive fuels. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils* [online]. 2011, 47(3), 183-187 [cit. 2021-04-24]. ISSN 0009-3092. Dostupné z: doi:10.1007/s10553-011-0279-y
- [40] LIAQUAT, A.M., H.H. MASJUKI, M.A. KALAM a I.M. RIZWANUL FATTAH. Impact of biodiesel blend on injector deposit formation. *Energy* [online]. 2014, 72, 813-823 [cit. 2021-04-24]. ISSN 03605442. Dostupné z: doi:10.1016/j.energy.2014.06.006
- [41] KENNEDY, James. Best fuel injector cleaner. *Shedheads* [online]. 2016 [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: <https://shedheads.net/best-fuel-injector-cleaner/clogged>
- [42] HARVEY, Benjamin G. a Heather A. MEYLEMANS. The role of butanol in the development of sustainable fuel technologies. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* [online]. 2011, 86(1), 2-9 [cit. 2021-04-07]. ISSN 02682575. Dostupné z: doi:10.1002/jctb.2540
- [43] SHAPOVALOV, O. I. a L. A. ASHKINAZI. Biobutanol: Biofuel of second generation. *Russian Journal of Applied Chemistry* [online]. 2008, 81(12), 2232-2236 [cit. 2021-04-07]. ISSN 1070-4272. Dostupné z: doi:10.1134/S1070427208120379
- [44] ELFASAKHANY, Ashraf. Experimental study on emissions and performance of an internal combustion engine fueled with gasoline and gasoline/n-butanol blends. *Energy Conversion and Management* [online]. 2014, 88, 277-283 [cit. 2021-04-07]. ISSN 01968904. Dostupné z: doi:10.1016/j.enconman.2014.08.031
- [45] YANG, Jing, Xiaolong YANG, Jingping LIU, Zhiyu HAN a Zhihua ZHONG. *Dyno Test Investigations of Gasoline Engine Fueled with Butanol-Gasoline Blends* [online]. In: . s. - [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: doi:10.4271/2009-01-1891
- [46] POLCAR, Adam, Marek ŽÁK, Jiří ČUPERA a Pavel SEDLÁK. Effect of biofuel E85 combustion on fuel consumption in spark-ignition engines. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* [online]. 2013, 60(5), 173-180 [cit. 2021-04-11]. ISSN 12118516.

Dostupné z: doi:10.11118/actaun201260050173

- [47] ČEDÍK, J., M. PEXA, M. KOTEK a J. HROMÁDKO. Effect of E85 fuel on performance parameters, fuel consumption and engine efficiency – Škoda Fabia 1.2 HTP. *Agronomy Research* [online]. 12, 307-314 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: [https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2014/05/2014\\_2\\_1\\_b5.pdf](https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2014/05/2014_2_1_b5.pdf)
- [48] PETERKA, B., M. PEXA, J. ČEDÍK, D. MADER a M. KOTEK. Comparison of exhaust emissions and fuel consumption of small combustion engine of portable generator operated on petrol and biobutanol. *Agronomy Research* [online]. , 1162–1169 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2017/015.pdf>
- [49] YU, Xiumin, Zezhou GUO, Ling HE, Wei DONG, Ping SUN, Weibo SHI, Yaodong DU a Fengshuo HE. Effect of gasoline/n-butanol blends on gaseous and particle emissions from an SI direct injection engine. *Fuel* [online]. 2018, 229, 1-10 [cit. 2021-04-11]. ISSN 00162361. Dostupné z: doi:10.1016/j.fuel.2018.05.003
- [50] HUYNH, Tan Tien, Minh Duc LE a Dinh Nghia DUONG. Effects of butanol–gasoline blends on SI engine performance, fuel consumption, and emission characteristics at partial engine speeds. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* [online]. 2019, 10(4), 483-492 [cit. 2021-04-11]. ISSN 2008-9163. Dostupné z: doi:10.1007/s40095-019-0309-9
- [51] Evropský parlament: Snižovat emise CO<sub>2</sub>: Cíle a opatření EU. *Europarl.europa.eu* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/priorities/zmeny-klimatu/20180305STO99003/snizovat-emise-co2-cile-a-opatreni-eu>
- [52] GÖKTAŞ, Meltem, Mustafa KEMAL BALKI, Cenk SAYIN a Mustafa CANAKCI. An evaluation of the use of alcohol fuels in SI engines in terms of performance, emission and combustion characteristics: A review. *Fuel* [online]. 2021, 286 [cit. 2021-04-12]. ISSN 00162361. Dostupné z: doi:10.1016/j.fuel.2020.119425
- [53] LIU, Haifeng, Xichang WANG, Diping ZHANG et al. Investigation on Blending Effects of Gasoline Fuel with N-Butanol, DMF, and Ethanol on the Fuel Consumption and Harmful Emissions in a GDI Vehicle. *Energies* [online]. 2019, 12(10) [cit. 2021-04-12]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en12101845

- [54] *Evropský parlament: Výbor pro životní prostředí, veřejné zdraví a bezpečnost potravin* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z:  
<https://www.europarl.europa.eu/committees/cs/envi/home/highlights>
- [55] RYBECKÝ, Vladimír. EU směřuje k zákazu spalovacích motorů od roku 2025. *Autoweek.cz* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: [https://www.autoweek.cz/cs-aktuality-toyota\\_ucinila\\_krok\\_k\\_autonomnimu\\_rizeni-9907](https://www.autoweek.cz/cs-aktuality-toyota_ucinila_krok_k_autonomnimu_rizeni-9907)
- [56] Power Day: Volkswagen presents technology roadmap for batteries and charging up to 2030. *Volkswagen.com* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z:  
<https://www.volkswagen.com/en/news/2021/03/power-day--volkswagen-presents-technology-roadmap-for-batteries-.html>
- [57] World's first hydrogen cargo vessel set for Paris debut. *Flagships.eu* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://flagships.eu/2021/04/07/worlds-first-hydrogen-cargo-vessel-set-for-paris-debut/>
- [58] Zelená dohoda pro Evropu. *Ec.europa.eu* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z:  
[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_cs](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_cs)