

Česká zemědělská univerzita v Praze  
Technická fakulta

**Alternativní paliva pro spalovací motory**  
Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Martin Kotek, Ph.D.  
Autor práce: Jana Stočesová

Praha 2017

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jana Stočesová

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Alternativní paliva pro spalovací motory

Název anglicky

Alternative fuels for internal combustion engines

---

Cíle práce

Cílem práce bude literární rešerše v oblasti alternativních paliv pro spalovací motory.

Metodika

- prostudovat základní literaturu, normy, internetové odkazy a další dostupné prameny z celého světa a provést literární rešerši v oblasti paliv pro spalovací motory
- rešerši zaměřit na biopaliva, jejich historický vývoj, způsoby výroby a budoucí vývoj
- vytvořit přehled používaných alternativních paliv v celosvětovém měřítku

**Doporučený rozsah práce**

30-40 stran textu včetně tabulek a obrázků

**Klíčová slova**

alternativní paliva, biopaliva, spalovací motory

---

**Doporučené zdroje informací**

- C. Park et al., 2010, Performance and exhaust emission characteristics of a spark ignition engine using ethanol and ethanol-reformed gas, Fuel 89, 2118-2125
- Matějovský, V., Automobilová paliva, Grada Publishing, Praha 2005, ISBN 80-247-0350-5
- M. C. Roberts, 2008, E85 and fuel efficiency: An empirical analysis of 2007 EPA test data, Energy Policy 36, 1233-1235
- Mužiková, Z., et al., Fyzikálně-chemické vlastnosti butanol-benzinových směsí [online], [2013-10-23], dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012\\_11\\_1049-1053.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012_11_1049-1053.pdf)
- TAKÁTS, M., Měření emisí spalovacích motorů, Praha, vydavatelství ČVUT, 1997, 111 s, ISBN 80-01-01632-3
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – TF

**Vedoucí práce**

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 11. 1. 2016

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 02. 2017

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Alternativní paliva pro spalovací motory“ vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

Jsem si vědoma 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: \_\_\_\_\_

Podpis: \_\_\_\_\_

**Poděkování:**

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu práce Ing. Martinu Kotkovi Ph.D. za vedení této práce, laskavou pomoc a věcné rady, které mi během psaní poskytl.

**Abstrakt:** Tato práce je zaměřena na alternativní paliva, jejichž využití vyžaduje minimální úpravy současných spalovacích motorů. Cílem práce bylo provést literární rešerši v oblasti alternativních paliv a komplexně popsat jejich vlastnosti i současný stav z hlediska užívání, technologií a zdrojů jejich výroby.

Práce je rozdělena na dvě hlavní části – alternativní paliva fosilního původu a biopaliva. První část se věnuje palivům, jejichž zdroje jsou obvykle ropného původu. Jsou zde uvedeny fyzikální a chemické vlastnosti paliv, výhody a nevýhody, a normy, které musí tato paliva splňovat.

Druhá a rozsáhlejší část je zaměřena na biopaliva. Mimo chemických a fyzikálních vlastností, výhod a nevýhod, jsou popsány i způsoby výroby biopaliv a jejich vývoj v kontextu historických událostí. Konec této části je věnován budoucímu vývoji biopaliv nejen z krátkodobého ale i z dlouhodobého pohledu.

V závěru práce je kapitola věnovaná alternativním palivům z hlediska jejich celosvětového užívání, množství produkce a lokací, kde jsou biopaliva nejvíce vyráběna.

**Klíčová slova:** Alternativní paliva, biopaliva, bioetanol, bionafta, spalovací motor

### **Alternative fuels for internal combustion engines**

**Summary:** This thesis is focused on alternative fuels, which use requires minimal modification of conventional combustion engines. The purpose of this work was to do a literature search of alternative fuels and comprehensively describe their properties and current status in the terms of use, technologies and resources for their production.

The thesis is divided into two main parts – alternative fossil fuels and biofuels. The first part is dedicated to the fuels, which resources are usually derived from crude oil. There are stated their physical and chemical properties, advantages and disadvantages, and standards, which the fuels have to meet.

The second and more extensive part is focused on biofuels. Besides the chemical and physical properties, advantages and disadvantages, this part also gives an account of the methods of production, and the progress of biofuels in the context of historical events. The end of this part is devoted to the future development of biofuels not only in short term but also in long term perspective.

In conclusion there is a chapter dedicated to alternative fuels regarding their global use, amount of production and locations, where biofuels are mostly produced.

**Key words:** Alternative fuels, biofuels, bioethanol, biodiesel, internal combustion engine

## Obsah:

1 Úvod .....	1
2 Cíl a metodika práce .....	2
2.1 Cíl práce .....	2
2.2 Metodika práce .....	2
3 Neobnovitelná alternativní paliva.....	2
3.1 LPG.....	3
3.1.1 Chemické a fyzikální vlastnosti .....	3
3.1.2 Výroba.....	4
3.1.3 Přeprava, skladování .....	4
3.1.5 Požadavky palivové soustavy a motoru .....	5
3.2 Zemní plyn.....	5
3.2.1 Chemické a fyzikální vlastnosti .....	6
3.2.2 Výroba.....	6
3.2.3 Přeprava a skladování.....	6
3.2.5 Požadavky palivové soustavy a motoru .....	7
3.3 Vodík .....	8
3.3.1 Chemické a fyzikální vlastnosti .....	9
3.3.2 Výroba.....	9
3.3.3 Přeprava a skladování.....	10
3.3.5 Požadavky palivové soustavy a motoru .....	11
4 Biopaliva.....	13
4.1 Historický vývoj .....	14
4.1.1 Ropné krize .....	14
4.1.2 Vývoj americké a evropské legislativy .....	16
4.1.3 Biopaliva pro spalovací motory v průběhu historie .....	18
4.2 Legislativa v ČR .....	20
4.3 Přehled biopaliv .....	21
4.3.1 Bioetanol .....	21
4.3.2 Bionafta .....	23
4.3.3 Biometanol .....	25
4.3.4 Biobutanol .....	25
4.3.5 Bioplyn.....	26
4.3.5.1 Dřevoplyn .....	27
4.3.6 Étery .....	28

4.3.6.1 DME .....	28
4.3.6.2 DEE .....	29
4.3.6.3 ETBE a MTBE .....	29
4.4 Výroba biopaliv .....	29
4.4.1 Fermentace .....	29
4.4.2 Transesterifikace triglyceridů.....	30
4.4.3 Fischer-Tropschova syntéza .....	32
4.5 Budoucí vývoj.....	33
4.5.1 Krátkodobý vývoj.....	34
4.5.2 Dlouhodobý vývoj.....	35
5 Alternativní paliva v globálním měřítku .....	37
6 Závěr.....	39
Seznam použitých zdrojů.....	41
Seznam obrázků.....	45
Seznam tabulek.....	45
Seznam grafů .....	45



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BTL	Biomass to Liquids („Biomasa na kapalinu“ – označení syntézních biopaliv)
CNG	Compressed Natural Gas (Stlačený zemní plyn)
ČR	Česká Republika
DME	Dimethylether (Dimetyléter)
EIA	Energy Information Administration (organizace U.S.)
ETBE	Ethyl tert-butyl ether (Etyl terc-butyl éter)
FAME	Fatty acid methylester (Metylester mastných kyselin)
F-T	Fischer-Tropsch
GHC	Greenhouse gas (Skleníkový plyn)
GTL	Gas to Liquids („Plyn na kapalinu“ – označení syntézních paliv)
LNG	Liquefied Natural Gas (Zkapalněný zemní plyn)
LPG	Liquified Petroleum Gas (Zkapalněný ropný plyn)
MEŘO	Metylester řepkového oleje
MTBE	Methyl tert-butyl ether (Metyl terc-butyl éter)
NG	Natural Gas (Zemní plyn)
NREL	National Renewable Energy Laboratory (Národní laboratoř obnovitelné energie)
OČMM	Oktanové číslo motorovou metodou
OČVM	Oktanové číslo výzkumnou metodou
SMN	Směsná motorová nafta
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Rámcová úmluva Spojených národů o klimatických změnách)
USA	United States of America (Spojené státy americké)

# 1 ÚVOD

Silniční a nákladní automobilová doprava hraje pro lidstvo zhruba od první čtvrtiny 20. století poměrně významnou roli. Možnost přemísťování osob a nákladů nabyla díky spalovacím motorům nové dimenze.

Hlavními palivy pro spalovací motory už od počátku byly nafta a benzín, získávané z ropy. V průběhu 20. století však začalo vyvstávat hned několik problémů; ropa je neobnovitelný zdroj a jako taková bude časem vyčerpána. V poslední čtvrtině 20. let se začal řešit i dopad na životní prostředí; počet dopravních prostředků skokově narůstal a to zejména ve vyspělých zemích. Díky chemickému složení ropných produktů pohánějících jak silniční, tak lodní a leteckou dopravu, se spalováním paliva uvolňuje řada škodlivých látek; především oxidy uhlíku a dusíku, oxid siřičitý a nespálené uhlovodíky. Souhrn těchto látek vypouštěných do ovzduší byl označen jako emise. Emisní plyny podporují vznik skleníkového efektu - tedy jev globálního oteplování; část z nich působí nepříznivě na organismus. V současné době jsou emise ve vyspělých zemích regulovány legislativou, nicméně ve většině rozvojových zemí emise legislativa nezaručuje. Navíc v zemích jako Čína a Indie, roste populace exponenciálně, stejně jako potřeby a požadavky místních obyvatel dopravovat osoby i náklad.

V neposlední řadě je odběr ropy, respektive ropných produktů ekonomicko-politickým problémem. Hlavní ložiska ropy se totiž nacházejí na blízkém východě, tedy v oblasti, kde probíhá řada válečných a politických konfliktů. Tyto konflikty a politické situace v daných zemích pak markantně ovlivňují ceny ropy. V současné době si navíc řada států blízkého východu uvědomuje význam monopolu ropy a reguluje tak její těžbu i ceny dle vlastních potřeb. Všechny tyto aspekty proto podnítily potřebu dalších řešení; respektive alternativních paliv a pohonů.

Dle IEO2016 (International Energy Outlook 2016), dokumentu vydaném organizací Energy Information Administration (EIA), má od roku 2012 do roku 2040 stoupnout světová spotřeba energie o 48 %, přičemž fosilní paliva budou tvořit  $\frac{3}{4}$  produkce energie[4]. V roce 2012 byla celková spotřeba energie z 81 % závislá právě na fosilních palivech a 36 % celkové spotřeby tvořila právě ropa [5]. Z celkového množství ropy pak bylo 93 % spotřebováno právě v dopravním odvětví. Zároveň spotřeba energie v dopravě v tomto období tvořila téměř 28 % celkové spotřeby energie [5].

Všechny výše uvedené aspekty vysvětlují potřebu alternativních paliv potažmo pohonů.

Primárními problémy vedoucími k zavedení alternativních paliv tedy jsou:

- Omezené ropné zásoby
- Ekonomicko – politická situace
- Ochrana životního prostředí

Z těchto problémů tedy vycházejí i požadavky na alternativní paliva a sice:

- Obnovitelnost zdrojů
- Minimální náklady a dostupnost
- Minimální emise

Následující práce je tedy zaměřena na popis jednotlivých alternativních paliv a jejich vyhodnocení dle požadovaných kritérií. Alternativní paliva spadají jak pod skupinu fosilních, tak pod skupinu obnovitelných paliv. Větší pozornost v práci bude věnována právě druhé ze skupin, respektive skupině nazývané biopaliva.

## 2 CÍL A METODIKA PRÁCE

### 2.1 Cíl práce

Cílem této práce je provést literární rešerši v oblasti alternativních paliv pro spalovací motory, vytvořit jejich přehled, porovnat jednotlivá paliva mezi sebou, vysvětlit způsob získání, případně výroby paliv, vysvětlit jejich chemické složení. Speciální pozornost pak bude věnována biopalivům, jejich vývoji v průběhu času včetně historického kontextu, způsobu a zdrojům výroby, a výhledu do budoucna. Závěr práce bude věnován zhodnocení z hlediska využití a výroby alternativních paliv v celosvětovém měřítku.

### 2.2 Metodika práce

Podstatou této práce bude nastudovat dostupné literární tištěné, elektronické a internetové zdroje. Na základě nastudovaných informací bude téma analyzováno a bude vytvořen souhrn nejdůležitějších informací, které charakterizují téma alternativních paliv a pomáhají čtenáři se lépe v této problematice zorientovat.

## 3 NEOBNOVITELNÁ ALTERNATIVNÍ PALIVA

Neobnovitelná alternativní paliva jsou paliva fosilního původu. Lze je získat přímo z ropy, nebo jejich doprovodných plynů.

Tato skupina zahrnuje paliva LPG a CNG, která jsou v současné době poměrně rozšířená. Mají hned několik výhod. Jednak méně znečišťují ovzduší; díky své jednodušší chemické struktuře v porovnání s klasickými palivy, tedy naftou a benzínem [2]. Pak je to cenový rozdíl; tento typ paliv je levnější než klasická paliva.

Naopak stále přetrvávající nevýhodou je neobnovitelnost těchto paliv a jejich konečné množství; palčivý problém fosilních paliv, kterého se chce lidstvo přechodem na alternativní paliva zbavit.

## 3.1 LPG

LPG, tedy *Liquefied Petroleum Gas* je kapalná směs propanu ( $C_3H_8$ ) a butanu ( $C_4H_{10}$ ). Jedná se o vedlejší produkty, získané dalším zpracováním ropy v ropných rafineriích.

Technické požadavky na palivo LPG blíže specifikuje norma ČSN EN 589+A1.

### 3.1.1 Chemické a fyzikální vlastnosti

LPG je bezbarvá, těkává kapalina bez zápachu a s nízkou viskozitou – zhruba  $0,002 \text{ Ns/m}^2$  (voda má  $0,01 \text{ Ns/m}^2$ ) [1].

Konkrétní chemické složení se liší v závislosti na místě těžby ropy/zemního plynu (nejsou svým chemickým složením všude stejné) a poměru propanu-butanu v dané směsi. Většina zemí má standardizovaný vlastní poměr. V tabulce 1 je uvedeno složení paliva LPG ve vybraných zemích.

Tabulka 1: Procentuální složení LPG v jednotlivých zemích [1], [2]

<b>Stát</b>	<b>Propan</b>	<b>Butan</b>
Francie	35	65
Španělsko	30	70
Itálie	25	75
Belgie	50	50
Spojené království	100	0
Německo	90	10
Švédsko	95	5
Dánsko	50	50
Austrálie	70	30

Vlastnosti LPG jsou tedy přímo závislé na vlastnostech propanu a butanu; různé poměry složek ve směsi v různých zemích mají své odůvodnění. Obě látky mají bod varu pod bodem mrazu; pro propan je to  $-42,1^\circ\text{C}$ , pro butan  $-0,5^\circ\text{C}$  [3]. V severněji uložených zemích je tedy podíl propanu vyšší, díky jeho schopnosti vypařit se při velmi nízkých teplotách – čehož je třeba ve spalovací komoře dosáhnout; tento fakt vyplývá i z Tabulky 1.

Díky nízkému bodu varu je při jiných než arktických teplotách LPG v plynném stavu. V praxi je však zvýšením tlaku LPG zkapalňováno a poté skladováno v tlakových nádobách.

Poměr propanu a butanu ve směsi se mimo jiné může lišit i během zimního a letního období pro jednotlivé země.

V ČR je během letních měsíců distribuována směs propan - butanu v poměru 40:60. Během zimních měsíců bývá tento poměr opačný právě proto, aby nedocházelo ke kondenzaci paliva [8].

Kromě hlavních složek propanu a butanu však může LPG obsahovat nežádoucí příměsi především v podobě sirných sloučenin jako jsou thioly a sulfan ( $\text{H}_2\text{S}$ ), dalších nasycených i nenasycených uhlovodíků ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , atd.), dusík a jeho sloučeniny ( $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ). Nežádoucí dusíkaté a sirné sloučeniny snižují výhřevnost paliva a přítomnost síry má korozivní účinek na kovové součásti palivového ústrojí a přírodní pryž. Gumové části jsou proto vyráběny ze syntetických polymerů [1], [2].

### 3.1.2 Výroba

Směs LPG je získávána ze dvou zdrojů; z ropy, nebo zemního plynu, který ropu doprovází. Oba zdroje jsou, jak už bylo řečeno, fosilního původu. Vznikly z odumřelých organismů z prvotních geologických ér procesy diagenese a katagenese; tedy chemickými reakcemi bez přítomnosti vzduchu, za vysokého tlaku a teploty.

LPG získané z ropy tvoří méně než polovinu celkového množství LPG. Oba plyny (propan a butan) jsou oddělovány od těžších ropných sloučenin v ropných rafineriích při procesech katalytického krakování a hydrokrakování. Podstatou se jedná o štěpné procesy za přítomnosti katalyzátorů. Katalytické krakování probíhá při teplotách kolem  $500 - 550\text{ }^\circ\text{C}$  a tlaku kolem  $0,3\text{ MPa}$ . Katalytické hydrokrakování probíhá při nižších teplotách, kolem  $400 - 450\text{ }^\circ\text{C}$ , ale při vysokém tlaku v rozmezí  $5 - 20\text{ MPa}$ , za přítomnosti velkého množství vodíku. Proces katalytického hydrokrakování umožňuje získat větší množství požadovaných štěpných produktů a minimalizuje tvorbu nežádoucího koksu [6].

Směs plynů jednodušších uhlovodíků (do  $\text{C}_6$ ) je pak dále oddělována na jednotlivé složky. Ty pak případně mohou být dále děleny na izomery. Pro výrobu LPG jsou však důležité složky propanu a butanu, které tvoří zhruba  $2-3\%$  z hmotnosti ropy, přičemž  $2/3$  z tohoto množství obvykle tvoří butan [7].

Primárním zdrojem propanu a butanu je zemní plyn. Ten je po vytěžení zbaven vody, sirných sloučenin a oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Dále je oddělen kondenzát uhlovodíků vyšších než metan; zbytek zemního plynu obsahujícího zhruba  $90\%$  metanu je už minimálně upravován a posílán k cílovým spotřebitelům **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Uhlovodíkový kondenzát je poté rozdělen na jednotlivé frakce.

Konkrétní procesy jsou závislé na vybavení a požadavcích rafinerie a složení zemního plynu.

### 3.1.3 Přeprava, skladování

Skladování a přeprava LPG skýtá jisté nebezpečí; v případě porušení tlakové nádoby se uniklý LPG začne velmi rychle odpařovat. Odebrané skupenské teplo potřebné k přeměně z kapalného na plynný stav způsobí prudké ochlazení okolí. Při styku člověka s unikajícím LPG palivem je proto nebezpečí vzniku omrzlin; únik ve větším množství může způsobit i smrt.

Hustota plynného propanu a butanu za dané teploty bývá až  $2x$  větší, než hustota vzduchu; směs LPG se drží u země. Zároveň jsou oba plyny toxické a extrémně hořlavé. Díky těmto

vlastnostem je zakázán vjezd do podzemních garáží vozidlům s pohonem na LPG; v případě porušení tlakové nádrže může dojít k úniku plynu a následným újmám na zdraví, v přítomnosti zápalných zařízení i k výbuchu.

Z bezpečnostních důvodů je proto LPG odorizován – při úniku tak snadněji dojde k detekci a mohou být provedena opatření předcházející uvedeným nebezpečným situacím [1], [2].

### **3.1.5 Požadavky palivové soustavy a motoru**

Díky své podstatě má LPG vysoké oktanové číslo, což je výhodou při využití LPG v zážehových spalovacích motorech.

Při přestavbě vozidel se zážehovým motorem je původní palivová soustava zachována a k ní je přidána palivová soustava na pohon LPG. Palivová soustava pro benzín nadále zůstává v činnosti; benzínové palivo je využíváno minimálně při startu motoru [3].

Nádrž (Obrázek 1) je vyráběna z oceli a umístěna v zadní části vozu, v prostoru pro rezervní kolo v případě toroidních nádrží (nedochází k redukci zavazadlového prostoru), nebo ve speciálním rámu připevněném ke karoserii v případě válcových nádrží. Toroidní nádrže jsou obvykle daleko více omezeny prostorem a proto objemově menší – do 60 litrů. Válcové nádrže dosahují větších objemů – do 200 litrů [9].

Z nádrže se palivo dostává dál do systému díky vysokému tlaku v nádrži; jen výjimečně se užívá čerpadla. Celá palivová soustava je pak provedena obdobně jako u klasického zážehového motoru na benzínové palivo.

*Obrázek 1: Válcová (vlevo) a toroidní (vpravo) nádrž [9]*



LPG může být využito i ve vznětových motorech; do válců je pak kromě LPG vstřikováno i malé množství nafty, která iniciuje vznícení paliva.

Vozidla na LPG mají na jednu nádrž srovnatelné dojezdové vzdálenosti s vozidly na naftu/benzín [3].

## **3.2 Zemní plyn**

Zemní plyn, označovaný zkratkou NG (*Natural Gas*) je doprovodným produktem při těžbě ropy; jeho ložiska se mohou vyskytovat i samostatně. Je distribuován a spotřebováván ve formě

plynné jako CNG (*Compressed Natural Gas*) nebo ve formě kapalné jako LNG (*Liquefied Natural Gas*).

Technické požadavky na zemní plyn blíže specifikuje norma ČSN EN ISO 13443.

### **3.2.1 Chemické a fyzikální vlastnosti**

NG je vysoce hořlavý, bezbarvý plyn bez zápachu.

Konkrétní chemické složení je závislé stejně jako u LPG na místě těžby zemního plynu. Obecně však platí, že je NG směsí uhlovodíků tvořenou převážně metanem. Jiné sloučeniny, které může NG obsahovat, jsou etan a další vyšší uhlovodíkové sloučeniny (propan, butan, pentan). Metan tvoří mezi 83 – 99 % NG, etan 1 – 13 %, další uhlovodíky jsou v NG pouze ve stopovém množství.

Metan, převažující prvek, má hustotu kolem  $0,7 \text{ kg/m}^3$ ; tedy hustotu menší, než má vzduch (složen převážně z dusíku a kyslíku o hustotách  $1,2 \text{ kg/m}^3$  a  $1,4 \text{ kg/m}^3$ ) [10].

Kromě zmíněných uhlovodíků se v NG mohou vyskytovat inertní sloučeniny typu  $\text{CO}_2$ , dusík,  $\text{H}_2\text{S}$  a další sloučeniny síry [3]. Jejich přítomnost v palivu je nežádoucí.

Přítomnost vody, případně sirných složek v palivu vede ke korozi palivového systému. V případě sirných složek je navíc nežádoucí vlastností i jejich toxicita. Vyšší uhlovodíky mají tendenci kondenzovat a blokovat tak palivový systém. Inertní sloučeniny jako  $\text{CO}_2$  a dusík ve vyšším množství snižují výhřevnost paliva; jedná se o nespalitelné složky [2].

### **3.2.2 Výroba**

NG je stejně jako ropa těžen; buď přímo z ložisek ropy (vyskytuje se jako doprovodný prvek ropy), nebo z ložisek zemního plynu. Po těžbě je plyn oddělen od ropy a následně zbavován dalších příměsí v závislosti na budoucím využití.

Vzhledem k požadavkům na NG užívaný v automobilovém průmyslu je ze zemního plynu dále separována voda, část vyšších uhlovodíků (kondenzují), sirné sloučeniny, dusík a  $\text{CO}_2$  a další nežádoucí příměsí ovlivňující kvalitu paliva. Technologie zbavování zemního plynu těchto nežádoucích složek (především sirných) je v angličtině nazývána jako „*sweetening*“ (volně lze přeložit jako „slazení“) a nejčastěji je prováděna za pomoci roztoku aminů, který působí jako absorbent sirných sloučenin (především  $\text{H}_2\text{S}$ ) [2].

### **3.2.3 Přeprava a skladování**

Zemní plyn je přepravován odlišným způsobem od LPG; je rozváděn plynovody k distribučním firmám, které pak přepravují NG v cisternách koncovým čerpacím stanicím. Zemní plyn v automobilové dopravě bývá uchovávan ve stlačené (CNG), případně kapalné (LNG) formě. V kapalné formě užívají NG především vozidla překonávající větší vzdálenosti – autobusy, nákladní a případně lodní doprava. Běžné automobily jsou stavěné pro stlačený zemní plyn CNG [2].



Stejně jako pro LPG lze nalézt i pro CNG zákaz vjezdu do garáží (bývá společná) a to i přesto, že NG je lehčí než vzduch a v případě úniku se tedy nekumuluje v podzemních prostorách; v některých případech bývá značka zákazu vjezdu pro LPG samostatně (Obrázky 2 a 3).

Obrázek 2: Zákaz vjezdu CNG, LPG [16]



Obrázek 3: Zákaz vjezdu LPG - garáže Galerie Butovice [15]



### 3.2.5 Požadavky palivové soustavy a motoru

Ze své podstaty má zemní plyn stejně jako LPG vysoké oktanové číslo (vyšší než 100), proto se hodí spíše k užití v zážehových spalovacích motorech. Stejně jako pro LPG platí, že NG lze užít i ve vznětových motorech, do směsi paliva a vzduchu je však ještě vstřikovávána nafta, která iniciuje vznět.

Díky formě, ve které NG je (plyn), se snadněji promíchává se vzduchem a dokonaleji spaluje, ve spalovací komoře nezůstává nespálené kapalné palivo, které by se dostalo do mazacího systému a znehodnocovalo olej. Kromě toho je NG co se týká mechanických nečistot velice čisté palivo, filtrační systém je tedy poměrně jednoduchý [2].

Palivová soustava opět zůstává bez větších změn. Nádrže na CNG jsou válcového tvaru (Obrázek 4), vyrobené zpravidla z oceli (mohou být i z kompozitních materiálů, uhlíkových vláken, případně hliníku snášejícího vysoké tlaky) [1]. Objem nádrží se pohybuje mezi 20 – 100 l, NG je stlačen na tlak 200 bar (20 MPa). Nádrže jsou z bezpečnostních důvodů koncipovány na tlak 600 bar; aby nedošlo k jejich porušení při vystavení plné nádrže vyšším teplotám.



Nádrže mohou být bez výplně, nebo s výplně – adsorbentem (aktivní uhlí, oxidy kovů); plyn je v nich uchován pod menším tlakem (30 – 40 bar), nádrže jsou schopny pojmout významně větší množství paliva (až o polovinu) [1],[3].

Kapalný LNG bývá schlazen na teploty nižší než bod varu metanu (přibližně -162 °C) uchováván ve speciálních nádržích; LNG se v nádržích pomalu odpařuje, vypařená část LNG odebírá kapalině výparné teplo, čímž jí stále ochlazuje. Vypařený LNG je pak buď znovu zkapalňován anebo využit jako palivo v podobě CNG [3].

Díky vysokému oktanovému číslu nedochází k vznícení paliva tak snadno jako u benzínu; je potřeba více energie – více napětí na svíčkách.

Vozidla na CNG (příp. LNG) mají poměrně nižší dojezdovou vzdálenost (na jednu nádrž) na rozdíl od vozidel na benzín/naftu; zhruba 1/5 dojezdu na klasická paliva [3].

Obrázek 4: Nádrž na CNG [11]



### 3.3 Vodík

Vodík je chemicky nejjednodušším uvažovaným alternativním palivem. Byť je v této práci zařazen pod skupinu neobnovitelných alternativních paliv (další část práce se věnuje biopalivům), nelze ho striktně řadit k této, ani jakékoliv jiné skupině. Důvod je poměrně jednoduchý; vodík tvoří 90 % z počtu atomů ve vesmíru – to znamená, že jeho zdroje tvoří poměrně širokou skupinu [1].

V současnosti je vodík poměrně perspektivním palivem budoucnosti; s jeho využitím se však počítá především v palivových článkách – energetická účinnost vodíku ve spalovacích článcích mnohonásobně převyšuje jeho energetickou účinnost jako paliva pro spalovací motory (je nutno dodat, že vodík není přímým zdrojem energie, spíše nástrojem pro přenos energie). Předpokládá se, že ještě během tohoto století by měl být systém spalovacích motorů dokonce nahrazen

palivovými články [7]. Otázky zabývající se touto problematikou však nejsou předmětem této práce; ta se bude věnovat vodíku čistě jako palivu pro spalovací motory. Požadavky na vodík specifikuje norma ČSN ISO 14687-1.

### 3.3.1 Chemické a fyzikální vlastnosti

Vodík je nejjednodušším a nejlehčím prvkem ve vesmíru. V chemických tabulkách se nachází na prvním místě pod značkou H (dle latinského názvu *hydrogenium*). Je to bezbarvý plyn bez zápachu, vysoce reaktivní - v přírodě se zpravidla vyskytuje pouze ve sloučeninách.

Je 14 krát lehčí než vzduch, za což vděčí velice nízké hustotě  $-0,09 \text{ m}^3/\text{kg}$  (při  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Vodík kondenzuje při teplotě  $-253 \text{ }^\circ\text{C}$ , tuhnutí nastává při teplotě  $-259 \text{ }^\circ\text{C}$ ; tyto krajní teploty na zemi nejsou, vodík se tedy využívá jako palivo pouze v plynném stavu [1].

Ve směsi se vzduchem tvoří vodík poměrně výbušnou směs. Teplota samovznícení je poměrně vysoká  $584,85 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $858 \text{ K}$ ); vodík je tedy vhodnější pro využití v zážehových motorech [1].

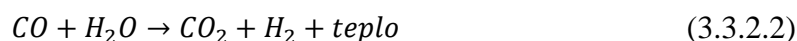
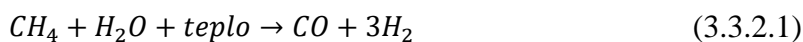
Díky chemické podstatě vodíku vzniká jeho spalováním pouze vodní pára. Nežádoucí vedlejší produkty typu  $\text{CO}_2$ , sloučeniny síry a pevné částice se v tomto případě nevyskytují; vodík jako palivo je tedy velice šetrný vůči životnímu prostředí.

### 3.3.2 Výroba

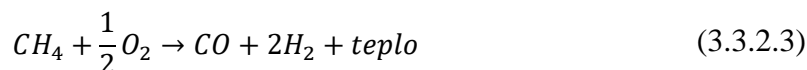
Jak bylo zmíněno; rozsah zdrojů pro výrobu vodíku je poměrně široký. Neobnovitelnými zdroji vodíku jsou například uhlí a zemní plyn. Obnovitelnými zdroji pak mohou být látky jako voda, biomasa, nebo uhlovodíková paliva (benzín, nafta, atd.) [1].

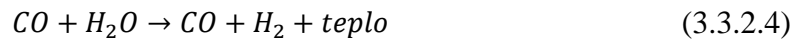
Co se týče neobnovitelných zdrojů, je vodík získáván především ze zemního plynu. Z něj může být získán 3 různými technologiemi: metodou reformování parou, parciální oxidací, nebo auto-termické reformování [2].

Reformování parou je metoda založená na bázi endotermické reakce  $\text{CH}_4$  s vodní parou. Reakce probíhá za vysokých teplot ( $700 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a tlaků kolem  $3 - 25 \text{ barů}$ . Vedlejším produktem je  $\text{CO}$ , který je reakcí s vodní parou dále přeměňován na  $\text{CO}_2$  za vzniku vodíku. Rovnice obou reakcí jsou popsány následujícími vztahy:



Parciální oxidace je metodou, kdy spalováním  $\text{CH}_4$  za přítomnosti kyslíku vzniká  $\text{CO}$  a vodík. Jedná se naopak o exotermickou reakci. Rovnice výroby vodíku jsou popsány v následujících vztazích:





Auto-termické reformování je metodou složenou z obou předchozích metod. Probíhá za velmi vysokých teplot (kolem 1000 °C) a tlaků (kolem 100 bar).

Co se týče obnovitelných zdrojů, může být vodík vyroben mnoha způsoby z mnoha zdrojů.

Elektrolýza vody je proces, při němž je získáván vodík za pomoci elektro-chemických procesů. Pomocí elektrod (katoda, anoda) v elektrolytu (voda) jsou molekuly vody rozlučovány na vodík a kyslík. Reakce je popsána následující rovnicí:



Vodík může být rovněž vyráběn zplynováním biomasy, nebo lignocelulózy (pyrolýzou), fermentací (např. biomasy rostlin cukrového čiroku), nebo zplynováním biomasy ošetřené superkritickou vodou (poměrně nová metoda) [1].

### ***3.3.3 Přeprava a skladování***

Vodík může být přepravován a skladován v kapalném, plynném i pevném stavu. Každý z těchto způsobů s sebou přináší výhody i nevýhody.

Skladování vodíku v kapalném stavu je poměrně složitou záležitostí z hlediska teploty. Z chemických a fyzikálních vlastností vodíku je známo, že kondenzuje při teplotě -253 °C, tedy při teplotě kolem 20 K; dosáhnout této teploty je problematickou záležitostí. Dalším problémem je působení kapalného vodíku o takto nízké teplotě na komponenty nádrže; kapalný vodík způsobuje zkřehnutí kovových materiálů a poškození všech materiálů v důsledku teplotní roztažnosti.

Z hlediska bezpečí se při skladování vodíku objevuje několik dalších problémů. V případě úniku se vodík velice rychle vypařuje a tím razantně ochlazuje prostředí jemu vystavené. Rychlá změna skupenství může způsobit tlakové exploze. Přítomnost člověka v případě úniku kapalného vodíku s sebou nese nebezpečí omrzlin pokožky, a sliznic (oči, dýchací sliznice, plíce), případně podchlazení.

Z hlediska množství skladovaného vodíku je ovšem poměr kapalný/plynný vodík příznivější pro kapalný vodík.

Uskladňování vodíku v kapalném stavu se uplatňuje především ve vesmíru [1].

Plynné skupenství je asi nejobvyklejší stav, ve kterém je vodík běžně uskladňován. Důvodem je především fakt, že vodík je i pro spotřebu určen v plynném stavu. Problémem v tomto případě jsou ovšem vysoké tlaky v nádržích, ve kterých je vodík skladován. Zatímco NG bývá skladován při tlaku cca 200 bar, u vodíku je to tlak 550 bar. Nádrže na plynný vodík bývají obvykle z vysoce pevné oceli, případně austenitické oceli [1].

V případě úniku většího množství vodíku může dojít při smíchání se vzduchem k výbuchu. Kromě toho může tlak v nádrži samotnou nádrž roztrhnout; v přítomnosti osob tak může dojít k poranění střepinami roztržené nádrže.

Vodík může být skladován i v pevném stavu jako hydrát. Je skladován buď na povrchu materiálů, jako je aktivní uhlí, nebo jako intersticiální prvek v kovech.

K vyloučení plynného vodíku z těchto materiálů dochází za teplot kolem 600 K, tedy asi při 327 °C. K jeho adsorpci je pak třeba materiály podchladiť. Doplnění paliva do vozidla s nádrží na vodík v podobě hydrátu je časově nenáročné (kolem 10 minut) [1].

Skladování vodíku v této podobě je poměrně bezpečnou a praktickou záležitostí. V případě porušení nádrže nedojde k úniku vodíku v takovém množství, aby ve směsi se vzduchem způsobil explozi.

### ***3.3.5 Požadavky palivové soustavy a motoru***

Vodík lze využít jako palivo pro zážehové i vznětové spalovací motory.

S menšími modifikacemi se v podstatě jedná o stejný typ motorů, jako jsou ty, kde je palivem benzín. U zážehových motorů může vstřikování probíhat přes karburátor, vstřikováním do sací soustavy, nebo přímým vstřikováním, které je nejefektivnější a nejbezpečnější. Palivová směs je pak definovaná jako směs vodíku se vzduchem.

U vznětových motorů je preferováno přímé vstřikování, případně se do válce musí navíc vstřikovat nafta, která iniciuje vznícení paliva. Obecně platí, že dávkování paliva do vznětových motorů na vodík musí probíhat za striktně daných podmínek (přesné časování, doba vstřiku), jinak se hoření vymyká kontrole. Pokud je množství vstřikovaného paliva příliš malé, dojde k nedokonalému spálení paliva. Pokud je naopak množství vstřikovaného paliva vyšší, spalovací proces se stává nekontrolovatelným.

Hoření palivové směsi je stabilní i v případech chudé směsi; vodík hoří rychle a má poměrně vysokou výhřevnost. Objemová výhřevnost vodíku je však poměrně malá – díky nízké hustotě vodíku. Vzniká tak potřeba přeplňování, užívání chudé směsi není ideální.

V případě bohaté palivové směsi však dochází k předčasnému zapálení paliva a tedy k detonačnímu spalování, které je v případě vodíkového paliva zřetelnější než u ropných paliv. Detonační spalování navíc může zasáhnout až do sacího potrubí a poškodit jej. Prevencí před detonačním spalováním je například zvýšení kompresního poměru, nebo vstřikování podchlazeného paliva.

Zajímavostí je vyšší účinnost spalovacích motorů poháněných vodíkem; společnost BMW vykázala u svého motoru účinnost až 42 % (jedná se o vznětový motor s přímým vstřikováním) [12]. Výkon je však ve srovnání s motory na klasická paliva nižší. Motor je zobrazen na Obrázku 5.

Obrázek 5: Spalovací motor na vodíkové palivo – BMW [12]



Z hlediska emisí se v tomto případě dá mluvit o ekologicky velmi přátelském palivu. Nejznamenitější jsou emise oxidů dusíku a i ty se dají případně snižovat poměrem vodíku a vzduchu v palivové směsi; s klesajícím množstvím vodíku ve směsi klesá i produkce  $\text{NO}_x$ . V případě poměru, kdy platí že  $\lambda > 2$ , nepřesahují teploty ve spalovací komoře hranici tvorby  $\text{NO}_x$  [1].

Emisní hodnoty mohou vykazovat i stopová množství uhlovodíků a oxidů uhlíku – to je však dáno případnou přítomností olejů a jiných maziv na stěnách válce, která shoří [1].

Další alternativou je pak palivová směs vodíku a CNG; i tato alternativa má své výhody a nevýhody. Směs je v hoření stabilnější (NG odhořívá pomalu, rychlost hoření se tedy snižuje), vykazuje stále vyšší účinnost než směsi ropných paliv, spotřeba paliva je poměrně nízká. Nevýhodou jsou však opět emise oxidů uhlíku způsobené přidáním NG, nízká objemová výhřevnost a nutnost přehřívání a nižší výkon [1].



## 4 BIOPALIVA

Biopaliva jsou druhou velkou skupinou alternativních paliv, kterým se tato práce věnuje. Od skupiny neobnovitelných alternativních paliv – tedy paliv vyráběných na základě fosilních zdrojů – se odlišují svojí obnovitelností, respektive obnovitelností svých zdrojů. Obnovitelnost zdrojů biopaliv se dá definovat v řádech jednotek až desítek let.

Podstata zdrojů biopaliv však zůstává stejná; zdrojem je biomasa, tedy látka rostlinného, či živočišného původu. V případě biopaliv však biomasa neprochází tak rozsáhlou časovou, fyzikální a chemickou změnou, jako tomu je u fosilních zdrojů (ropa, zemní plyn).

Pojem biomasa je úzce spojován právě s biopalivy. Jedná se o poměrně široký pojem, přesněji definovaný jako látka biologického původu. Zahrnuje tedy širokou škálu potencionálních zdrojů – živočišného i rostlinného původu, případně meziproducty lidské výroby (např. potraviny, odpad organického původu).

Z toho důvodu byla biopaliva klasifikována, dle zdrojů z kterých pochází, na 3 generace:

- 1. generace: Zdrojem výroby jsou především cukernaté a olejnaté plodiny.
- 2. generace: Zdrojem výroby jsou především lignocelulózní látky (Obrázek 6).
- 3. generace: Zdrojem jsou řasy.

Jmenované zdroje nejsou striktní podmínkou pro klasifikaci biopaliva, záleží i na metodách a technologiích užívaných při výrobě [13].

*Obrázek 6: Sláma - lignocelulózní zdroj [25]*



První generace biopaliv je závislá na potravinových zdrojích. V současné době je jejich výroba a užívání naplno rozjeté a podporováno rozsáhlými politicko-ekologickými kampaněmi. Problémem 1. generace biopaliv je jakýsi paradox „jídlo versus palivo“ [13]. Plodiny určené k výrobě biopaliv 1. generace mohou být stejně dobře určeny ke spotřebě ve formě potravin; nedostatek potravin je v tuto chvíli problémem minimálně stejně palčivý jako nedostatek pohonných hmot.

Druhá generace biopaliv vzniká jako možné řešení problému 1. generace. Zdrojem nemusí být nutně pouze lignocelulózní produkty, možné je využít i odpadních látek na bázi potravin například použitý rostlinný olej [14].

Třetí generace biopaliv je v podstatě spíše myšlenkou v zárodku. Řasy jako zdroj paliva mají velký potenciál; dokážou vyprodukovat až 10x větší množství paliva než tradiční suroviny [14]. Navíc v průběhu produkce spotřebovávají oxid uhličitý a redukují tak případné emise. I s řasami však přichází zásadní problém; jejich pěstování. Řasy pro svou existenci potřebují velké množství vody a fosforu – ten by bylo třeba dodávat hnojením. Případné hnojení by však bylo po stránce ekonomické, technologické a emisní natolik složité, že by vzniklá biopaliva byla nejdražšími dostupnými palivy na zemi. Osud a vývoj 3. generace tedy prozatím stagnuje a zůstává ve hvězdách.

## 4.1 Historický vývoj

Pojem biopaliva nezahrnuje jen alternativní paliva nefosilního původu užívaná ve spalovacích motorech. Biopaliva jako taková jsou nám známa už od počátku věků. Jsou to vůbec první druhy paliv, které byl schopen člověk užívat – například dřevo, jehož spálením získal člověk teplo.

Se spalovacími motory však přišel trend užívání fosilních paliv jako zdrojů energie. V průběhu 20. století však na jejich užívání měly vliv některé zásadní věci; primárně to byly války a konflikty (především na blízkém východě), které ovlivnily cenu ropných produktů. Sekundárně to byla později potřeba chovat se šetrněji k životnímu prostředí; tato potřeba je víceméně řešena legislativou v jednotlivých státech a hospodářských uskupení. V následujících kapitolách jsou oba jevy rozebrány podrobněji.

### 4.1.1 Ropné krize

Ropné krize jsou důsledkem válečných konfliktů a přírodních katastrof. Pojem „ropná krize“ je spojen především s druhou polovinou 20. století a počátkem nového tisíciletí. Následující výčet událostí zachycuje hlavní události, které se nepříznivě odrazily na cenách ropy a nepřímo tedy na využívání biopaliv jako alternativy.

Mimo 2 světových válek byla prvním zlomovým konfliktem Jom Kippurská válka, která začala 6. října 1973 napadením Izraele egyptskými a syrskými vojsky. Jednalo se o další z mnoha konfliktů Izraele s Arabskými státy. Deset dní po vypuknutí konfliktu se schází státy OPEC, zvedají cenu barelu ropy (z 3,01 na 5,12 amerických dolarů) a zároveň se zavazují ke snížení těžby ropy o 10 %. Bylo ustanoveno, že množství těžené ropy se dále bude snižovat, dokud konflikt neskončí. Zásadní dopad na cenu ropy však mělo o pár dní později Saudskoarabské embargo, po kterém se vyšplhala cena za barel ropy na 8,25 amerického dolaru (Obrázek 7). Saudská Arábie, která byla sama v konfliktu s Izraelem, nelibě nesla finanční podporu Izraele Spojenými státy ve výši 2,2 miliardy amerických dolarů [17].

Embargo bylo odvoláno o půl roku později, nicméně ropná krize se do té doby ještě prohloubila a svět - a především USA se z ní dostávaly řadu let.

V letech 1979 – 1980 však přichází další ropná krize. Íránská revoluce a následující Íránsko-Irácká válka mají na svědomí snížení vývozu ropy. Oba státy se navíc během války snaží připravit o ložiska ropy a vzájemně si likvidují ropovody. Cena barelu ropy opět markantně vzrůstá [17].

Íránsko-Irácká válka se táhne do konce 80. let. Během tohoto období na válce profitují z prodeje ropy okolní arabské státy; je to především Saudská Arábie a Kuvajt. Po skončení války jim další z vývozců ropy – Irák – není schopen v této oblasti konkurovat. Země se topí v dlužích a potřebuje prosperovat; významným nástrojem k prosperitě je právě ropa.

Tehdejší irácký diktátor Saddám Husajn tedy vyzývá státy OPEC k fixaci cen ropy a své věřitele o zmrazení válečných dluhů. Jeho požadavkům není vyhověno. Irák následně obviňuje Kuvajt z těžby Irácké ropy a snahu získat část Iráckého území. Konflikt je vyhrocen a v srpnu 1990 napadá Irácká armáda Kuvajt. Ohrožena je i Saudská Arábie a do konfliktu se proto zapojí s požehnáním OSN i Evropa a USA, které jsou na vývozu ropy z Kuvajtu a Saudské Arábie závislé [17]. Konflikt končí počátkem roku 1991; Irácká vojska jsou stažena z Kuvajtu. Před stažením vojsk se však Iráckým jednotkám podaří vypustit do moře 1,9 miliard litrů Kuvajtské ropy [19].

Následuje válka v Iráku. V březnu 2003 podnikla vojska USA invazi do Iráku; důvody invaze jsou dodnes sporné. Hlavním důvodem k útoku byla pravděpodobně víra Spojených států ve figurování Iráku v teroristických útocích 11. září 2001. Po válce v Perském zálivu navíc mezi zeměmi panují napjaté vztahy. Konflikt byl ukončen až s nástupem nového prezidenta (Barack Obama) v letech 2010 – 2011 stažením amerických vojsk z Iráku [18].

*Obrázek 7: Ropné embargo v roce 1973 způsobilo rozsáhlý nedostatek paliv ve Spojených státech. Nafta a benzín se prodávaly v omezeném množství, čerpací stanice s nedostatkem pohonných hmot byly na denním pořádku [36].*





Co se týče katastrof, měly vliv na ceny ropy především události v Mexickém zálivu; ropa a zemní plyn z Mexického zálivu tvoří zhruba ¼ produkce USA.

První z katastrof byla přírodního charakteru – hurikán Katrina udeřil v srpnu 2005. Těžářské společnosti v Mexickém zálivu okamžitě zastavily těžbu ropy, cena ropy významně vzrostla nejen v USA, ale i ve světě [20].

Druhou z katastrof byl únik ropy z ropné plošiny v Mexickém zálivu v dubnu 2010. Uniklo zhruba 800 milionů litrů ropy [19]

#### **4.1.2 Vývoj americké a evropské legislativy**

Jak se počet lidí na Zemi zvyšuje, zvyšuje se i počet uživatelů dopravních prostředků; zároveň se zásoby fosilních paliv, která jsou primárním zdrojem energie pro spalovací motory, tenčí. Biopaliva mají být na rozdíl od neobnovitelných alternativních paliv konečným řešením tohoto problému; jsou to paliva relativně levná s rychle obnovitelnými zdroji, vykazující menší emise – řeší tedy dva zásadní problémy současnosti – omezené zásoby zdrojů klasických paliv a otázku globálního oteplování způsobeného emisemi skleníkových plynů.

Tyto dva významné problémy začal řešit především takzvaný „západní svět“. Aby k nim bylo přístupováno jednotně, bylo nutné začít vymezovat právní hranice.

Jako první z dokumentů zabývajících se tématem životního prostředí se stala UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) – tedy rámcová úmluva Spojených národů o klimatických změnách. Úmluva byla schválena a podepsána v roce 1992; jí samotné však přecházela celá řada konferencí a jednání na toto téma, která probíhala už od konce 70. let [21]. Úmluva se primárně soustředí na snížení emisí CO<sub>2</sub>, který je hlavním činitelem v procesu globálního oteplování.

Biopalivům se konkrétně věnuje až dokument z roku 1997 s názvem „Energie budoucnosti: obnovitelné zdroje energie“ schválený Evropskou komisí. Dokument vymezuje cíle, kterých se mělo dosáhnout do roku 2010, a sice že 12 % spotřebované energie by mělo v rámci EU pocházet z obnovitelných zdrojů. K biopalivům je zde dodáno, že by se měly podniknout nové iniciativy a podpora trhu s biopalivy [22].

V roce 2003 vydala EU směrnici 2003/30/ES – o podpoře využívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě. Členské státy dle směrnice musí zajistit „*aby na jejich trh bylo uváděno alespoň minimální procento biopaliv a jiných obnovitelných pohonných hmot*“; konkrétně musí zajistit minimální podíl biopaliv 2 % z energetického obsahu celkového množství nafty a benzínu prodávaného pro dopravní účely do konce roku 2005. Do konce roku 2010 tato hodnota musí vykazovat 5,75 %.

Směrnice rovněž definuje biopaliva a to následovně [23]:

- „**bioethanol**“: ethanol vyrobený z biomasy nebo biologického rozkladu odpadů, užívaný jako biopalivo
- „**bionafta**“: methylester vyrobený z rostlinného nebo živočišného oleje, s kvalitou nafty, užívaný jako biopalivo

- „**bioplyn**“: plynná pohonná hmota vyrobená z biomasy nebo biologického rozkladu odpadů, která může být vyčištěna až na kvalitu zemního plynu a užívána jako biopalivo, nebo dřevoplyn
- „**biomethanol**“: methanol vyrobený z biomasy, který se užívá jako biopalivo
- „**biodimethylether**“: dimethylether vyrobený z biomasy, užívaný jako biopalivo
- „**bio-ETBE (ethyl-tercio-butyl-ether)**“: ETBE vyrobený z bioethanolu. Objemové procento biopaliva v bio-ETBE je 47 %
- „**bio-MTBE (methyl-tercio-butyl-ether)**“: palivo vyrobené z biomethanolu. Objemové procento biopaliva v bio-MTBE je 36 %
- „**syntetická biopaliva**“: syntetické uhlovodíky nebo směsi syntetických uhlovodíků vyrobené z biomasy
- „**biovodík**“: vodík vyrobený z biomasy nebo biologického rozkladu odpadů, užívaný jako biopalivo
- „**čistý rostlinný olej**“: olej vyrobený z olejních rostlin lisováním, vyluhováním nebo srovnatelnými postupy, surový nebo rafinovaný, avšak chemicky neupravovaný, pokud je jeho využití slučitelné s typem daného motoru a odpovídajícími požadavky týkajícími se emisí.

Téhož roku vzniká směrnice 2003/96/ES „*kteřou se mění struktura rámcových předpisů Společenství o zdanění energetických produktů a elektřiny*“. Dokument upravuje daňové sazby, respektive dovoluje uplatnit daňovou slevu na veškerá biopaliva [24].

Co se týče Spojených států, na biopaliva jezdily automobily už na počátku 20. století. Průkopníkem v tom byl Henry Ford; motor automobilu Ford T (Obrázek 8) byl původně konstruován stejně tak dobře ke spalování etanolu jako benzínu. Zakladatel automobilky Ford měl vizi o budoucím pokračování využívání biopaliv, tu ale zhatil krach na burze následovaný krizí; ceny ropných paliv pak vycházely příznivěji než ceny biopaliv [26].

Obrázek 8: Ford model T [28]



Po ropné krizi v 70. letech založilo Ministerstvo energetiky laboratoř NREL (National Renewable Energy Laboratory); zabývající se výzkumem biopaliv.

Dalším krokem v této oblasti bylo zavedení Zákona o energetické politice (Energy Policy Act) z roku 1992, později v novém znění z roku 2005. Zákon sám o sobě je poměrně rozsáhlý a mimo jiné podporuje zavádění biopaliv 1. a 2. generace formou finančních grantů a daňových úlev [27]. Tento zákon je následován zákonem o energetické nezávislosti a bezpečnosti z roku 2007.

Zákony stanovují, že paliva uvedená na americký trh musí obsahovat minimální obnovitelný podíl – do klasických paliv musí být přidáváno biopalivo.

Na základě obou zákonů vznikl program na zavedení obnovitelných zdrojů, jehož prvotní verze byla po vydání druhého ze zákonů v roce 2007 upravena tak, že kritéria programu odpovídají přibližně kritériím evropských směrnic [21].

#### ***4.1.3 Biopaliva pro spalovací motory v průběhu historie***

Palivy pro spalovací motory jsou a byly primárně paliva fosilního původu – nafta a benzín. Nebylo tomu tak vždycky; jejich vítězství v souboji paliv byla víceméně souhra náhod.

Jak bylo výše uvedeno; biopaliva byla využívána už dřív – například dřevo (oheň jako zdroj tepla), velrybí tuk (do lamp na svícení) [29], atd. Se spalovacími motory přichází potřeba kapalných paliv.

Biopaliva ve spalovacím motoru byla využita už na konci 19. století; na přelomu let 1887-1888 zkonstruoval Rudolf Diesel vznětový motor a palivem pro jeho motor byl rostlinný olej – konkrétně olej z burských oříšků. Jako palivo pro spalovací motory se nicméně ujaly ropné produkty - zhruba o 20 let dříve Nicolaus Otto sestrojil motor zážehový a jako palivo využil benzín, který byl odpadním produktem z ropné rafinace. V průběhu 19. století byl totiž využívaným ropným produktem petrolej, mazací oleje, nebo parafín; nafta spolu s benzínem byly v podstatě „odpadem“ a tedy dostupné za nízkou cenu. Navíc ropu stačilo jen vytěžit a zpracovat; zdroje biopaliv musely být nejdříve vypěstovány – což představovalo práci navíc [30]. Jen málokdo tušil, že v příštích 100 letech začne užívání ropných produktů jako paliva představovat problém.

Oba konstruktéři však pravděpodobně s alternativou počítali, neboť vznětový motor lze z principu využít ke spalování jak nafty, tak rostlinných olejů; prototypy Ottových motorů zase spalovaly paliva na bázi alkoholu.

Počátkem 20. století vznikaly v Evropě, USA i jižní Americe projekty podporující využití alkoholu jako paliva. Jednotlivým státům začalo docházet, že těžba ropy není jen záležitostí průmyslovou a ekonomickou, ale i politickou. Státy mající na svém území ropu, si z tohoto obchodu mohly udělat monopol; byly to z části i bývalé kolonie západoevropských zemí, které si s tímto faktem nelámaly hlavu do chvíle, než se kolonie začaly osamostatňovat.

V Evropě s projekty přišlo Německo, které ještě před 1. Světovou válkou začalo podporovat zemědělskou výrobu – především pěstování brambor, z kterých byl později vyráběn i etanol

sloužící jako palivo. S obdobnými projekty později přišly i Francie, Velká Británie a další země [29].

Do projektů se zapojily i Spojené státy a poté co zrušily daň na etanol, začal vizionář Henry Ford vyrábět model Ford T s motorem na benzín i etanol (v této práci již dříve zmíněno).

Zajímavostí je období mezi 2 světovými válkami, kdy rozvoj biopaliv, respektive etanolu jen kvetl. Legislativními kroky už nebyla podporována jen výroba etanolu, ale i jeho užívání ve spalovacích motorech. Na výčepní líh byla zvýšena daň za účelem snížení ceny lihu, užívaného v motorech.

V Československu se v roce 1922 objevila palivová směs nazývaná Dynakol. Byla to směs tvořená z 50 % lihem, 30 % benzenem a 20 % benzínem [30]. V roce 1932 vydala vláda zákon č. 85/1932 Sb., kterým zavádí povinnost přimíchávat líh do benzínových paliv [31] a vládní nařízení č. 127/1932 Sb. kde stanovuje požadavky na kvalitu lihu přimíchaného do benzínových paliv a požadavek, dle kterého musí benzínová paliva distribuovaná na Československém území obsahovat minimálně 20 % objemových lihu (ethylnatého, nebo methylnatého) [32]. Obě právní opatření byla podpořena ještě zákonem č. 86/1932 Sb., který stanovil daň z lihu a vymezil maximální produkované množství lihu určeného k potravinářské spotřebě.

Evropské země zaváděly podobná legislativní opatření (např. Francie už v roce 1928, Maďarsko v roce 1929); benzínové palivové směsi se v různých státech jmenovaly různě, ale vesměs šlo o podobné procentuální zastoupení lihu v benzínu (kolem 20 – 25 %). Palivové směsi měly v různých zemích různá jména; v Maďarsku to byla směs Moltaco, ve Švédsku Lattbentyl [29].

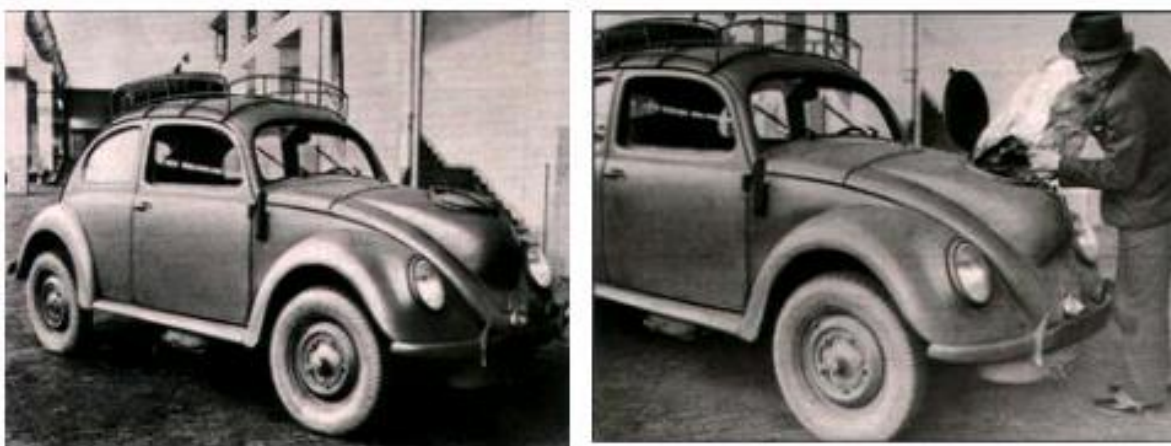
Kromě lihových paliv se úspěchu těšil i takzvaný dřevoplyn. S dřevoplynovým generátorem pro dopravní účely přišel německý inženýr Imbert v roce 1920. Po roce 1931 už byla rozjeta masová výroba vozidel jezdících na dřevoplyn; tento trend se ujal především v Evropě. Příkladem masově vyráběných vozů na dřevoplyn je například VW Brouk (Obrázek 9), nebo Mercedes Benz 280.

Během 2. Světové války zájem o vozy ještě stoupl; tenčící se zásoby benzínu a nafty růst oblíbenosti dřevoplynových vozidel jen podpořily. Na dřevoplyn jezdily osobní i nákladní auta, nebo zemědělská vozidla [38].

Konec 2. Světové války a následný politicko–hospodářský vývoj smetl ideu biopaliv ze stolu. Ropa se začala těžit ve velkém a její příznivá cena a relativní mír nepodněcovaly potřebu biopaliva užívat.

Země východní Evropy po válce spadly do područí Sovětského svazu; Rusko jako vlastník ropných polí naopak podpořilo dovoz a distribuci vlastní ropy a zemního plynu do zemí SSSR.

Obrázek 9: VW Brouk - masově vyráběné vozidlo na dřevoplyn během 2. Světové války [38]



Používání lihu v benzínových směsích vymizelo v roce 1950, kdy vznikla řada zákonů a vyhlášek rušících a upravujících prvorepublikové lihové zákony [30].

Renesance biopaliv nastala s počátkem série ropných krizí. Zhruba ve stejné době se začalo mluvit o dopadech lidské činnosti na přírodu z ekologického hlediska. Svět se opět začal zajímat o biopaliva jako vhodnou alternativu.

První ropná krize v roce 1973 dala podnět k zamyšlení – ceny ropy raketově vzrostly především v USA. Na výzkumu přimíchávání etanolu do benzínu začaly pracovat státy středozápadu; výzkum se týkal konkrétně etanolu získávaného z kukuřice, jejímž největším pěstitelem jsou právě Spojené Státy. Americké ropné společnosti se však myšlenky na přidávání etanolu do benzínu bránily; tvrdily, že etanol palivo znehodnocuje a poškozují motor. Přesto však v roce 1980 prezident Carter podepsal program pro podporu etanolu jako paliva [29].

Co se týká dřevoplynu, zájem o vozy na tento druh paliva postupně vymizel. Mezi 50. – 70. lety minulého století ještě vznikaly a běžely projekty na toto téma – především v Severských zemích. Některé automobilky ještě vyrobily modely automobilů na dřevoplyn – například Volvo (Volvo 240), BMW (BMW 728), Audi, nebo Yugo. S problémem odlesňování však postupně zájem o dřevoplyn opadl a pozornost se zaměřila na paliva na bázi lihu [38].

V současnosti je v benzínových směsích užívání lihu asi nejběžnější forma užití biopaliv ve spalovacích motorech. Ze strany nafty se pak jedná o přidávání methylesteru řepkového oleje. Vývoj a užívání biopaliv podmínily důležité legislativní kroky v průběhu 90. let a počátku nového tisíciletí; velký ohled se bral především na životní prostředí a ekologičnost paliv.

## 4.2 Legislativa v ČR

Česká legislativa se co do podílu biopaliv v pohonných hmotách snaží zachovat evropskou směrnicí 2009/28/ES a 2009/30/ES (o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o

specifikaci benzínu, motorové nafty a zavedení mechanismu pro sledování a snížení stavu emisí skleníkových plynů).

Přehled důležitých legislativních opatření vztahujících se k biopalivům je zde:

Zákon č. 311/2006 Sb. o pohonných hmotách definuje pohonné hmoty včetně biopaliv, a jejich podmínky prodeje a distribuce. Mimo jiné stanovuje maximální podíl etanolu v benzínu na 5 % obj. [33].

Zákon č. 353/2003 Sb. o spotřebních daních mimo jiné stanovuje spotřební daň na pohonné hmoty včetně biopaliv.

Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší stanovuje minimální podíly biopaliv v pohonných hmotách a to následovně [34]:

- min. 2,9 % objemových z celkového množství motorových benzinů přimíchaných do motorových benzinů
- min. 4,2 % objemových z celkového množství motorové nafty přimíchaných do motorové nafty

Přitom platí, že za 1 kalendářní rok musí dodavatel vykazovat následující podíly biopaliv:

- min. 4,1 % objemových z celkového množství motorových benzinů přimíchaných do motorových benzinů
- min. 6,0 % objemových z celkového množství motorové nafty přimíchaných do motorové nafty

Novela zákona (369/2016 Sb.) platná od 1. 1. 2017 dané předpisy nijak neupravuje.

Nařízení vlády č. 351/2012 Sb. o kritériích udržitelnosti biopaliv definuje 3 kritéria udržitelnosti týkající se produkce skleníkových plynů, biomasy, ze které biopalivo pochází, a souladu s požadavky a normami EU [35].

Legislativní opatření platí pro veškerá paliva distribuovaná na území ČR.

## 4.3 Přehled biopaliv

Následující podkapitola zahrnuje přehled nejčastěji využívaných a perspektivních biopaliv – jejich popis, fyzikální a chemické vlastnosti, požadavky na jejich kvalitu a způsob výroby.

### 4.3.1 Bioetanol

Požadavky na etanol jako motorové palivo definuje norma ČSN EN 15376.

Etanol s chemickým označením  $C_2H_5OH$  je druhým z nejjednodušších alkoholů. Bod varu nastává při 78 °C, OČVM je 108, OČMM je 92 (oktanová čísla výzkumnou a motorovou metodou). Stechiometrický poměr je 1:9 (pro přesnost – na spálení 1 kg paliva je třeba 9 kg



vzduchu). Etanol je dobrým rozpouštědlem; funguje jako detergent a zbavuje palivový systém usazenin [1]. Zároveň ale působí agresivně vůči pryžovým materiálům.

Etanol poměrně dobře podléhá biodegradaci; v případě úniku tedy není škodlivý pro životní prostředí. Hodnota biodegradace byla stanovena experimentálně na základě produkce CO<sub>2</sub> mikroby umístěnými do paliva. Hodnota je stanovena v %; pro porovnání s jinými látkami slouží Tabulka 2.

Tabulka 2: Hodnoty biodegradace různých látek [1]

<b>Látka</b>	<b>Procentuální vyjádření biodegradace</b>
Sacharóza	100
Etanol	58
Diesel	28

Díky vysokému oktanovému číslu je etanol přidáván do benzínu. Palivová směs benzínu a etanolu se stejným OČVM vykazuje větší výkon během jízdy v nízkých rychlostech a při akceleraci. Platí, že etanol zvyšuje oktanové číslo směsi, zároveň však snižuje její výhřevnost a tím tedy zvyšuje spotřebu paliva. Výzkum ukázal, že ideální směs je směs s označením E10, tedy směs tvořená z 10 % etanolem a 90 % benzinem [1].

Palivová směs benzínu a etanolu je bezpečnější z hlediska přepravy a skladování díky vyšší teplotě samovznícení etanolu (etanol → 423 °C, benzin → 257 °C). Stechiometrický poměr palivové směsi je nižší než u benzínu; etanol obsahuje kyslík – ke spalování směsi je tedy zapotřebí méně vzdušného kyslíku.

Etanol je dobře mísitelný jak s benzinem, tak s vodou; při výrobě palivové směsi je nutné do benzínu přimíchávat bezvodý etanol. Přítomnost vody v etanolu může způsobit separaci složek směsi a výrazně tím snížit výkon motoru; voda je také příčinou koroze palivového systému.

Z hlediska komerčního využití jsou v praxi užívány palivové směsi s označením E85, E10 a E5; číslo obsažené v názvu palivové směsi udává procentuální obsah bioetanolu ve směsi.

E5 je v současnosti běžně rozšířená palivová směs; dle nařízení Evropských směrnic mají státy EU povinnost do benzínu přidávat minimální nařízené množství biopaliva – tedy etanolu, ten je obvykle přimícháván do benzínu tak, aby tvořil 5 % směsi.

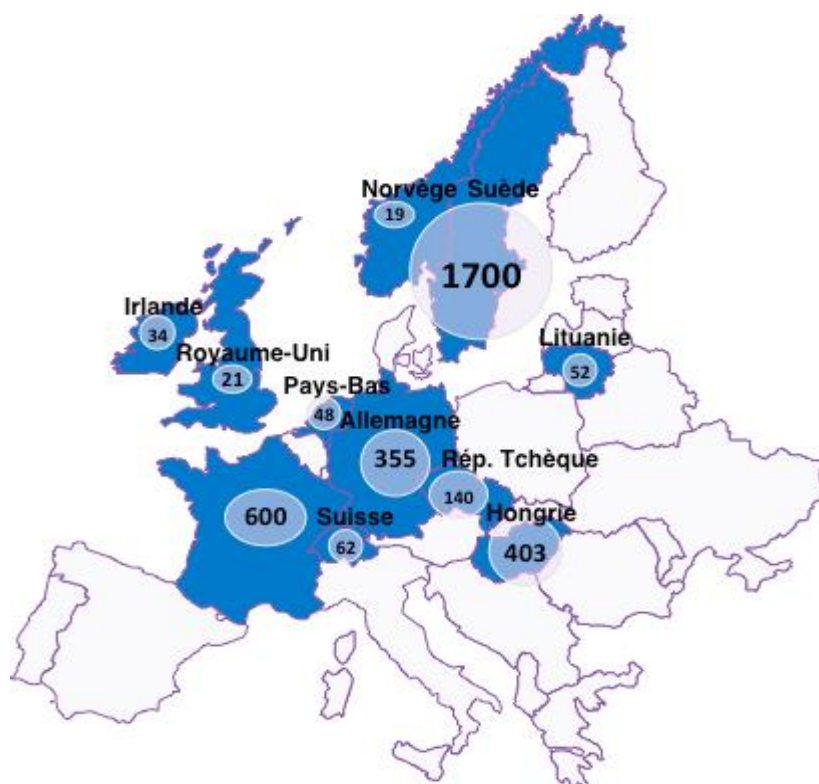
E10 se v současnosti zavádí do oběhu. Výhledově by měla směs E10 nahradit směs E5. 90 % automobilů by mělo být schopno na tuto směs jezdit; automobily vyrobené po roce 2010 by s touto alternativou neměly mít téměř žádný problém (kompatibilita z 99,7 %). Jak bylo výše uvedeno – směs E10 by měla být ideální z hlediska rovnováhy pozitivních a negativních vlastností bioetanolu a benzínu. E10 je v Evropě běžně užívána ve Finsku, Francii, nebo Německu. Ve světě je užívání běžné v USA, Brazílii, Austrálii a na Novém Zélandu [40].

E85 je směs tvořená z 85 % bioetanolem; vozidla, u kterých lze toto palivo použít, už musí mít do určité míry modifikovaný palivový systém. Výhodou směsi jsou nízké emise CO a těžkých

uhlovodíků. Nevýhodou směsi je ovšem výrazně menší energetická účinnost ve srovnání s benzínem. Obvykle se uvádí, že spotřeba směsi E85 je zhruba o 25 % vyšší než spotřeba benzínu na stejnou vzdálenost. Toto zvýšení spotřeby ovšem nelze přesně definovat a aplikovat na všechny situace. Spotřeba se může lišit dle vozu v závislosti na modifikaci palivového systému výrobce, i na provozních podmínkách. Bylo zjištěno, že při jízdě ve městě je spotřeba E85 i benzínu srovnatelná; naopak při provozu na dálnicích se spotřeba znatelně lišila. Obecně lze tedy říci, že vliv na spotřebu paliva nemají pouze vlastnosti bioetanolu, ale záleží i na podmínkách provozu a vlastnostech automobilu [41].

Užívání směsi E85 je velmi rozšířené především v zemích jako Švédsko, Francie, Německo nebo Maďarsko. Na Obrázku 10 je pro ilustraci počet stanic v jednotlivých zemích, u kterých je směs E85 dostupná [40].

Obrázek 10: Počet stanic disponujících palivem E85 – Evropa [40]



#### 4.3.2 Bionafta

Požadavky na bionaftu definuje norma EN 14 214.

Pojem bionafta souhrnně označuje estery mastných kyselin; pro jejich označení se vžil anglický název FAME (*Fatty acid methylester*). Nejčastěji se jedná právě o metylestery.

Výchozími produkty pro výrobu bionafty jsou zpravidla rostlinné, případně živočišné oleje a metanol. V současnosti je 80 % vyráběných metylesterů na bázi řepkového oleje. V České republice se tedy vžil název MEŘO – metylester řepkového oleje. Stojí za zmínku, že před nadnárodním standardem EN 14 214 měla ČR vlastní normu ČSN 65 6507, která se týkala právě MEŘO [7].



Vzhledem ke svým vlastnostem nelze bionaftu popsat chemickým vzorcem; její vlastnosti se minimálně liší v závislosti na zdrojích výroby.

Obecnými vlastnostmi bionafty jsou dobré mazací schopnosti a vyšší cetanové číslo, než má nafta. Vzhledem k těmto vlastnostem je bionafta užívána ve vznětových motorech a to buď samostatně, nebo ve směsi s naftou, se kterou je dobře mísitelná.

Vyšší cetanové číslo bionafty zaručuje dobré palivové vlastnosti při studeném startu motoru a redukuje kouřivost.

Bod vzplanutí bývá obecně vyšší, než u nafty, díky čemuž je bionafta bezpečnější, co se týče skladování. Z biologického hlediska je bionafta hůře skladovatelná; snáze podléhá biologické degradaci – z ekologického hlediska je tato vlastnost přínosem [1].

Nepříznivým jevem je opět přítomnost vody v palivu. Voda v bionaftě může způsobit nejen korozi palivového systému a snížení výkonu, ale zároveň může podpořit biodegradaci paliva – stává se výživou pro mikroby přítomné v palivu [1].

Voda v bionaftě může zůstat po procesu proplachování, jehož účelem je minimalizovat množství alkoholu přítomného po výrobě a pevných kontaminantů, které by mohly poškodit filtry v palivovém systému.

Alkoholové složky jsou v bionaftě nežádoucí; významně snižují bod vzplanutí a tím bezpečnost skladování bionafty [1].

Bionafta není jen palivem 1. generace, spadá i do kategorie 3. generace; k její výrobě lze užít olej z řas. Avšak vzhledem k tomu, že pěstování řas jako zdroje pro výrobu paliv je poměrně nákladné a bionafta z řas má velkou viskozitu, která se projevuje zhoršením výkonu, neúplným spalováním a tedy zanášením palivového systému. Tyto nedostatky lze odstranit další chemickou úpravou – výroba bionafty 3. generace je tedy nákladná a déle trávající, než výroba bionafty 1. generace [2].

V praxi se běžně využívají palivové směsi bionafty označované jako B7, B30 a B100.

B100 je palivová směs tvořená výhradně bionaftou. Směs lze užívat v běžných vznětových motorech; její užívání však s sebou nese několik technických problémů. Hlavním z nich je vysoká viskozita paliva; směs má tendenci kontaminovat motorový olej, zanáší palivové filtry, a při nižších teplotách i trysky.

B30, označovaná také jako SMN 30, je palivová směs z 30 % tvořená bionaftou a ze 70 % klasickou motorovou naftou. Tato palivová směs kombinuje dobré vlastnosti nafty a bionafty; nedisponuje tak vysokou viskozitou, zároveň je snížena kouřivost (oproti klasické motorové naftě) a směs je lépe biologicky odbouratelná.

B7 je směs tvořená ze 7 % bionaftou a 93 % motorovou naftou; je to nejobvykleji distribuovaná směs bionafty [42].

### **4.3.3 Biometanol**

Metanol je nejjednodušší z alkoholů; jeho chemické označení je  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Bod varu nastává při teplotě  $64,7\text{ }^\circ\text{C}$ , OČVM je 110, stechiometrický poměr 1:6,66. V současnosti je hlavním zdrojem pro jeho výrobu zemní plyn. Mimo zemního plynu lze ale metanol vyrábět také ze lignocelulózních zdrojů (dřevo, papírový odpad), uhlí, nebo biomasy (z biometanu) [2].

Metanol je korozivním činidlem; korozivně účinkuje především na měď, mosaz a hliník, působí agresivně vůči pryžovým materiálům a plastům. Další nepříznivou vlastností metanolu je neomezená mísitelnost s vodou, která může způsobit separaci složek paliva, korozi palivového systému a degradaci paliva v případě nafty [1].

Metanol je všestranně využitelný; dá se využít přímo jako palivo, nebo nepřímo k výrobě dalších paliv [1].

Přímý užitek má metanol jako součást palivové směsi jak v zážehových, tak vznětových motorech.

Směs metanolu s benzínem je bezpečnější co do skladování, než samotný benzín; to je zaručeno vyšší teplotou samovznícení metanolu ( $316\text{ }^\circ\text{C}$ ). Stejně jako etanol i metanol zvyšuje oktanové číslo, snižuje výhřevnost palivové směsi a stechiometrický poměr. Nevýhodou metanolu ve směsi s benzínem je špatná mazací schopnost a horší palivové vlastnosti při startu za studena.

Směs metanolu s naftou se vyznačuje dobrou spalovací charakteristikou a vyšším výkonem motoru. Palivová směs také vykazuje menší množství emisí pevných částic a dalších škodlivin. Z konstruktérského hlediska je u tohoto paliva (co se motoru týká) třeba být opatrný; jednak je metanol vysoce korozivní složkou, navíc jeho spálením vznikají aldehydy tvořící silné kyseliny. Metanol je s naftou jen omezeně mísitelný, nejlepších výsledků dosahuje palivo s obsahem 20 – 30 % hmotnostních metanolu [1].

Nepřímo lze využít metanol k výrobě bionafty, dimethyléru, nebo vodíku do palivových článků. Jako výrobní surovina alternativních paliv, která je sama vyráběna z ekologicky přátelských zdrojů má metanol silný potenciál [1].

### **4.3.4 Biobutanol**

Butanol, řadící se do skupiny alkoholů, je dalším z perspektivních paliv. Perspektivnost biobutanolu tkví v jeho nahrazení bioetanolu. Ačkoliv je bioetanol v současnosti jedním z nejrozšířenějších biopaliv, skýtá řadu technických problémů, které se u butanolu nevyskytují.

Výhod butanolu oproti etanolu je hned několik (k porovnání vlastností slouží Tabulka 3). Výhřevnost butanolu je vyšší, než etanolu; spotřeba palivové směsi benzínu a butanolu je tak v porovnání se směsí benzínu a etanolu nižší. Stejně jako etanol je i butanol dobře biologicky odbouratelný a dle normy ČSN EN 228 ho lze do benzínových paliv přimíchávat větší objemové množství; zatímco množství etanolu je v motorovém benzínu povoleno do 5 % obj., množství butanolu může dosahovat až 10 % obj. Butanol na sebe také neváže ve větším množství vodu. V případech kdy se v palivové směsi voda vyskytne a dojde k separaci fází,

vykazuje butanol tendenci slučovat se s benzínovou složkou spíše než s vodnou (jako je tomu u etanolu).

Z hlediska tlaku par se butanol-benzínové směsi víceméně kvalitou neliší od benzínových (u butanolu mírně nižší tenze par [43]); etanol oproti tomu vykazuje výrazné zvýšení tlaku par, které způsobuje vznik emisí palivové směsi a parních polštářů [37].

Tabulka 3: Vybrané vlastnosti bioetanolu a biobutanolu [37]

<i>Parametr</i>	<i>Bioetanol</i>	<i>Biobutanol</i>
Bod varu [°C]	78,3	117,7
Hustota při 15 °C [kg/m <sup>3</sup> ]	794	809
Kinematická viskozita při 20 °C [mm <sup>2</sup> /s]	1,52	3,64
Výhřevnost [MJ/kg]	28,9	33,1
Výparné teplo [MJ/kg]	0,92	0,71
OČMM	89 - 103	80

Na druhé straně má butanol vyšší hustotu; aby butanol-benzínová směs vyhovovala požadavkům na hustotu normy ČSN EN 228, může směs obsahovat maximálně 40 % obj. butanolu. S vyšší hustotou souvisí i vyšší viskozita butanolu; přibližně 10x větší než u benzínu a srovnatelná s naftou. Vyšší hustota palivové směsi může způsobovat problémy při dopravě směsi v palivovém systému – především při nižších teplotách – a nedokonalé spálení směsi ve spalovacím prostoru (palivová směs se vzduchem není homogenní) [37].

Další nevýhodou biobutanolu je výroba; stejně jako u bioetanolu probíhá fermentací; avšak butanol celý proces inhibuje daleko dříve, než etanol (později popsáno v kapitole 4.4.1) – už při 1,5 – 2 % ve fermentované směsi [43].

Obecně však platí, že výhodnější vlastnosti butanolu převažují nad výhodnějšími vlastnostmi etanolu [37].

#### 4.3.5 Bioplyn

Požadavky na bioplyn k užití pro dopravní účely se shodují s požadavky na CNG.

Bioplyn je plynná směs tvořená převážně metanem a CO<sub>2</sub>, které doprovází další stopové prvky; jejich množství a povaha je závislá na zdrojích a způsobu výroby.

Bioplyn je vyráběn zplyňováním biomasy; její původ je z většiny zemědělského původu (rostlinné a živočišné odpady), může jím být ale i komunální odpad (biologického původu), nebo kaly zachycené při čištění vod.

Obvyklé složení bioplynu je následující: 50 – 70 % metanu, 30 – 50 % CO<sub>2</sub>, další složky do 10 % [2].

Další složky bioplynu jsou určeny především zdroji pro výrobu bioplynu. V současné době se počet složek, které se v bioplynu objevují a lze je spolehlivě určit, odhaduje přibližně na 400 – 500. Vesměs se jedná o nežádoucí složky [7].

Jednou z nich je síra a to především ve formě sulfanu. Její zdroje mohou být organické (výskyt ve formě sulfidů) i anorganické (výskyt ve formě síranů).

Dalšími nežádoucími složkami mohou být například halogenové deriváty, nebo křemíkové sloučeniny; tyto se do bioplynu dostávají zpracováním komunálního odpadu.

Poměrně významnou složkou vyskytující se v bioplynu je kyslík; kvalitní plyn by měl obsahovat do 0,1 % objemových kyslíku. Jeho množství je závislé na prostředí, kde je bioplyn vyráběn; větší výskyt kyslíku vykazuje bioplyn skládkový, menší reaktorový, kde se dá výroba také přesněji řídit. Skládkový bioplyn také může vykazovat obsah dusíku – v řádech jednotek procent [7].

Vyrobený bioplyn je dále čištěn; zbavován nežádoucích složek. Pro dopravní účely je čištěn a upravován tak, aby odpovídal požadavkům na zemní plyn.

Z hlediska dopravního využití má bioplyn poměrně malý potenciál. Pro dopravní účely lze využít jen bioplyn vyráběný v reaktorech (skládkový by bylo příliš nákladné čistit a upravovat, pro jeho výrobu navíc nelze použít kalů z čističek vod). Pro splnění dopravních požadavků by bylo třeba bioplyn vyrábět ve větším měřítku ve velkokapacitních stanicích; množství shromažďované biomasy a náklady na její přepravu by však pravděpodobně požadavky neuspokojily [7].

Čištění a úprava vyprodukovaného bioplynu vyžadují další náklady. Konkurenční zemní plyn tedy v porovnání s bioplynem z hlediska ekonomických parametrů vychází výrazně lépe [2].

Potenciál bioplynu tedy tkví především ve výrobě tepla (kogenerační jednotky) a elektřiny [7].

#### *4.3.5.1 Dřevoplyn*

Dřevoplyn je víceméně obdobou bioplynu [7]. Zdrojem výroby dřevoplynu je biomasa ve formě dřeva a dřevního odpadu. Bioplyn je vyráběn anaerobní metanovou fermentací; při výrobě dřevoplynu je do generátorů dodáváno teplo za omezeného přívodu vzduchu.

Dřevoplynová skladba sloučenin je od bioplynové odlišná; hlavními složkami je vodík, CO, metan a CO<sub>2</sub> [2].

Ačkoliv je zplyňování dřeva a spotřeba dřevoplynu poměrně efektivní a spalovací motory nevyžadují razantní zásahy co do úpravy, vyvstává s tímto druhem paliva hned několik problémů.

Vozidla na dřevoplyn musejí být vybavena vlastními generátory. Do generátorů je ukládána biomasa, kterou je třeba zplyňovat. K vozidlu tedy přibývá poměrně rozměrné zařízení a razantně stoupá jeho hmotnost v závislosti na množství biomasy v generátoru.

Zásadním problémem je i zdroj k výrobě dřevoplynu – dřevo – v současnosti komodita, s kterou je třeba nakládat opatrně; pěstování zdrojů dřeva je dlouhodobou záležitostí a jednou z hlavních výhod biopaliva by v současnosti měla být i rychlá obnovitelnost [38].

### 4.3.6 Étery

Étery jsou obecně chemické sloučeniny obsahující v molekule dvojnásobnou skupinu – O –, na kterou navazují 2 uhlovodíkové zbytky; v případě éterů užívaných do směsí motorových paliv, nebo jako paliva samotná, jsou uhlovodíkové zbytky totožné.

#### 4.3.6.1 DME

DME neboli dimethyléter s chemickým vzorcem  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  je nejjednodušším z éterů. Zdrojem jeho výroby je metanol vyráběný ze syntézního plynu (bioplyn, vyráběný na podobném principu jako dřevoplyn – s přísunem tepla).

Jedná se o bezbarvý plyn s jemným zápachem. V současnosti je používán jako hnací plyn v tlakových lahvích; nahradil nebezpečné aerosoly. Ve vzduchu se rozkládá na  $\text{CO}_2$  a vodu.

Sumární vzorec dimethyléteru je totožný se sumárním vzorcem etanolu; totožný je tedy i stechiometrický poměr. Bod varu nastává při teplotě – 24,9 °C. Spalováním dimethyléteru nevznikají téměř žádné pevné částice. Teplota samovznícení dimethyléteru je nižší než u nafty a benzínu, cetanové číslo se pohybuje na hodnotách 55 - 60; díky těmto vlastnostem je vhodný pro využití ve vznětových motorech [1].

Dimethyléter může být jak samostatným palivem, tak přídatným palivem do nafty společně s metanolem; kompenzuje nízké cetanové číslo metanolu, a tedy zlepšuje vlastnosti paliva pro start za studena. Zároveň je spalování dimethyléteru a metanolu poměrně čisté; dimethyléter vykazuje jak minimální, nebo žádné emise pevných částic, tak nižší emise  $\text{NO}_x$  než vykazuje nafta.

Pro využití dimethyléteru jako paliva ve spalovacím motoru je třeba minimálních modifikací palivového systému; u těsnících komponent musí být brán ohled na to, že DME je dobré rozpouštědlo [1].

DME má zároveň vlastnosti podobné LPG a je tedy vhodný k výrobě směsí LPG/DME. Z hlediska bezpečnosti skladování je na tom DME o něco lépe, než LPG; jedná se o stabilní plyn a v případě poruchy skladovacích nádob má menší sklony k výbuchu, je méně hořlavý a minimálně toxický [2].

Díky svým vlastnostem je DME vhodný nejen jako palivo pro spalovací motory, ale i pro plynové turbíny, kotle, nebo jako zdroj vodíku v palivových článcích. Hodí se také pro domácí účely – topení a plynové sporáky; v této oblasti byl poprvé začat používán v Číně [1].

Z ekonomického hlediska se DME může vyrovnat ropným palivům. Náklady na výrobu DME jsou závislé na mnohých proměnlivých faktorech (zdroje a způsob výroby, přeprava) a lze je jen těžko přesně definovat, ale obecně by měl být DME cenově konkurenceschopný.

Celkem vzato má tedy DME poměrně velký potenciál, v současnosti však nenachází v praxi širší využití [1].

#### 4.3.6.2 DEE

DEE neboli dietyléter je svými vlastnostmi velmi podobný DME. Stejně jako DME je užíván ve vznětových motorech ve směsi s naftou; má vysoké cetanové číslo (vyšší než 125) a poměrně nízkou teplotu samovznícení (160 °C).

Stejně jako DME je DEE výborným rozpouštědlem. Zároveň je však silně hořlavý a ve styku se vzduchem vytváří výbušné peroxidy. Je tedy poměrně problematický z hlediska bezpečnosti skladování a nelze ho využít jako samostatné palivo ve spalovacích motorech [2].

#### 4.3.6.3 ETBE a MTBE

Etyl terc-butyl éter a metyl terc-butyl éter; látky v současné době přidávané do benzínových směsí za účelem zvýšení jejich stability. Stejně jako ostatní étery podporují i ETBE a MTBE spalování. Oproti alkoholům mají navíc vyšší výhřevnost, lépe se s benzínem mísí, mají nižší tlak par a působí jako kosolventy. Jako zdroje pro výrobu těchto dvou éterů slouží jejich alkoholy; etanol a metanol.

V současnosti se ve větším množství vyrábí jen ETBE; z hlediska Evropských států především ve Francii, Španělsku a Velké Británii [7].

### 4.4 Výroba biopaliv

Následující kapitoly budou věnovány způsobům výroby biopaliv užívaných v průmyslovém měřítku – bioetanolu a bionafty. Kapitoly se zaměří nejen na způsob výroby, ale i na konkrétní zdroje výroby.

#### 4.4.1 Fermentace

Fermentace je způsob výroby založený na principu lihového kvašení; produktem fermentace je zpravidla bioetanol (stejným způsobem lze vyrábět biobutanol). Podstatou procesu je přeměna cukru enzymy kvasinek na alkohol [7].

Zdroje fermentační výroby se v různých zemích, respektive na různých kontinentech liší; v Evropě je nejrozšířenějším zdrojem cukrová řepa, v Brazílii cukrová třtina, ve Spojených státech kukuřice. Mimo jmenovaných plodin mohou být zdrojem výroby i plodiny jako brambory a obilniny [1],[7].

Suroviny pro výrobu etanolu musí před samotným procesem fermentace absolvovat několik fází předúpravy; ty jsou závislé na původu surovin.

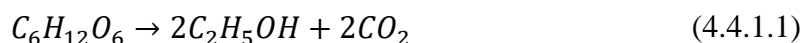
Suroviny spadající do skupiny zdrojů 1. generace biopaliv (cukrová řepa, třtina) jsou z technologického a ekonomického hlediska výhodnější pro zpracování. Suroviny jsou nejprve vhodným způsobem rozmělněny, a ze vzniklé drtě jsou extrahovány přímo cukry. Po těchto 2 fázích předúpravy lze přikročit přímo k fermentaci [7].

Suroviny typu obilovin (včetně kukuřice) procházejí obdobným, respektive o trochu složitějším procesem. Stejně jako předchozí skupina surovin i tyto prochází mechanickou úpravou; nejprve jsou pomlety. Vzniklý prášek je dále zkapalňován a následně prochází procesem zcukernatění;

během těchto dvou fází předúpravy jsou ke škrobovému prášku přidávány amylázové enzymy, které škrob štěpí na jednodušší cukry. Následuje fermentace [2].

Suroviny spadající do skupiny zdrojů 2. generace biopaliv (lignocelulózní) jsou oproti tomu z technologicky-ekonomického aspektu značně složitější záležitostí. Opět je třeba zpočátku mechanické úpravy – rozemletí, drcení. V případě lignocelulózních surovin je potřeba celulózu rozštěpit na cukry a právě toto štěpení je klíčovou fází předúpravy; mimo enzymatické štěpení (užívané u předchozích surovin) lze proces provést i dalšími způsoby (mletí, termická předúprava, parní exploze, biologická hydrolýza, kyselá hydrolýza, ultrazvuk, atd.); každý z nich má své výhody i nevýhody. Obecně však platí, že proces štěpení je finančně i energeticky náročný; v současnosti tedy není běžně využíván a je zatím ve stádiu výzkumu [39].

Samotná fermentace je anaerobně probíhající proces, během něž dochází působením kvasinek k přeměně jednoduchých sacharidů na etanol. Přeměna je popsána v následující rovnici:



Kromě etanolu během kvašení vzniká i  $CO_2$ , jehož další přítomnost je ve fermentačním procesu nežádoucí a který je třeba v průběhu fermentace odčerpávat.

Fermentace ideálně probíhá při teplotách 27 – 32 °C v řádu desítek hodin (zhruba do 36 h.) [7].

Průběh fermentace můžou určité faktory narušit. Jedním z nich je přítomnost vzduchu ve výrobním procesu; ten může mít za následek buď vznik jiných látek, než je etanol (kvasinky kyslík využijí k jejich výrobě), nebo vznik nežádoucích mikroorganismů. Oba jmenované případy mohou nastat jako důsledek technologie a řízení procesu fermentace [7].

Kvasná směs ve chvíli ukončení procesu fermentace obsahuje maximálně 15 % obj. etanolu. Jako inhibitor procesu působí sám etanol; jeho vyšší koncentrace zastavuje další rozvoj kvasinek a tím i celou fermentaci [1].

Bioetanol určený ke spotřebě jako pohonná hmota je po ukončení fermentace dále rafinován – zbaven nežádoucích produktů, které by mohly mít negativní vliv jak na následnou dehydrataci etanolu, tak na palivový systém (ve své finální podobě). Těmito produkty jsou především kyseliny, aldehydy, ketony, a další [7].

Celý proces výroby je završen dehydratací bioetanolu [7].

#### **4.4.2 Transesterifikace triglyceridů**

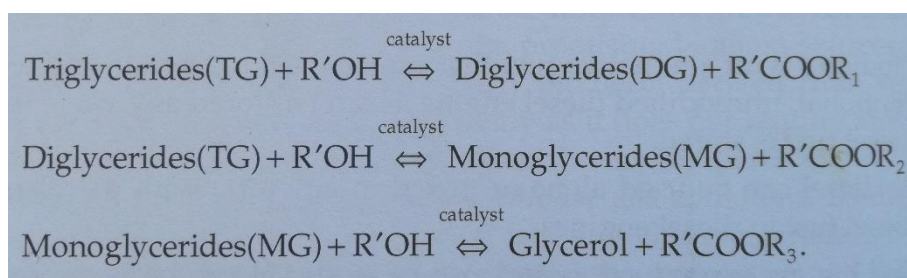
Transesterifikace triglyceridů je proces jehož výstupním produktem je bionafta.

Podstatou transesterifikačního procesu je přeměna triglyceridu a alkoholu za přítomnosti katalyzátoru na metylester mastných kyselin [7].

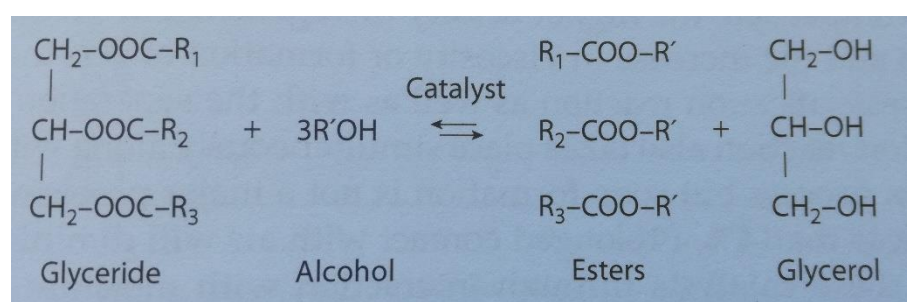
Následující schémata proces popisují (Obrázek 11, Obrázek 12).



Obrázek 11: Tři fáze štěpení triglyceridů [1]



Obrázek 12: Obecná chemická rovnice transesterifikace [1]



Obrázek 11 popisuje fáze průběhu transesterifikace; triglyceridy se postupně ve 3 krocích rozštěpí na 3 estery a glycerol.

Obrázek 12 popisující chemickou rovnici transesterifikace obsahuje členy  $R_1$ ,  $R_2$  a  $R_3$ ; ty zastupují dlouhé uhlovodíkové řetězce mastných kyselin; ty jsou navázány na glycerol. Člen  $R'$  představuje uhlovodíkový radikál (obvykle metyl, etyl, nebo butyl – reagujícím produktem je tedy metanol, etanol, nebo butanol). Množství alkoholu přítomného v reakci musí být vztaženo na triglycerid; minimální poměr je tedy 3:1, v praxi je ale alkoholu do reakce přiváděno více, aby došlo k dokonalé přeměně triglyceridu na estery. Transesterifikace je vratným procesem [1].

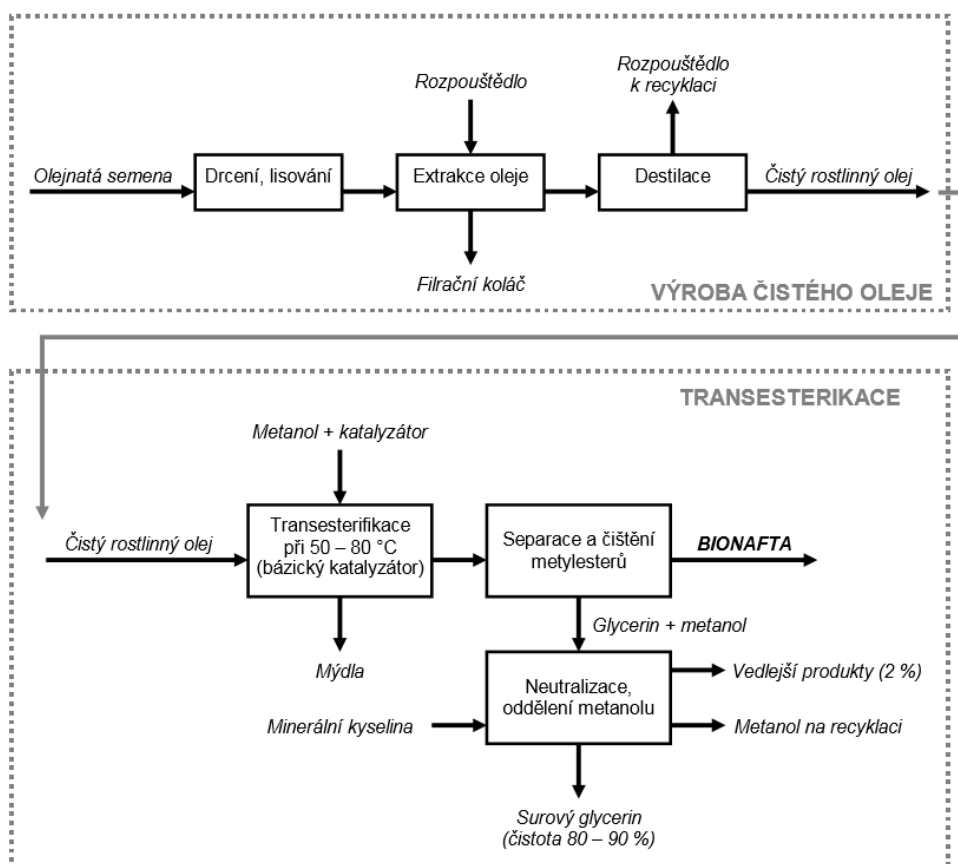
Reagující triglyceridy jsou součástí lipidů. To jsou buď rostlinné oleje (např. slunečnicový, řepkový, sójový), nebo živočišné tuky (např. rybí tuk, vepřové sádlo, nebo hovězí lůj). V současnosti nejrozšířenějším zdrojem výroby bionafty však zůstávají rostlinné oleje; především olej z řepky olejné.

Stavba řetězců mastných kyselin obsažených v triglyceridech, jejich délka a případně množství dvojných vazeb definují chemické a fyzikální vlastnosti vzniklé bionafty.

Jako katalyzátor reakce pak obvykle působí hydroxid sodný, nebo draselný [7].



Obrázek 13: Schéma procesu výroby bionafty [7]



Obrázek 13 představuje schéma výroby esterů potažmo bionafty; v tomto případě se jedná o konkrétní reakci s metanolem (vzniklým produktem je metylester), který je nejpoužívanějším alkoholem v procesu transesterifikace.

Kromě esterů mastných kyselin obsahuje výsledná směs i glycerol, stopy mýdel a zbytků alkoholu a mastných kyselin. Tyto nežádoucí látky je třeba separovat; směs tedy dále prochází procesem oddělení glycerolu, destilací (čištění od metanolu, který lze znovu použít při dalších reakcích) a promývání vodou (čištění od zbytků katalyzátoru a mýdel) [7].

Na závěr této kapitoly je nutno dodat, že teoreticky by bylo možné užít purifikovaný rostlinný olej do vznětových motorů bez dalších úprav. V praxi ovšem narážíme na řadu problémů, jako je velká viskozita olejů, nízké cetanové číslo a s tím související vyšší emise uhlovodíkových zbytků a NO<sub>x</sub>. Tyto problémy byly indikovány i u směsí olejů a nafty.

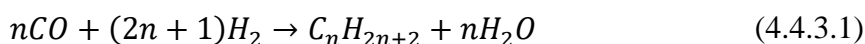
#### 4.4.3 Fischer-Tropschova syntéza

Dosud se kapitola týkající se výroby biopaliv zabývala především metodami výroby biopaliv 1. generace (pozn.: fermentaci lze aplikovat na výrobu biopaliv 1. i 2. generace). Tato kapitola se věnuje metodě, která má potenciál pro výrobu biopaliv 2. generace.

Fischer-Tropschova syntéza (jak z názvu vyplývá) je proces, při kterém dochází k syntéze CO a H<sub>2</sub> za přítomnosti kovového katalyzátoru (obvykle Fe, Co) – výsledkem jsou dlouhé uhlovodíkové řetězce. Zdrojem těchto 2 látek je v současnosti především zemní plyn. F-T syntéza není novou metodou; už ve 20. letech 19. století s ní přišli 2 němečtí vědci; Fischer a Tropsch [1].

Proces výroby paliv F-T syntézou probíhá ve 3 krocích [1], [7]:

- Procesem **zplyňování** je nejprve z CO a H<sub>2</sub> vyroben syntézní plyn.
- Následuje **uhlovodíková (F-T) syntéza**; syntézní plyn prochází přeměnou a výsledkem je směs kapalných uhlovodíkových produktů (ve formě alkanů, alkenů, jednodušších alkoholů a dalších) a produktů typu parafinů, olefinů. Chemickou reakci popisuje rovnice 4.4.3.1 (vznik alkanů); jedná se o reakci exotermickou. Teplota, za které reakce probíhá, se v závislosti na typu katalyzátoru pohybuje mezi 200 – 240 °C (Fe) a 300 – 350 °C (Co).
- Závěrečné úpravy a zkvalitňování paliva **hydrokrakováním**.



Jak bylo dříve uvedeno; F-T syntéza je v současnosti užívána především pro tvorbu syntetických paliv GTL (Gas to Liquids) ze zemního plynu. Potenciál pro výrobu biopaliv 2. generace tkví v aplikaci F-T syntézy jako procesu výroby syntetických paliv z biomasy; tato paliva pak mohou nést označení BTL (Biomass to Liquids) – jedná se především o syntetickou motorovou naftu [39].

Před samotným procesem F-T syntézy je třeba syntézní plyn zbavit sloučenin síry, která se váže na CO; jednak kvůli ochraně katalytických látek (ty jsou samy o sobě vůči síře odolné) a tedy zdokonalení procesu přeměny, jednak kvůli redukci emisí SO<sub>2</sub> [1].

Přestože se F-T syntéza jeví jako perspektivní způsob výroby alternativních paliv, není v současnosti komerčně využívána – stále je ve stádiu výzkumu a výzkumných projektů [39].

## 4.5 Budoucí vývoj

Budoucí vývoj biopaliv lze z hlediska času rozdělit na krátkodobý a dlouhodobý pohled. Krátkodobý pohled nabízí konkrétní představy v rámci příštích několika let - z hlediska vývoje biopaliv samotných i legislativních kroků, která užívání biopaliv podporují. Dlouhodobý pohled pak může nabídnout výhledový vývoj biopaliv v delším časovém rámci (desítky let), kdy v současnosti poměrně oblíbeným biopalivům a spalovacím motorům mohou konkurovat jak jiná paliva, tak jiné technologie pohonů automobilů.

### 4.5.1 Krátkodobý vývoj

Jak bylo již dříve zmíněno, podporu biopalivům projevují především vyspělé státy; mezi nejvýznamnější podporovatele se řadí státy Evropské Unie, které v rámci celku spolupracují na legislativních krocích do budoucna – především ty totiž z pohledu krátkodobého vývoje pomáhají biopalivům uplatnit se na trhu.

V ČR v současnosti probíhá víceletý program podpory uplatnění biopaliv vypracovaný Ministerstvem zemědělství. Program je definován pro období let 2015 – 2020. Předchozí program, který probíhal v letech 2010 – 2015 byl vypracován na základě cílů definovaných Evropskou komisí v roce 2008. Tyto cíle byly následující:

- Redukce emisí GHC: obecně se emise skleníkových plynů snižují, průzkum konkrétních sektorů však odhaluje, že v oblasti sektoru dopravního se emise GHC naopak zvyšují; politiku v oblasti biopaliv a snižování emisí je v budoucnu potřeba zaměřit především na tento sektor.
- Zajištění dodávek: doprava je sektorem stále maximálně závislým na dovozu ropy. Z energeticko-politické roviny je to situace nestabilní až nebezpečná; bezpečnost a stabilitu by měla zajistit právě rozmanitost a dostupnost biopaliv na trhu.
- Zaměstnanost: z hospodářského pohledu je výroba biopaliv nesporným přínosem; skýtá podporu zemědělské produkce a zaměstnanosti v okrajových lokalitách vhodných pro zemědělskou produkci (venkov, země třetího světa).

Stejně jako předchozí i tento program je budován na základě směrnice 2003/96/ES (týkající se zdanění energetických produktů a elektřiny), díky které lze u obnovitelných zdrojů energie – tedy v tomto případě biopaliv – snížit daň, nebo je od ní zcela osvobodit.

Cílem by mělo do roku 2020 být snížení emisí GHC o 6 %, a podíl biopaliv a obnovitelné elektřiny by měl tvořit 10 % energetického obsahu celkové spotřeby energií v dopravním sektoru [45].

Bude kladen důraz především na snížení GHC (od roku 2017 by biopaliva měla vykazovat alespoň o 50 % vyšší úsporu emisí GHC) a tedy vyvíjen tlak na dodavatele pohonných hmot – snížení emisí je míněno komplexně a týká se i technologie výroby a zdrojů biopaliv. Z tohoto hlediska může ke snížení emisí vést například využití zbytkové a odpadní biomasy.

S ohledem na snižování emisí GHC jsou a budou zpřísnovány i požadavky na konstrukci palivových systémů vozidel (především na délku a způsob vstříku, způsob spalování a dalších technických prvků, jejichž implementace vede ke snížení emisí GHC), a technické normy definující požadavky na kvalitu paliv [45].

Ohledně zdrojů byl v ČR vypracován Akční plán pro biomasu na období 2012 -2020, z kterého vyplývá, že ČR bude soběstačná jak v oblasti zajištění zdrojů biopaliv (v množství dle zmíněných požadavků), tak v zajištění potravinových zdrojů [45].

Podpora a nutnost širšího zavádění biopaliv na trh s sebou přirozeně nese řadu problémů a rizik.

Tato začínají již u zdrojů – na produkci zdrojů biopaliv je třeba určité množství zemědělské půdy. V rámci rozšiřování výroby biopaliv je možné, že zvětšování této zemědělské půdy bude probíhat na úkor půdy určené pro produkci potravinových zdrojů a zalesněných oblastí. V tomto ohledu by pak mohlo paradoxně dojít ke zvýšení cen potravin a emisí z výrobního řetězce biopaliva.

Technickým problémem je pak zpracování zdrojů biopaliv 2. generace - konkrétně úpravy biomasy lignocelulózního původu. A právě ta se jeví jako velice perspektivní řešení co se týče zdrojů – využít lze lignocelulózní odpad ze zemědělské a průmyslové výroby [45].

Celkový důraz je kladen na emise vznikající nejen spalováním, ale i výrobou biopaliv; emise jsou tedy ovlivněny mnoha faktory, včetně podmínek pro pěstování zdrojů biopaliv.

Příkladem zdůrazňujícím důležitost podmínek pro pěstování zdrojů biopaliv je například Brazílie. Biopaliva – konkrétně bioetanol je podstatnou součástí užívaných paliv, konkurenceschopný i bez daňových úlev. Brazílie se začala na biopaliva orientovat po první ropné krizi (1973) a využila jedinečných podmínek vlhkého a teplého podnebí, které významně přispívají k pěstování cukrové třtiny.

V závislosti na příznivých podmínkách pěstování, potažmo vyšší produkce plodin pro výrobu biopaliv se tedy může stát, že tyto plodiny budou pěstovány mimo Evropský kontinent, což odporuje jednomu z cílů EU ohledně biopaliv – EU nebude soběstačná [44].

Tyto a další rizika jsou však stále únosnější v porovnání s riziky a problémy spojené s ropnými produkty. Na technologiích výroby a pěstování zdrojů biopaliv pracují výzkumná a vědecká střediska, která do budoucna jistě přijdou s dalšími inovacemi a odstraní tak dosavadní problémy [44].

#### **4.5.2 Dlouhodobý vývoj**

Jak bylo dříve zmíněno – největším problémem týkajícím se užívání biopaliv je nesporně zdroj. V případě, že by se přešlo zcela na biopaliva, představuje pěstování zdrojů biopaliv poměrně zásadní problém. Na Zemi v současnosti žije 7 miliard lidí a i lidé z nejhudších zemí jsou zvyklí užívat automobilovou dopravu. Produkce tedy představuje zásadní problémy typu jídlo versus palivo a nedostatek místa obecně.

Tento problém by mohla vyřešit biopaliva 3. generace – oleje získávaná z mořských řas. Mořské řasy by bylo nutno pěstovat na vodních plochách, tzn. nezabíraly by zemědělskou půdu. Další významnou výhodou je množství produkovaného oleje. V Tabulce 4 je pro porovnání vypsáno množství oleje v litrech získaného na jednotku zemědělské produkce [1].

Problémem mořských řas je jejich citlivost; mnoho i málo slunečního svitu řasy hubí, stejně tak jako příliš velká plošná koncentrace řas (omezení růstu). Růst a produkci řas významně ovlivňuje i množství srážek (vliv na pH daného místa), koncentrace odpadních produktů řas (je třeba je neustále odvádět) a další faktory. V průmyslovém měřítku by výroba vyžadovala velkou péči a vysoké náklady [1].

Dlouhodobý vývoj biopaliv určených pro spalovací motory samozřejmě bude ovlivněn i technologií pohonu vozidel. Ve hře jsou z hlediska dlouhodobého výhledu v současnosti nejen spalovací motory, ale i elektricky poháněná vozidla a palivové články.

Co se týče spalovacích motorů, bylo již téměř vše uvedeno; jejich účinnost se maximálně pohybuje kolem 40 % a tomu tak pravděpodobně bude i nadále; alternativním řešením je zcela tyto motory s menšími modifikacemi převést na biopaliva. Případné výhody a nevýhody byly zmíněny již dříve v této práci.

Tabulka 4: Produkce oleje v závislosti na hektaru pěstované plodiny [1]

<b>Plodina</b>	<b>Produkce oleje v litrech na hektar</b>
Slunečnice	952
Sója	446
Kokosovník	2689
Řasa	100 000

Elektricky poháněná vozidla jsou poměrně mladým fenoménem, s kterým se v praxi již setkat lze – obvykle ve formě hybridních vozidel, která lze provozovat jak na pohon spalovacím motorem, tak na pohon elektrický. Výhodou tohoto druhu pohonu jsou nulové přímé emise GHC a dalších nežádoucích látek (nepřímé se odrazí na výrobě elektrické energie) a tichý chod motoru.

V současnosti však převažují především nevýhody – dlouhé nabíjení vozidel, krátká dojezdová vzdálenost, omezený výkon v případě přepravy větších hmotností. To jsou hlavní problémy, se kterými je do budoucna třeba se vypořádat; a nejen tyto. Vlastnosti elektricky poháněných vozidel vytvářejí na veřejnosti špatnou reklamu; o vozy z hlediska komerčního využití není zájem [1].

Palivové články jsou naproti tomu v současnosti velmi diskutované téma; jedná se o elektrochemické články, jejichž palivem je vodík. Účinnost takových článků se v současnosti pohybuje kolem 50 %, v budoucnu by se měla posunout za hranici 60 %. Palivové články stejně jako elektricky poháněná vozidla neemitují do ovzduší škodliviny; výstupními produkty chemických reakcí v palivovém článku jsou voda a teplo. Ve srovnání s elektricky poháněnými vozidly mají výrazně vyšší dojezdovou vzdálenost, vysokou životnost a poměrně krátkou dobu doplnění paliva [1].

Problémem palivových článků je však výroba vodíku; bez větších nákladů jej lze extrahovat z ropných paliv – tato politika však neodpovídá cílům do budoucna. Další metodou je například extrakce z biopaliv (např. biometan) nesoucí s sebou problémy pěstování zdrojů a výroby biopaliv, nebo elektrolýza, jejíž komerční využití by v příštích dekádách bylo příliš nákladné a palivové články by tak byly z hlediska ekonomiky nekonkurenceschopné.

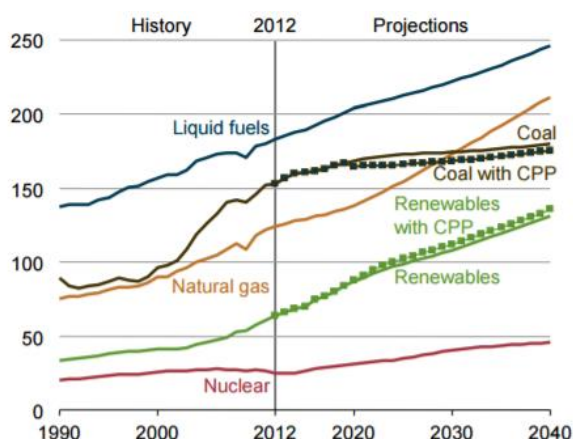
Přestože se toto téma jeví jako velice zajímavé a mnoho autorů akademických a vědeckých článků a prací se k této alternativě kloní jako ke konečnému řešení pohonů, zdá se, že v praxi

tato alternativa v příštích dekádách využití ve znatelném měřítku nenajde. Výroba vodíku na úrovni komerčního využití je složitá. Další překážkou je pak síť čerpacích stanic, reklama a distribuce vozů mezi zákazníky; tyto a další kroky pro zavedení palivových článků do praxe mohou zabrat desítky let [46].

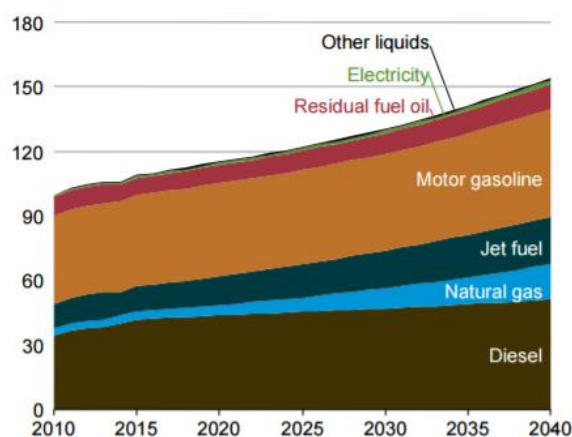
## 5 ALTERNATIVNÍ PALIVA V GLOBÁLNÍM MĚŘÍTKU

Tato kapitola se bude věnovat spotřebě alternativních paliv a množství jejich výroby v celosvětovém měřítku. Pro lepší představu jsou v této kapitole zahrnuty především okomentované grafy.

Graf 1: Světová spotřeba zdrojů energie (v biliardách Btu) [48]



Graf 2: Světová spotřeba paliv pro dopravní účely (v biliardách Btu) [48]



Grafy 1 a 2 představují světovou spotřebu jednotlivých druhů paliv; jedná se o souhrn minulých let a prognózu do budoucna (rok 2040). Z obou grafů je patrné, že celosvětová spotřeba paliv bude dále růst.

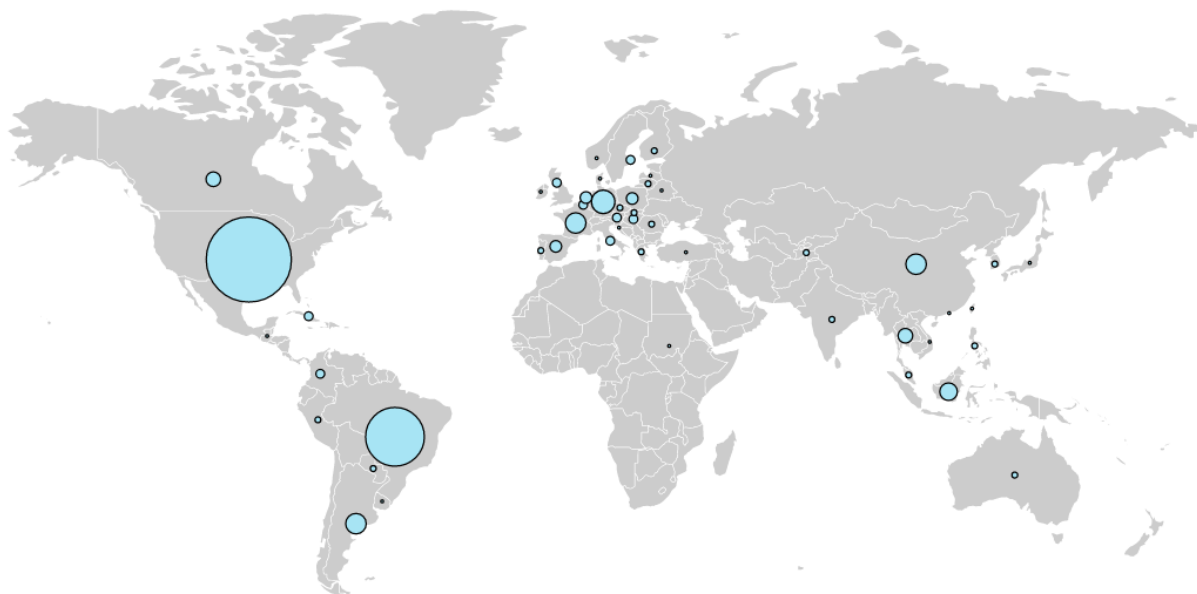
Z grafu 1 lze vyvodit, že největší spotřeba se bude nadále týkat kapalných paliv; poměrně strmý vzrůst spotřeby by pak do budoucna měla zaznamenat obnovitelná paliva (vyznačena zelenou barvou).

Graf 2 se konkrétně věnuje spotřebě paliv v dopravním sektoru; přestože trendem současnosti je odklánět se od ropných produktů jako hlavních palivových zdrojů, graf napovídá, že nejužívanějšími palivy v budoucích letech budou nadále motorové benzíny a nafta (v grafu jsou pod tyto paliva zařazeny benzín-alkoholové směsi a bionafta). Jejich podíl na celkové spotřebě paliv by měl však klesnout z 96 % (2012) na 88 % (2040). Naopak rostoucí podíl na spotřebě vykazuje zemní plyn – z 3 % (2012) na 11 % (2040) celkové spotřeby paliv v dopravě [48].

Z hlediska biopaliv jsou pak zajímavé následující grafy (3 a 4).

Z grafu 3 je patrné, že největšími producenty biopaliv jsou Spojené státy (921 tisíc barelů za den) a Brazílie (423 tisíc barelů za den). Dále za nimi jsou větší Evropské země – Německo (65 tisíc barelů za den) a Francie (58 tisíc barelů za den). Česká republika (6 tisíc barelů za den) má pak srovnatelné množství denní produkce se státy jako Velká Británie, Itálie, Rakousko, Finsko, Maďarsko, nebo Portugalsko (mezi 6 – 8 tisíci barely denně) [48].

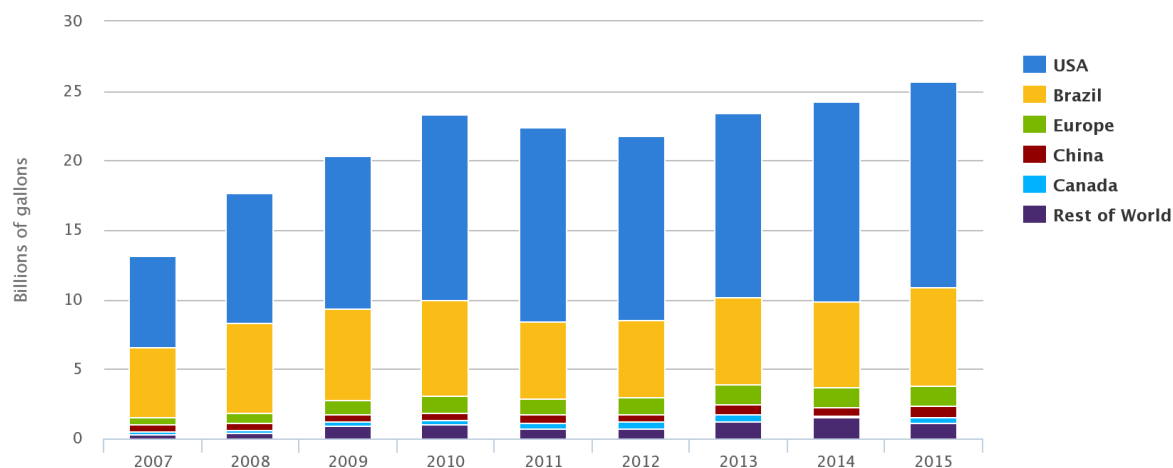
Graf 3: Produkce biopaliv v jednotlivých zemích za rok 2012 [48]



Mimo Evropské státy, USA a Brazílii jsou významnějšími producenty také Kanada a Argentina (32 a 53 tisíc barelů denně). V oblasti Asie pak ve výrobě biopaliv dominuje především Čína (49 tisíc barelů denně), Indonésie (35 tisíc barelů denně) a Thajsko (25 tisíc barelů denně) [48].

Graf 4 je konkrétně zaměřen na produkci etanolu; potvrzuje dominanci USA a Brazílie jako předních výrobců biopaliv. Zajímavý je i vzrůst produkce etanolu v Evropě pravděpodobně související s Evropskou legislativou [47].

Graf 4: Světová produkce etanolu [47]

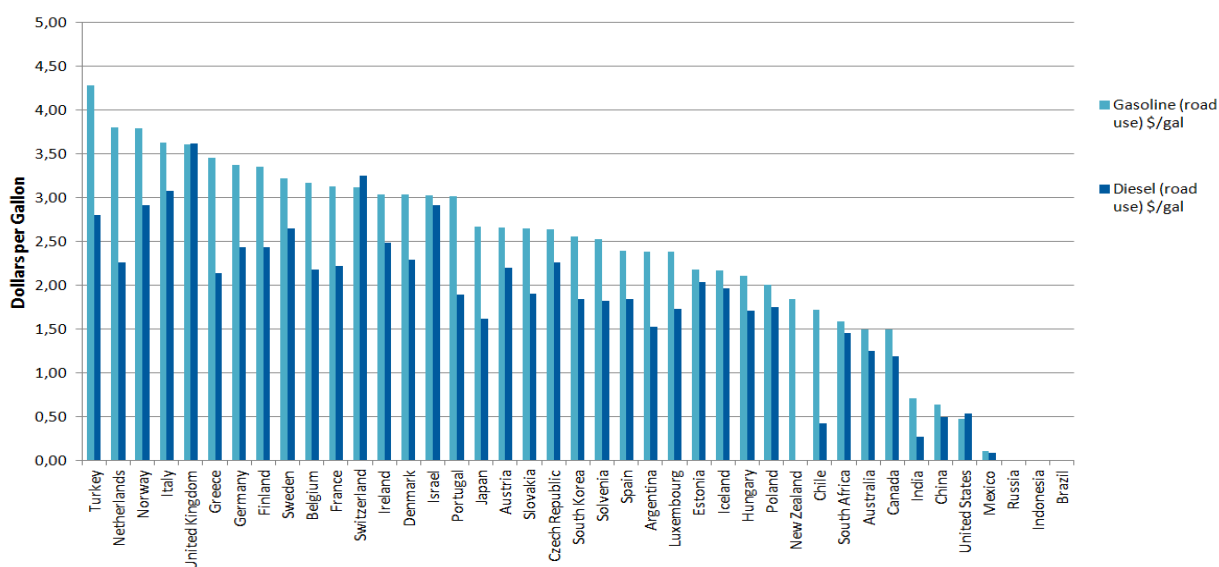




Jak bylo dříve uvedeno – spotřeba paliv obecně poroste; tento růst bude závislý především na vývoji asijských zemí, konkrétně Číny a Indie. V těchto zemích rapidně roste počet obyvatel a v závislosti na tomto jevu bude narůstat i spotřeba paliv. V Indii například budou do roku 2040 51 % celkové dopravy tvořit osobní automobily – tento jev bude závislý na počtu obyvatel střední společenské třídy [48].

Zajímavostí je daňové zpoplatnění benzínu a nafty v jednotlivých zemích, které může rovněž ovlivňovat množství spotřebovaných alternativních paliv v jednotlivých zemích. Spotřební daň na tyto paliva je znázorněna v grafu 5 [47].

Graf 5: Spotřební daň na paliva ve vybraných zemích [47]



Zásadní vliv mezi spotřební daní a spotřebou alternativních paliv lze vyloučit; jak je patrné z grafu 5, Brazílie, jeden z největších producentů a konzumentů biopaliv nemá pro benzín ani naftu zavedena daňovou sazbu. Stejně tak Velká Británie s poměrně vysokou daňovou sazbou na běžná paliva obsazuje spíše dolní příčky v množství produkce a spotřeby alternativních paliv v porovnání s ostatními Evropskými zeměmi.

## 6 ZÁVĚR

Alternativní paliva jsou v současnosti velmi diskutované téma. Příčin této pozornosti je více; hlavními z nich jsou především snižující se zásoby ropy, politicko-ekonomická (ne)závislost a ekologie. Je tedy třeba jednat s alternativou, která je schopná nahradit v současnosti nejužívanější ropná paliva (nafta, benzín) v takovém měřítku, aby dokázala pokrýt požadavky uživatelů pohonných hmot. Z pohledu politicko-ekonomického je zde potřeba jednotlivých států vytvořit si nezávislost na politicky a názorově nestabilních zemích blízkého východu, na

jejichž území se nachází převážná část ložisek ropy. Politické kroky těchto zemí ovlivňují globální ekonomickou situaci a politické interakce vyspělých zemí.

Poslední a neméně důležité téma dneška jsou ekologické aspekty využívání paliv v dopravě; v současnosti palčivé téma, jehož význam narůstá úměrně s rostoucí populací na zemi, vykazující vyšší emise skleníkových plynů a dalších odpadních látek s nepříznivým dopadem jak na životní prostředí, tak na lidský organismus. V této oblasti jsou významně diskutovaným prvkem biopaliva; ta vykazují snížené emise nejen při své přímé spotřebě, ale i v rámci celého výrobního cyklu, kdy při produkci samotných zdrojů biopaliv dochází ke spotřebě skleníkových plynů.

Tato práce je tedy sepsána na základě dostupných literárních zdrojů a objasňuje problematiku alternativních paliv určených pro spalovací motory. Zvláště se věnuje především biopalivům, která jsou zajímavá nejen z hlediska obnovitelnosti zdrojů, ale i z hlediska množství emisí škodlivých látek.

Ze znalostí nabitých během psaní této práce tedy mohu na závěr shrnout své následující poznatky:

- Alternativním palivům fosilního původu v budoucnu odzvoní.

Důležitým parametrem pro volbu alternativy za benzín a naftu je obnovitelnost zdrojů. Alternativy v podobě zemního plynu, LPG a vodíku vyrobeného ze zemního plynu mají řadu výhod; vykazují nízké emise, jejich zdroje jsou obvykle doprovodným produktem při těžbě ropy, a s výjimkou vodíku s nimi lidé mají zažitou zkušenost a v praxi se pohybuje velká část vozů určená právě ke spotřebě NG a LPG. Problémem je však právě neobnovitelnost zdrojů a není vyřešena ani nezávislost na státech blízkého východu. Dvě ze tří hlavních kritérií definující ideální alternativu nejsou splněna.

- Otázkou současnosti je pěstování zdrojů biopaliv.

Kritickým bodem tématu biopaliv, která se jinak jeví jako velmi perspektivní alternativa, je pěstování jejich zdrojů. Lépe řečeno, množství produkce bude omezeno plochou, na které lze tyto zdroje pěstovat. Zvětšování produkce pak může probíhat na úkor snižování produkce potravinových zdrojů. Obecným problémem v tomto bodu je vysoká poptávka a otázkou tedy zůstává schopnost biopaliv tuto poptávku pokrýt.

- Konkurence spalovacích motorů v podobě palivových článků.

Z mého pohledu jsou alternativní paliva do spalovacích motorů spíše dočasným řešením. Neobnovitelnost alternativních paliv fosilního původu a omezenost produkce zdrojů biopaliv jsou problémy, které lidstvo zjevně vyřešit nedokáže. V tomto bodě je jediná schůdná alternativa vodík; než ve spalovacích motorech by však mohl být daleko efektivněji využitý v palivových článcích. Ty ovšem představují běh na dlouhou trať, nejen z hlediska dalšího výzkumu technologie ale především z hlediska implementace do praxe.

Alternativní paliva do spalovacích motorů proto budou významnou komoditou minimálně v průběhu příštích dekád.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] RAMADHAS, Arumugam S. *Alternative fuels for transportation*. 1st ed. Boca Raton, FL: CRC Press, c2011. ISBN 978-143-9819-579.
- [2] BABU, M. K. Gajendra. a K. A. SUBRAMANIAN. *Alternative transportation fuels: utilisation in combustion engines*. 1st ed. Boca Raton: Taylor, 2013. ISBN 978-143-9872-819.
- [3] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5.
- [4] International Energy Outlook 2016. In: *U.S. Energy Information Administration* [online]. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration, 2016 [cit. 2016-10-14]. Dostupné z: [http://www.eia.gov/pressroom/presentations/sieminski\\_05112016.pdf](http://www.eia.gov/pressroom/presentations/sieminski_05112016.pdf)
- [5] Primary Energy Consumption by Source and Sector, 2012. In: *U.S. Energy Information Administration* [online]. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration, 2012 [cit. 2016-10-14]. Dostupné z: [http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/flow/primary\\_energy.pdf](http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/flow/primary_energy.pdf)
- [6] *Petroleum.cz* [online]. Praha: Ústav technologie ropy a alternativních paliv (Vysoká škola chemicko-technologická), c2010-2016 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/index.aspx>
- [7] ŠEBOR, Gustav, Milan POSPÍŠIL a Jan ŽÁKOVEC. Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě 1. část. In: *Ministerstvo dopravy* [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze - Fakulta technologie ochrany prostředí, 2006 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: [http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoekonomicka\\_analyza\\_vhodnych\\_alternativnich\\_paliv\\_v\\_dopravecast\\_1.pdf](http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoekonomicka_analyza_vhodnych_alternativnich_paliv_v_dopravecast_1.pdf)
- [8] Propan butan v podobě LPG - Původ a specifika. In: *Šlápní na plyn* [online]. Písek: Australské autodíly a aditiva, 2016 [cit. 2016-11-18]. Dostupné z: <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/propan-butan-v-podobe-auto-plynu-lpg-specifika.htm>
- [9] Nádrže LPG. *LPG Profi* [online]. Praha: GasInsight, 2016 [cit. 2016-11-24]. Dostupné z: <https://www.lpgprofi.cz/nadrze-lpg>
- [10] MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 3. vyd. Praha: Prometheus, 1995. Pomocné knihy pro žáky (Prometheus). ISBN 80-858-4984-4.
- [11] Nádrže CNG. *LPG Profi* [online]. Praha: GasInsight, 2016 [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <https://www.lpgprofi.cz/nadrz-cng>
- [12] BMW hydrogen engine reaches top level efficiency. In: *PressClub USA* [online]. Westwood Lake: BMW Group, 2009 [cit. 2016-12-19]. Dostupné z: [https://www.press.bmwgroup.com/usa/article/detail/T0020216EN\\_US/](https://www.press.bmwgroup.com/usa/article/detail/T0020216EN_US/)

- [13] LEE, Sunggyu. a Yatish T. SHAH. *Biofuels and bioenergy: processes and technologies*. Boca Raton, FL: Taylor, 2012. ISBN 978-142-0089-554.
- [14] *Biofuels - the fuel of the future* [online]. 2010 [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <http://biofuel.org.uk/>
- [15] Škoda Octavia G-tec, skutečná spotřeba. *Úsporně.info* [online]. 2016 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.usporne.info/268-skoda-octavia-g-tec-opravdu-usporne-auto/>
- [16] Novela zrušila plošný zákaz parkování v podzemních garážích vozidel na plyn – CNG i LPG. *Úsporně.info* [online]. 2016 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.usporne.info/472-zakaz-parkovani-v-podzemnich-garazich-vozidel-na-plyn-cng-lpg/>
- [17] *Forum.valka.cz* [online]. Nelahozeves: Občanské sdružení válka.cz, 2015 [cit. 2017-02-02]. Dostupné z: [https://forum.valka.cz/?utm\\_source=valka\\_cz&utm\\_medium=forum&utm\\_campaign=topmenu](https://forum.valka.cz/?utm_source=valka_cz&utm_medium=forum&utm_campaign=topmenu)
- [18] Válka v Iráku. *Novinky.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, 2017 [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <https://tema.novinky.cz/valka-v-iraku>
- [19] Únik z vrtu v Mexickém zálivu je druhou největší ropnou zkázou dějin. *IDNES.cz* [online]. Praha: MAFRA, 2017 [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: [http://zpravy.idnes.cz/unik-z-vrtu-v-mexickem-zalivu-je-druhou-nejvetsi-ropnou-zkazou-dejin-12m-/zahranicni.aspx?c=A100803\\_142651\\_zahranicni\\_stf](http://zpravy.idnes.cz/unik-z-vrtu-v-mexickem-zalivu-je-druhou-nejvetsi-ropnou-zkazou-dejin-12m-/zahranicni.aspx?c=A100803_142651_zahranicni_stf)
- [20] Hurikán Katrina zasáhl pobřeží Louisiany. *BBC Czech.com* [online]. Londýn: BBC, 2017 [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: [http://www.bbc.co.uk/czech/worldnews/story/2005/08/050829\\_us\\_hurricane\\_1225.shtml](http://www.bbc.co.uk/czech/worldnews/story/2005/08/050829_us_hurricane_1225.shtml)
- [21] BERMAN GROUP a RADIM ŠPAČEK CONSULTING. Legislativní rámec a praxe v oblasti biopaliv v EU a USA. In: *OSEL.CZ* [online]. Telč: Osel, 2012 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: [http://www.osel.cz/\\_files/6688\\_biopaliva%20v%20eu%20a%20usa.pdf](http://www.osel.cz/_files/6688_biopaliva%20v%20eu%20a%20usa.pdf)
- [22] Renewable energy: White Paper laying down a Community strategy and action plan. In: *EUR-Lex* [online]. Brusel: Evropská komise, 1997 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=uriserv:l27023>
- [23] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2003/30/ES ze dne 8. května 2003 o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě*. Brusel: Evropský parlament a Rada Evropské Unie, 2003.
- [24] *SMĚRNICE RADY 2003/96/ES ze dne 27. října 2003, kterou se mění struktura rámcových předpisů Společenství o zdanění energetických produktů a elektřiny*. Brusel: Evropská rada, 2003.
- [25] Švédští vědci chtějí ze slámy vyrábět bioplyn. *Česká bioplynová asociace* [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace, 2013 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/aktuality/svedsti-vedci-chteji-ze-slamy-vyrabet-bioplyn.html>

- [26] Did you know? *National Geographic* [online]. Tampa: National Geographic Society, 2016 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://ngm.nationalgeographic.com/2007/10/biofuels/did-you-know-learn>
- [27] *Energy Policy Act of 2005*. Washington: Kongres Spojených států amerických, 2005.
- [28] *Green Fuel* [online]. Edinburgh: Green Fuel, 2015 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.greenfuel.co.zw/>
- [29] SINGH, Bharat P. *Biofuel crops: production, physiology, and genetics* [online]. 1. Fort Valley: CABI, 2013 [cit. 2017-02-06]. ISBN 978-184-5938-857. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=Bp10AZ\\_g2IsC&oi=fnd&pg=PA1&dq=alcohol+agriculture+dynakol&ots=TUIPITBRwh&sig=b46WeyZhwaVYzZn-SUf32UCGf7Q&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=Bp10AZ_g2IsC&oi=fnd&pg=PA1&dq=alcohol+agriculture+dynakol&ots=TUIPITBRwh&sig=b46WeyZhwaVYzZn-SUf32UCGf7Q&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [30] Historie. *Biopaliva frčí* [online]. Praha: CZ Biom – České sdružení pro biomasu, 2017 [cit. 2017-02-06]. Dostupné z: <http://biopalivafrci.cz/co-jsou-to-biopaliva/historie/>
- [31] *Zákon o povinném mísení lihu s pohonnými látkami*. In: . Praha: Národní shromáždění republiky Československé, 1932, ročník 1932, číslo 85.
- [32] *Vládní nařízení, kterým se provádí zákon ze dne 7. června 1932, č. 85 Sb. z. a n., o povinném mísení lihu s pohonnými látkami*. In: . Praha: Vláda republiky Československé, 1932, ročník 1932, číslo 127.
- [33] *Zákon o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů*. In: . Praha: Parlament ČR, 2006, ročník 2006, číslo 311.
- [34] *Zákon o ochraně ovzduší*. In: . Praha: Parlament ČR, 2012, ročník 2012, číslo 201.
- [35] *Nářízení vlády o kritériích udržitelnosti biopaliv*. In: . Praha: Vláda ČR, 2012, ročník 2012, číslo 351.
- [36] Oil Crisis of 1973 in the USA. *Vintage every day* [online]. 2017 [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: <http://www.vintag.es/2012/02/oil-crisis-of-1973-in-usa.html>
- [37] MUŽÍKOVÁ, Zlata, Jaroslav KÁŇA, Milan POSPÍŠIL a Gustav ŠEBOR. Fyzikálně-chemické vlastnosti butanol-benzinových směsí. *Chemické listy* [online]. 2012, **2012**(106), 5 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012\\_11\\_1049-1053.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012_11_1049-1053.pdf)
- [38] Wood gas vehicles: firewood in the fuel tank. *LOW-TECH MAGAZINE* [online]. Kris De Decker, 2012 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.lowtechmagazine.com/2010/01/wood-gas-cars.html>
- [39] KRÁTKÝ, Lukáš a Tomáš JIROUT. *Moderní trendy předúprav biomasy: pro intenzifikaci výroby biopaliv druhé generace*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05720-9.
- [40] Fuel blends. *ePURE - european renewable ethanol* [online]. Brusel: ePURE, 2017 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://epure.org/about-ethanol/fuel-market/fuel-blends/>
- [41] ROBERTS, Matthew C. E85 and fuel efficiency: An empirical analysis of 2007 EPA test data. *Energy policy* [online]. 2008, **2008**(36), 3 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S030142150700496X>

- [42] TÁLSKÝ, Miloslav. *Hodnocení parametrů vznětového motoru provozovaného na biopalivo*. Brno, 2014. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.
- [43] VLADIMÍR, Hönig, Kotek MARTIN, Orsák MATYÁŠ a Hromádka JAN. Využití biobutanolu v zážehových motorech. *Listy cukrovarnické a řepařské* [online]. 2015, **2015**(131), 5 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: [http://www.cukr-listy.cz/on\\_line/2015/PDF/311-315.pdf](http://www.cukr-listy.cz/on_line/2015/PDF/311-315.pdf)
- [44] Biopaliva mají před sebou slibnou budoucnost. *Odborné časopisy* [online]. Praha: FCC Public, 2017 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/biopaliva-maji-pred-sebou-slibnou-budoucnost--10336>
- [45] *Víceletý program podpory dalšího uplatnění udržitelných biopaliv v dopravě na období 2015 - 2020* [online]. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2014 [cit. 2017-02-18].
- [46] Future fuel cell and internal combustion engine automobile technologies: A 25-year life cycle and fleet impact assessment. *Energy* [online]. 2006, **2006**(31), 25 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0360544205001854>
- [47] *Alternative fuels data centre* [online]. Washington: U.S. Department of Energy, 2017 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.afdc.energy.gov>
- [48] *U.S. Energy Information Administration* [online]. Washington: U.S. Department of Energy, 2017 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.eia.gov/>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1: Válcová (vlevo) a toroidní (vpravo) nádrž  
Obrázek 2: Zákaz vjezdu CNG, LPG  
Obrázek 3: Zákaz vjezdu LPG - garáže Galerie Butovice  
Obrázek 4: Nádrž na CNG  
Obrázek 5: Spalovací motor na vodíkové palivo – BMW  
Obrázek 6: Sláma - lignocelulózní zdroj  
Obrázek 7: Ropné embargo v USA - rok 1973  
Obrázek 8: Ford model T  
Obrázek 9: VW Brouk - masově vyráběné vozidlo na dřevoplyn během 2. Světové války  
Obrázek 10: Počet stanic disponujících palivem E85 – Evropa  
Obrázek 11: Tři fáze štěpení triglyceridů  
Obrázek 12: Obecná chemická rovnice transesterifikace  
Obrázek 13: Schéma procesu výroby bionafty

## SEZNAM TABULEK

- Tabulka 1: Procentuální složení LPG v jednotlivých zemích  
Tabulka 2: Hodnoty biodegradace různých látek  
Tabulka 3: Vybrané vlastnosti bioetanolu a biobutanolu  
Tabulka 4: Produkce oleje v závislosti na hektaru pěstované plodiny

## SEZNAM GRAFŮ

- Graf 1: Světová spotřeba zdrojů energie (v biliardách Btu)  
Graf 2: Světová spotřeba paliv pro dopravní účely (v biliardách Btu)  
Graf 3: Produkce biopaliv v jednotlivých zemích za rok 2012  
Graf 4: Světová produkce etanolu  
Graf 5: Spotřební daň na paliva ve vybraných zemích