



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## SYNTETICKÁ PALIVA

SYNTHETIC FUELS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Pitoňák

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

BRNO 2022



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Adam Pitoňák**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.**  
Akademický rok: 2021/22

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

### Syntetická paliva

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

Zpracovat přehled možností aplikace syntetických paliv pro spalovací motory jako alternativy fosilních paliv.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Popsat výrobu a vlastnosti syntetických paliv jako alternativy fosilních paliv.

Zhodnotit úsporu skleníkových plynů oproti konvenčním palivům.

Zhodnotit potenciál a perspektivy syntetických paliv v období přechodu na obnovitelné zdroje energie.

**Seznam doporučené literatury:**

LI, H., TAN, Y., DITARANTO, M., YAN, J., YU, Z. Capturing CO<sub>2</sub> from biogas plants. Energy Procedia 2017;114:6030e5. [https:// doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1738](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1738).

XIAO, Y., YUAN, H., PANG, Y., CHEN, S., ZHU, B., ZOU, D., et al. CO<sub>2</sub> removal from biogas by water washing system. Chin J Chem Eng 2014;22:950e3. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2014.06.001>.

BRUNETTI, A., SCURA, F., BARBERI, G., DRIOLI, E. Membrane technologies for CO<sub>2</sub> separation. J Membr Sci 2010;359:115e25. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2009.11.040>.

DENG, L., HAGG, M. Techno-economic evaluation of biogas € upgrading process using CO<sub>2</sub> facilitated transport membrane. Int J Greenh Gas Control 2010;4:638e46. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2009.12.013>.

PELLEGRINI, LA., DE GUIDO, G., CONSONNI, S., BORTOLUZZIB, G., GATTI, M. From biogasto biomethane: how the biogas source influences the purification costs. Chem Eng Trans 2015;43:409e14. <https://doi.org/10.3303/CET1543>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Bakalárska práca na tému „Syntetické palivá“ si dáva za cieľ priblížiť čitateľovi problematiku syntetických palív a možnosti ich aplikácie pre spaľovacie motory ako alternatívy klasických palív pochádzajúcich z fosílnych zdrojov. Prvá časť práce je zameraná na predstavenie a rozdelenie jednotlivých palív podľa počiatočnej suroviny. Následne sú vlastnosti syntetických palív porovnávané s bežne využívanými fosílnymi palivami. Práca sa takisto zaoberá porovnaním ekvivalentu emisií jednotlivých palív na jednotku dodanej tepelnej energie motoru. Vďaka modelu uvedenom v práci tak potom možno porovnať objem ekvivalentu emisií CO<sub>2</sub> na jeden prejdený kilometer. Záver tejto práce zhrňuje výsledky porovnania syntetických palív oproti konvenčným palivám spolu s perspektívami takejto formy paliva do budúcnosti.

## KLÚČOVÉ SLOVÁ

biopalivá, bioalkoholy, biodiesel, pyrolýza, Fischer-Tropschova syntéza, emisie

## ABSTRACT

The bachelor's thesis on the topic "Synthetic fuels" aims to introduce the reader to the issue of synthetic fuels and the possibilities of their application for internal combustion engines as alternatives to the conventional fuels derived from fossil sources. The first part of the work is focused on the introduction and division of synthetic fuels according to primary raw material. Subsequently, the properties of the fuels are compared with commonly used fossil fuels. The thesis also deals with the comparison of the equivalents of the emissions of individual synthetic fuels per unit of thermal energy supplied to the engine. Thanks to the model presented in the thesis, it is possible to compare the amount of CO<sub>2</sub> equivalent per driven kilometre. The conclusion of this work summarizes the result of the comparison of synthetic fuels with prospects of such fuel in the future.

## KEYWORDS

biofuels, bioalcohols, biodiesel, pyrolysis, Fischer-Tropsch synthesis, emissions

## BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

PITONÁK, A. *Syntetická paliva*. Brno, 2022. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Václav Pištek. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140647>.



## ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc. a s použitím informačných zdrojov uvedených v zozname.

V Brne dňa 20. mája 2022

.....

Adam Pitoňák

## POĎAKOVANIE

Touto cestou by som rád poďakoval vedúcemu predkladanej bakalárskej práce, pánovi prof. Ing. Václavovi Píštěkovi, DrSc. za jeho venovaný čas, odborné rady a pripomienky. Moje poďakovanie takisto patrí mojej rodine a všetkým kto ma podporil a poskytol mi oporu počas môjho štúdia.



# OBSAH

Úvod .....	11
<b>1 Syntetické palivá .....</b>	<b>12</b>
1.1 História syntetických palív .....	12
1.2 Syntetické palivá a súčasnosť .....	13
1.3 Delenie syntetických palív .....	14
1.4.1 Delenie podľa skupenstva .....	14
1.4.2 Delenie podľa pôvodu primárnych surovín .....	14
<b>2 Syntetické palivá organického pôvodu (biopalivá) .....</b>	<b>15</b>
2.1 Rozdelenie syntetických palív organického pôvodu .....	15
2.2 Syntetické palivá organického pôvodu prvej generácie .....	16
2.2.1 Bioalkohol prvej generácie .....	16
2.2.2 Rastlinné oleje a Biodiesel .....	17
2.3 Syntetické palivá organického pôvodu druhej generácie .....	19
2.3.1 Bioalkoholy druhej generácie .....	19
2.3.2 Biodiesel druhej generácie .....	20
2.4 Syntetické palivá organického pôvodu tretej generácie .....	20
2.4.1 Termochemicky spracované palivá tretej generácie .....	21
2.4.2 Biochemicky spracované palivá tretej generácie .....	22
2.4.3 Biodiesel tretej generácie .....	23
<b>3 Syntetické palivá iného pôvodu .....</b>	<b>24</b>
3.1 Palivá vyrábané Fischer-Tropschovou syntézou .....	24
3.2 Pyrolýzne palivá .....	25
3.2.1 Pyrolýzny olej .....	25
3.2.2 Pyrolýzny plyn .....	25
<b>4 Porovnanie fyzikálnych vlastností palív .....</b>	<b>26</b>
4.1 Porovnanie vlastností syntetických palív organického pôvodu .....	26
4.1.1 Porovnanie vlastností bioalkoholov .....	26
4.1.2 Porovnanie vlastností biodieselov .....	27
4.2 Porovnanie vlastností palív iného pôvodu .....	28
4.2.1 Porovnanie vlastností pyrolýznych palív .....	28
4.2.2 Porovnanie vlastností palív vyrábaných Fischer-Tropschovou syntézou .....	28
4.3 Zhodnotenie vlastností syntetických palív .....	29
<b>5 Porovnanie emisií syntetických palív .....</b>	<b>30</b>
5.1 GREET Model .....	30
5.2 Porovnanie ekvivalentu emisií CO <sub>2</sub> syntetických palív na MJ energie .....	30
5.2.1 Porovnanie ekvivalentu emisií CO <sub>2</sub> bioalkoholov .....	30
5.2.2 Porovnanie ekvivalentu emisií CO <sub>2</sub> biodieselov .....	31
5.2.3 Porovnanie ekvivalentu emisií CO <sub>2</sub> palív vyrábaných Fischer-Tropschovej syntézou .....	32
5.2.4 Porovnanie ekvivalentu emisií CO <sub>2</sub> pyrolýznych palív .....	33
5.3 Porovnanie ekvivalentu emisií CO <sub>2</sub> palív na prejdený 1 km .....	34
5.3.1 Parametre porovnávacieho modelu .....	34

---

5.3.2	Výpočet energie potrebnej na prejsenie 1 km .....	35
5.3.3	Výpočet tepelnej energie paliva potrebnej na prejsenie 1 km .....	36
5.3.4	Hodnoty ekvivalentov emisií CO <sub>2</sub> bioalkoholov .....	37
5.3.5	Hodnoty ekvivalentov emisií CO <sub>2</sub> biodieselov .....	37
5.3.6	Hodnoty ekvivalentov emisií CO <sub>2</sub> palív vyrobených pomocou Fischer-Tropschovej syntézy.....	38
5.3.7	Hodnoty ekvivalentov emisií CO <sub>2</sub> pyrolýznych palív.....	38
5.4	Zhodnotenie ekvivalentov emisií CO <sub>2</sub> syntetických palív.....	39
<b>Záver .....</b>		<b>40</b>
<b>Použité informačné zdroje.....</b>		<b>42</b>
<b>Zoznam použitých skratiek a symbolov.....</b>		<b>47</b>

## ÚVOD

Svetová závislosť na využívaní fosílnych palív začína byť z pohľadu ekológie čoraz väčší problém. Postupné znižovanie dostupných zásob týchto zdrojov tlačí ich cenu strmo nahor. Ich využívanie však vytvára nebezpečné emisie skleníkových plynov, ktoré významnou mierou prispievajú k fenoménu známemu ako globálne otepľovanie. Predovšetkým v oblasti dopravy, kde sa pre tieto účely využívajú hlavne ropné produkty, z ktorých sú najvýznamnejšie motorová nafta a benzín. Tieto palivá dokázali razantným spôsobom zmeniť spôsob akým sa dokážeme presúvať z jedného miesta na druhé. V súčasnosti ich podiel tvorí 90 až 96 percent využívanej energie v doprave [1]. Masové využívanie týchto zdrojov energie však nepriaznivo ovplyvňuje ovzdušie, do ktorého unikajú produkty spaľovania týchto látok, poškodzujúce ovzdušie a životné prostredie.

V snahe pokúsiť sa o zmiernenie týchto dopadov sa medzi spoločnosťou čoraz viac začína rozprávať o syntetických palivách ako potenciálnej náhrade fosílnych palív. Výrobcovia vyzdvihujú ekologický prínos týchto palív, nakoľko pri ich výrobe a používaní vzniká razantne menšia uhlíková stopa. Syntetické palivá, na rozdiel od tých fosílnych, sú vo veľkej časti prípadov nezávislé od nálezísk ropy a zemného plynu čo umožňuje ich lokálnu výrobu. Tento fakt môže pozitívne ovplyvniť hospodársky a priemyselný rozvoj viacerých lokalít s čím súvisí aj tvorba nových pracovných príležitostí. Pri lokálnej výrobe syntetických palív navyše odpadajú emisie spojené s ich dopravou, čo sa pozitívne premietne do celkovej uhlíkovej stopy produkcie týchto palív, a zároveň tento spôsob výroby palív dokáže zvýšiť energetickú nezávislosť regiónov.

# 1 SYNTETICKÉ PALIVÁ

Syntetické palivá sú pohonné hmoty, ktoré nepochádzajú zo surovín ropného pôvodu. Tieto palivá vznikajú alternatívnymi spôsobmi výroby a dokážu plnohodnotným spôsobom zastúpiť tradičné palivá (benzín, motorová nafta). [2]. Motiváciou pre prechod k syntetickým palivám sa hlavne stali emisné normy a nezávislosť takýchto palív na rope od ropných veľmocí. Vo všeobecnosti platí že počas celkového cyklu syntetických palív, od výroby až po využitie v motore, sa vytvára menšie množstvo škodlivých látok. V prípade ekvivalentu emisií CO<sub>2</sub> sa pri porovnaní celkového cyklu niektorých syntetických palív s palivami ropného pôvodu môže jednať až o 50 percentný rozdiel v hodnotách [3].

## 1.1 HISTÓRIA SYNTETICKÝCH PALÍV

Mohlo by sa zdať, že syntetické palivá sú produktom posledných rokov kedy sa v spoločnosti začalo viac diskutovať o škodlivých dôsledkoch masového používania fosílnych palív, predovšetkým v automobiloch a energetike. Skutočnosť je však taká, že prvé palivo, ktoré možno nazývať syntetickým bolo vytvorené už v roku 1792 škótskym inžinierom Williamom Murdochom ktorý destiláciou uhlia získal uhoľný plyn, následne tento plyn využíval k osvetleniu svojho domu. Vďaka tomuto objavu bolo možné, aby sa v Londýne ako v prvom meste už v roku 1812 objavilo prvé verejné osvetlenie využívajúce práve plyn získaný týmto procesom [4].

Tento systém osvetlenia sa postupne ujal vo viacerých svetových metropolách, predovšetkým v Európe a Spojených štátoch Amerických. Objav veľkých nálezísk ropy a zemného plynu v prvej polovici dvadsiateho storočia však spôsobili, že takéto syntetické palivá sa stali nerentabilnými v porovnaní s fosílnymi palivami.

Výroba syntetického paliva pre motorové vozidlá však nemá až tak dlhú históriu ako syntetický plyn pre osvetľovanie ulíc. Ako priekopník sa v tejto oblasti považuje Friedrich Karl Rudolph Bergius, ktorý spolu s jeho spolupracovníkmi vynašli Bergiusov proces, vďaka ktorému je možné vyrábať syntetické uhl'ovodíky pomocou hydrogenizácie hnedého uhlia. Na základe tohto objavu bol v roku 1931 spolu s Carlom Boschom vyznamenaný Nobelovou cenou za chémiu. Na podobných experimentoch pracovali v tej dobe viacerí uznávaní vedci, medzi ktorých patrili Franz Fischer a Hanz Tropsch, ktorí prišli s Fischer–Tropschovou syntézou, jedným z najpoužívanejších procesov pri výrobe syntetických palív. Už v roku 1939 práve vďaka spomínaným objavom sa v Nemecku dokázalo vyrobiť 4 milióny litrov syntetického benzínu ročne. Počas Druhej svetovej vojny bola výroba syntetických palív pre armádu značne rozšírená, v čase najväčšieho rozmachu dokázal tento priemysel vyrobiť 16 miliónov litrov syntetického paliva ročne. Po Druhej svetovej vojne však záujem o synteticky vytvárané palivá upadol, nakoľko dostupnosť lacnej ropy a zemného plynu umožňovali výrobu konvenčných palív oveľa lacnejšie [4].

V období studenej vojny to vyzeralo, že technológia výroby syntetických palív nebude potrebná, väčšina krajín vyspelého sveta sa spoliehala na ľahko dostupné náleziská ropy a zemného plynu. Avšak, v roku 1973 sa táto téma vynorila znova na povrch po tom čo OPEC využil svoju moc a zámerne znížil prísun ropy pre dosiahnutie svojich politických cieľov. Práve vďaka tejto udalosti sa zase otvorila debata o synteticky vyrábaných palivách hlavne v krajinách bohatých na uhlie (Nemecko, Spojené štáty Americké, Južná Afrika) [4].

V nasledujúcich rokoch sa znova objavili ropné krízy (1979, 1990, 2004, 2008), ktoré boli prevažne spôsobené ropnými veľmocami pri presadzovaní ich záujmov [5]. Tieto udalosti posilnili záujem spoločnosti o synteticky vyrábané palivá, predovšetkým kvôli zaisteniu stabilných zásob paliva nezávisle od dodávok ropy z ropných veľmocí.



Obr 1. Historický vývoj cien ropy v období 1970 až 2020 [6]

## 1.2 SYNTETICKÉ PALIVÁ A SÚČASNOŠŤ

V súčasnej situácii sme svedkami prudkého zdražovania ropy a ropných produktov, predovšetkým však pohonných hmôt, ktoré sú pre zdravý chod ekonomiky nevyhnutnosťou [7]. Pri súčasnom tempe rastu životnej úrovne obyvateľstva možno predpokladať nárast množstva a koncentrácie osobných automobilov poháňaných predovšetkým konvenčnými palivami o 50 až 100 percent [1]. Navyše masová prevádzka vozidiel na konvenčné palivá spôsobuje vypúšťanie veľkého množstva skleníkových plynov do ovzdušia. Tieto plyny majú negatívny dopad na ovzdušie a životné prostredie miest.

Pre tieto dôvody sa vlády jednotlivých štátov snažia znižovať množstvo vypúšťaných plynov ako aj emisie z výroby palív pre motorové vozidlá. Európska únia sa snaží byť na čele krajín bojujúcich s týmto problémom, preto už v roku 1990 si stanovila za cieľ znížiť emisie skleníkových plynov o 30 percent do roku 2020 [3]. Viaceré renomované európske spoločnosti veria v budúcnosť syntetických palív a samé začali pracovať na svojich verziách nízko emisných syntetických palív, ktoré by mohli v budúcnosti nahradiť palivá vyrábané z ropy [8]. Medzi týmito spoločnosťami sa nachádzajú aj niektorí z veľkých hráčov v oblasti automobilového priemyslu, ako príklad možno uviesť firmu Audi, ktorá svoje palivá už úspešne otestovala a pracuje na tom, aby tieto palivá mohli byť implementované pre použitie v bežnej prevádzke automobilov čo najskôr [9]. Nielen firma Audi, ale aj firma Koenigsegg známa svojimi hyperšportovými autami sa pohráva s myšlienkou prechodu z konvenčných palív na tie syntetické, dôkazom čoho je aj vyvíjané palivo pod názvom Vulcanol, s ktorým sa firma snaží zachovať spaľovacie motory v bežnej premávke [10]. Takto vyvíjané palivá sú vyrábané výlučne z obnoviteľných zdrojov energie, spoločnosti tak počítajú s ich dlhodobou udržateľnosťou.



Obr. 2. Vzorka syntetického paliva od firmy Audi s názvom „e-benzín“ [9]

### 1.3 DELENIE SYNTETICKÝCH PALÍV

Existuje mnoho spôsobov, akým je možné rozdeliť syntetické palivá. Najčastejšie používané delenie syntetických palív ich delí podľa skupenstva, často používané je aj delenie podľa použitých primárnych surovín pre výrobu palív. Pre potreby tejto práce je hlavné delenie podľa pôvodu primárnej suroviny.

#### 1.4.1 DELENIE PODĽA SKUPENSTVA

Syntetické palivá vhodné pre využitie ako náhrada konvenčných palív sa môžu vyskytovať iba v dvoch skupenstvách: kvapalnom alebo plynnom, respektíve doteraz nie je známe žiadne syntetické palivo v tuhom skupenstve, ktoré by bolo možné využiť pre pohon automobilu.

- Kvapalné palivá: syntetická nafta, bionafta, bio alkoholy, pyrolýzne oleje
- Plynné palivá: bioplyn, pyrolýzny plyn

#### 1.4.2 DELENIE PODĽA PÔVODU PRIMÁRNYCH SUROVÍN

Pri tomto delení syntetických palív možno rozlišovať palivá vyrábané z organických alebo anorganických primárnych surovín:

- Palivá vyrábané zo surovín organického pôvodu
- Palivá vyrábané zo surovín iného pôvodu

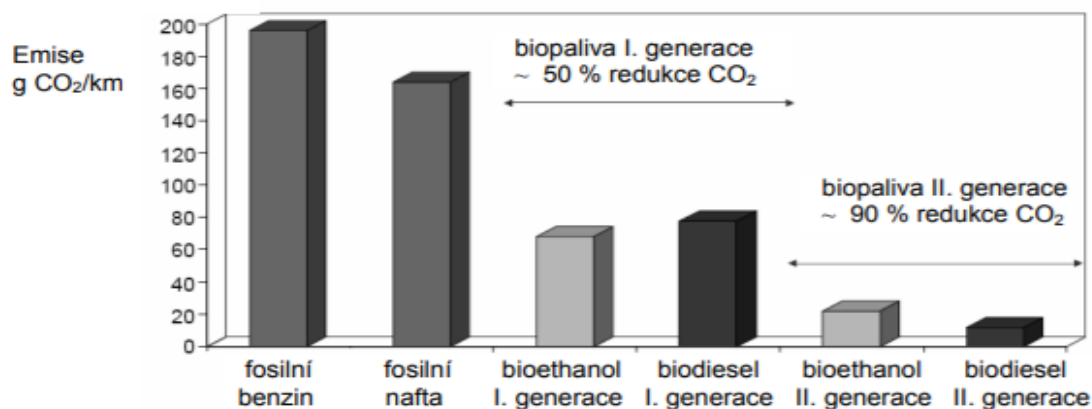
Pyrolýzne palivá nemožno presne zaradiť do žiadnej z uvedených kategórií, nakoľko týmto procesom možno spracovať suroviny ako s organickým (biomasa), tak aj anorganickým (plasty, pneumatiky a pod.) pôvodom.

## 2 SYNTETICKÉ PALIVÁ ORGANICKÉHO PÔVODU (BIOPALIVÁ)

Definícia Organizácie spojených národov z roku 2008 definuje biopalivá ako: „Syntetické palivá vyrábané z materiálu organického pôvodu, ktoré môžu byť využité ako náhrada palív na základe ropných produktov“ [11]. Biopalivá sú palivá, ktoré získavame cieľenými výrobnými procesmi z plne obnoviteľnej organickej hmoty [12]. Energia ukrytá v tejto hmote má svoj pôvod prevažne zo slnečného žiarenia a následných procesov, z ktorých je najvýznamnejší proces výroby glukózy z vody a oxidu uhličitého, tiež známy pod pojmom fotosyntéza.

Na výrobu biomasy možno využiť širokú škálu surovín biologického pôvodu, najčastejšie sa však jedná o energetické plodiny pestované práve za týmto účelom. Odpad organického pôvodu, či už pochádza z poľnohospodárskej, domácej alebo priemyselnej oblasti môže byť taktiež využitý k výrobe tejto zložky [13]. Tieto palivá predstavujú jeden z najperspektívnejších alternatívnych zdrojov energie využiteľných k pohonu vozidiel.

Pri porovnaní vlastností syntetických palív organického pôvodu a palív vyrábaných z ropných produktov nie sú badateľné výrazné rozdiely. Základným stavebným prvkom oboch typov palív sú uhľovodíky.



Obr 3. Potenciál znižovania emisií CO<sub>2</sub> pomocou biopalív prvej a druhej generácie [3]

### 2.1 ROZDELENIE SYNTETICKÝCH PALÍV ORGANICKÉHO PÔVODU

Vo väčšine odborných príspevkov sa biopalivá zvyknú deliť podľa takzvaných „generácií“. Tieto „generácie“ nie sú pevne stanovené žiadnymi predpismi. Jednotlivé „generácie“ biopalív sa od seba líšia predovšetkým surovinami potrebnými k výrobe palív a využívanými technologickými procesmi spracovania týchto surovín na použiteľné palivo [14]. V tejto práci sú biopalivá rozdelené do troch kategórií:

- Syntetické palivá organického pôvodu prvej generácie – k ich výrobe sa využívajú predovšetkým cukornaté a olejnaté plodiny.
- Syntetické palivá organického pôvodu druhej generácie – tento typ palív možno vyrábať z nestráviteľných celulózových a lignocelulózových (drevný odpad) surovín, ako aj z poľnohospodárskeho odpadu.
- Syntetické palivá organického pôvodu tretej generácie – pre výrobu tohto typu palív sa využívajú predovšetkým rýchlorastúce rastliny ako napríklad sinice a riasy

## 2.2 SYNTETICKÉ PALIVÁ ORGANICKÉHO PŮVODU PRVEJ GENERÁCIE

Táto skupina syntetických palív je najstaršou skupinou syntetických palív. Procesy, ktoré sa využívajú pri výrobe týchto palív sú známe už dlhšie obdobie. Základnou charakteristikou syntetických palív prvej generácie je ich vstupná surovina. K výrobe týchto palív sa využívajú špecifické časti rastliny, najmä však plody poľnohospodárskych plodín pestovaných výhradne za týmto účelom. Sacharidy, nachádzajúce sa v týchto plodinách, sa pomocou fermentácie menia na alkoholy [14].

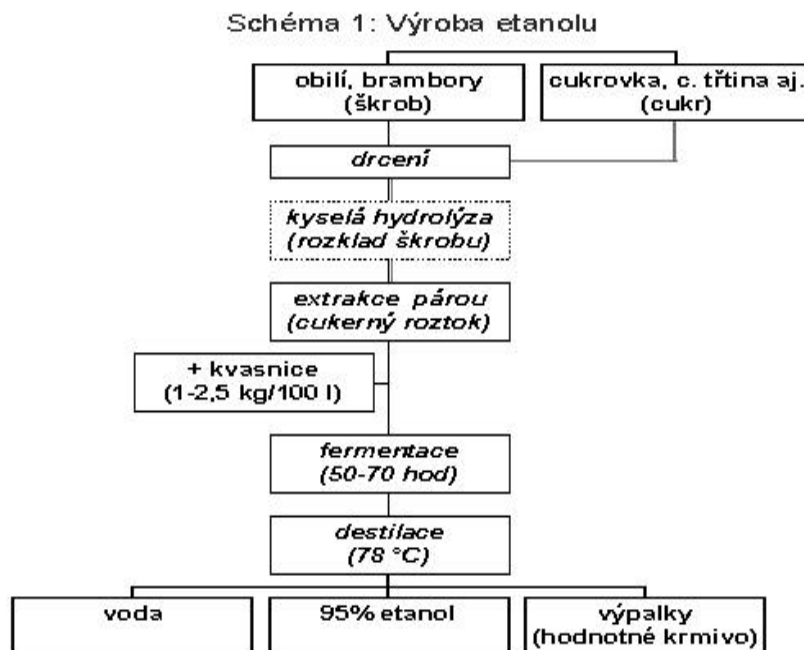
Z pohľadu komerčného využitia je prvá generácia tou najrozšírenejšou a najpoužívanejšou skupinou biopalív. Tento fakt je možné pripísať hneď niekoľkým faktorom. Pre výrobu tohto typu paliva sú potrebné najmenšie vstupné investície. Procesy, ktorými sa tieto palivá môžu vyrábať sú jednoduché a známe (fermentácia, lisovanie olejov)[3].

Medzi charakteristických predstaviteľov biopalív prvej generácie patria :

- Bio alkoholy (bioetanol , biobutanol a pod.) vyrábané z plodín bohatých na cukry
- Rastlinné oleje(repkový,palmový,sójový a pod.) a ERO (estery rastlinných olejov)

### 2.2.1 BIOALKOHOL PRVEJ GENERÁCIE

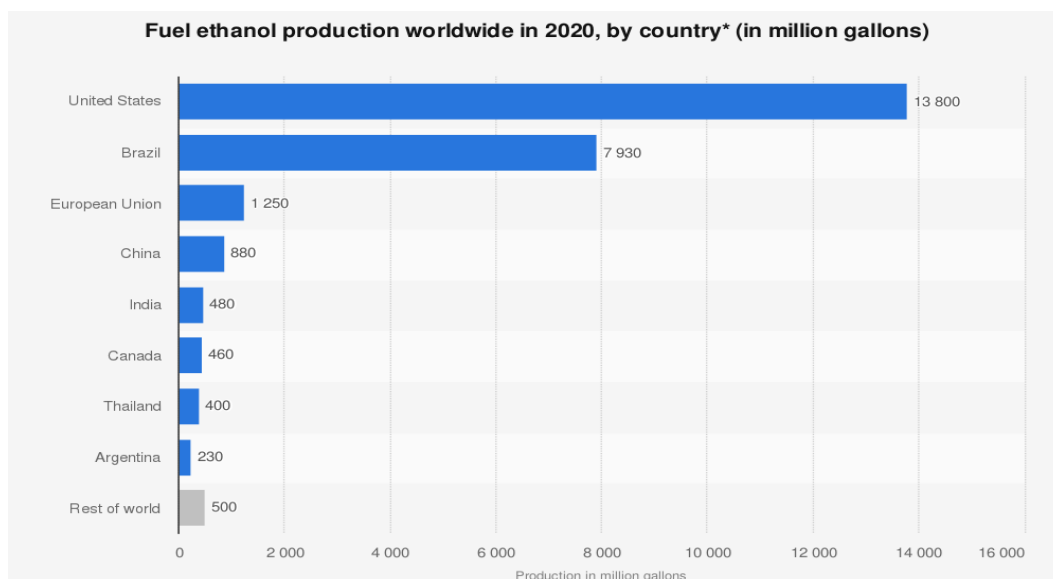
Bioalkoholy, využívané ako palivo motorových vozidiel, sú najrozšírenejšie alternatívne palivá zo všetkých. Napomáhajú tomu jednoduché procesy potrebné k výrobe bioalkoholu, dostupnosť potrebných surovín a prudké výkyvy cien ropy [3]. Predovšetkým sa jedná o bioetanol, vyrábaný z plodín bohatých na cukry.



Obr. 4. Bloková schéma výroby bioetanolu [16]



V porovnaní s konvenčnými palivami sú chemické a fyzikálne vlastnosti najjednoduchších foriem bioalkoholov veľmi podobné automobilovým benzínom, vykazujú však nižšiu dymivosť pri prevádzke motora [16]. Už v súčasnej dobe existuje rozvinutý priemysel zaoberajúci sa výrobou etanolu ako paliva pre vozidlá. V grafe môžeme vidieť najväčších výrobcov bioetanolu:



Obr. 5. Graf zobrazujúci najväčších svetových výrobcov bioetanolu [17]

Medzi prvými štátmi, ktoré začali používať etanol ako palivo v celospoločenskom meradle bola Brazília. K ráznemu kroku ju dovedla ropná kríza v roku 1973 a náhle zníženie cien cukru v roku 1974. Brazílska vláda následne prijala opatrenia, vďaka ktorým došlo k takému rozmachu etanolu ako paliva pre motorové vozidlá, že už v roku 1979 boli automobily určené pre brazílsky trh kompletne prispôbené pre prevádzku na čistý etanol lokálneho pôvodu [18].

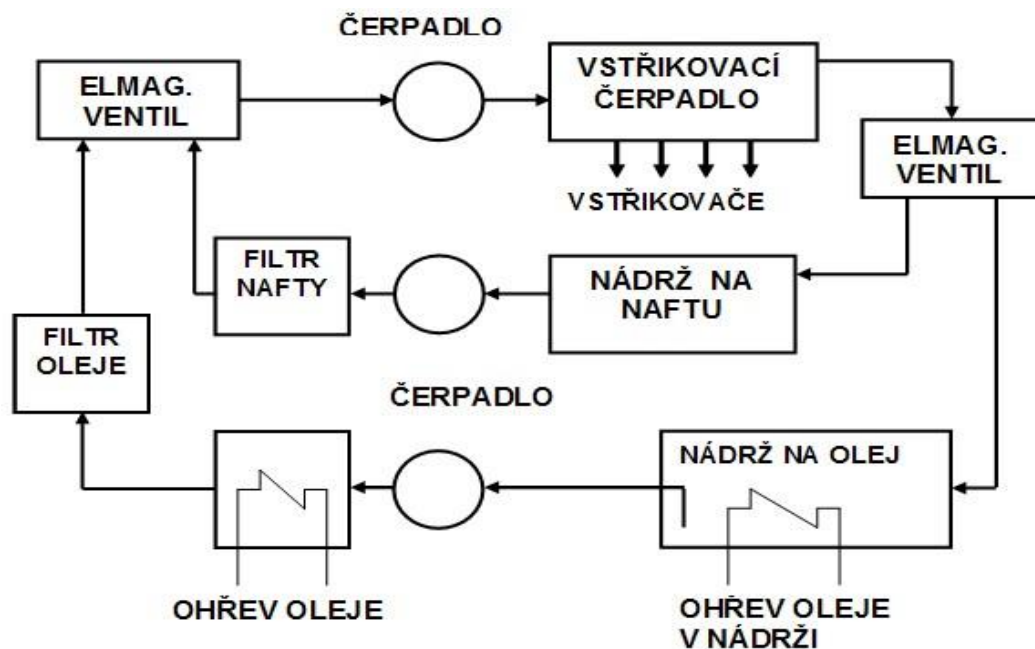
V našich končinách sa začalo experimentovať s takýmito palivami už v období prvej československej republiky, kedy sa pre potreby pohonu motorov začala vyrábať zmes s názvom Dynakol, čo je zmes 40 % etanolu a 60% benzénu. Okrem tohto sa vyrábala aj letecký Dynakol, ktorý ešte navyše obsahoval 12% petroleja. Podľa dobových skúšok bolo usadzovanie sadzí a dymivosť týchto palív minimálne [16]. V súčasnosti existujú dve hlavné využitia bioalkoholov ako paliva pre motorové vozidlá:

- bioalkohol ako prísada do konvenčných palív
- čistý bioalkohol ako palivo pre motory

### 2.2.2 RASTLINNÉ OLEJE A BIODIESEL

Rastlinné oleje predstavujú ďalšiu alternatívnu možnosť pohonu motorových vozidiel. Využitie rastlinného oleja ako paliva je tak stará myšlienka ako samotný Dieslov motor, už prvé prototypy týchto motorov boli prispôbené pre pohon podzemnicovým (arašidovým) olejom. Takéto palivo sa využívalo všade tam, kde pre vysoké ceny ropy nebolo možné využívať konvenčné palivá ako benzín a motorová nafta [15].

Rastlinné oleje, podobne ako bioalkoholy, je možné relatívne jednoducho produkovať vo veľkých množstvách, pre ich spracovanie nie sú potrebné energeticky náročné procesy [19]. Zatiaľ čo čisté rastlinné oleje boli využívané ako palivá skôr v minulosti, v dnešnej dobe sa oleje využívajú ako surovina k výrobe zložitejších palív. Čisto rastlinné oleje majú výrazne rozdielne vlastnosti od motorovej nafty, preto ich nemožno samostatne využívať ako palivo. Takáto prevádzka motora by bola spojená s hromadením usadenín (karbonizácia) viacerých komponentov (vstrekovacie trysky, piesty, ventily). Existuje ešte možnosť využitia rastlinných olejov s ich predohrevom v kombinácii s konvenčnou motorovou naftou [15].



Obr. 6. Palivové príslušenstvo motora pre prevádzku na rastlinný olej a naftu [20]

Hydrogenizáciou rastlinných olejov ich možno upraviť na Biodiesel, ktorého vlastnosti sú takmer identické s konvenčnou motorovou naftou. Vyrobený na báze rastlinných olejov a tukov, pri výrobe tohto paliva nie sú využívané zdroje fosílného pôvodu. Výrobný proces spočíva v reakcii tukov a olejov s alkoholom (transesterifikácia). Výsledný produkt tejto reakcie je metyl, etyl alebo propyl ester olejov a tukov (ERO) [21]. Na rozdiel od čistých rastlinných olejov, takto vyrábaný biodiesel je často plne kompatibilný so súčasnými dieselovými motormi, nie je teda potrebný žiaden zásah do motorov. Oproti konvenčnej motorovej naftu má biodiesel mnoho výhod, je netoxický, pri jeho spaľovaní nedochádza k nadmernému uvoľňovaniu síry a aromatických uhlíkov do ovzdušia [22]. Biodiesel, podobne ako bioetanol, môže byť využívaný dvoma spôsobmi:

- ako čisté palivo bez prímiesi fosílnych palív – takéto palivo je označované ako B100
- ako prímies do konvenčných motorových palív – takéto palivo je označované pomocou množstva percentuálnej zložky biodieselu v celkovom palive (B2, B5, B20 a pod.) [22]

## 2.3 SYNTETICKÉ PALIVÁ ORGANICKÉHO PÔVODU DRUHEJ GENERÁCIE

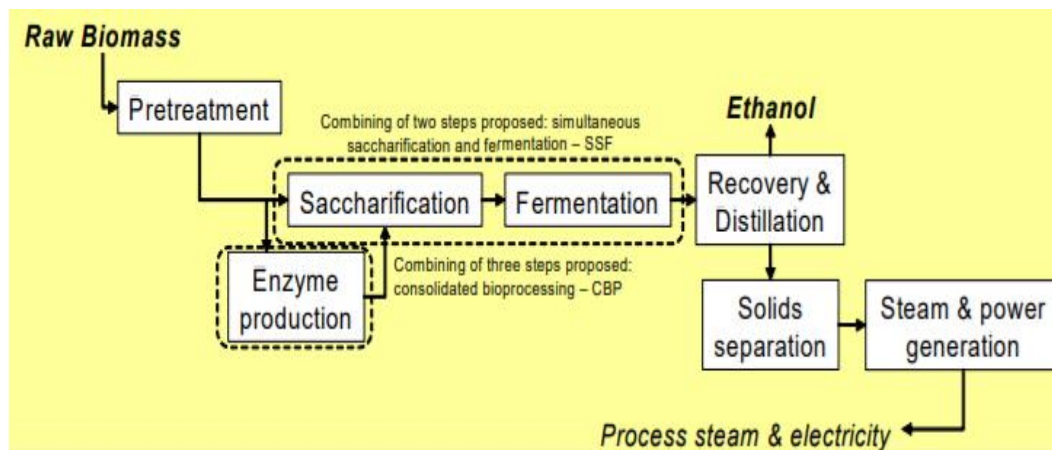
Biopalivá druhej generácie zdieľajú s prvou generáciou niekoľko charakteristík, obe generácie využívajú k svojej výrobe rastliny. Na rozdiel od prvej generácie, tá druhá dokáže využiť všetky časti rastlín ako aj drevný odpad a iný organický materiál. Ďalší rozdiel možno nájsť pri celkovom ekvivalente emisií CO<sub>2</sub>. Pri celkovom cykle paliva, od výroby až po jeho využitie, môže takéto palivo dosahovať až o 90 percent nižší celkový ekvivalent emisií oproti tradičným fosílnym palivám [11]. Syntetické palivá druhej generácie a ich procesy nie sú medzi laickou verejnosťou až tak známe, v porovnaní s prvou generáciou.

Medzi typických zástupcov syntetických palív organického pôvodu druhej generácie patria:

- Bioalkoholy druhej generácie
- Biodiesel druhej generácie

### 2.3.1 BIOALKOHOLY DRUHEJ GENERÁCIE

Bioalkoholy druhej generácie a ich vlastnosti sú podobné bioalkoholom prvej generácie. Na rozdiel od nich sa nevyrábajú z plodov poľnohospodárskych plodín, ale k ich výrobe sa využíva materiál bohatý na celulózu, predovšetkým poľnohospodársky nevyužiteľné časti rastlín, rýchlorastúce dreviny alebo drevný odpad [3]. Takto vyrobený bioalkohol sa zvykne niekedy nazývať aj „celulózný alkohol“ [11]. Ďalšia odlišnosť od bioalkoholov prvej generácie spočíva v procese spracovania surovín. Zatiaľ čo plodiny bohaté na cukry stačí nechať fermentovať a vydestilovať, v prípade celulózy to nie je také jednoduché. Na obrázku (*Obr. 7*) možno vidieť zjednodušený proces výroby bioetanolu druhej generácie. Surová biomasa je zložená z polysacharidov obsahujúcich dlhé reťazce molekúl glukózy, a preto ak z nej chceme vytvoriť etanol a biopalivo, musíme vykonať predprípravu biomasy, čo zahŕňa naparovanie a predsacharizáciu biomasy s kyselinou pri teplote 170°C. Takýto proces nám pomôže oddeliť z biomasy jej tri najdôležitejšie zložky: celulózu, hemicelulózu a lignín. Prvé dve menované zložky možno následne pomocou hydrolýzy (pridávania vody) a enzýmov premeniť na jednoduché cukry [23]. Pre výrobu bioalkoholov sa následne využijú kvasnice a iné mikroorganizmy, prispôbené pre rozklad celulózných a hemicelulózných cukrov na rôzne typy alkoholov ako napríklad etanol a butanol [24]. Existujú mnohé varianty tohto procesu, niektoré kombinujú všetky procesy v jednom reaktore, iné zase rozdeľujú tieto procesy pre rozdielne reaktory. Pred samotnou fermentáciou je membránami oddeľovaná posledná menovaná zložka biomasy, ktorá je nespracovateľná fermentáciou (lignín). Tento zvyšok môže byť využitý pre výrobu tepla [25].



Obr. 7. Zjednodušená bloková schéma výroby bioetanolu druhej generácie[11]

Potenciál takéhoto paliva je obrovský, v porovnaní s bioalkoholmi prvej generácie sa tu nemusí riešiť dilema využívania pôdy pre energetické plodiny nakoľko na výrobu alkoholov tejto generácie možno využiť aj nestráviteľné časti rastlín. Kapacity pre výrobu tohto typu alkoholu sú zatiaľ pomerne malé, experimentuje sa so všetkými typmi biomasy vrátane obilnej slamy. Niektoré firmy vidia v tomto procese budúcnosť mobility a začínajú investovať práve do tejto formy syntetických palív [11].

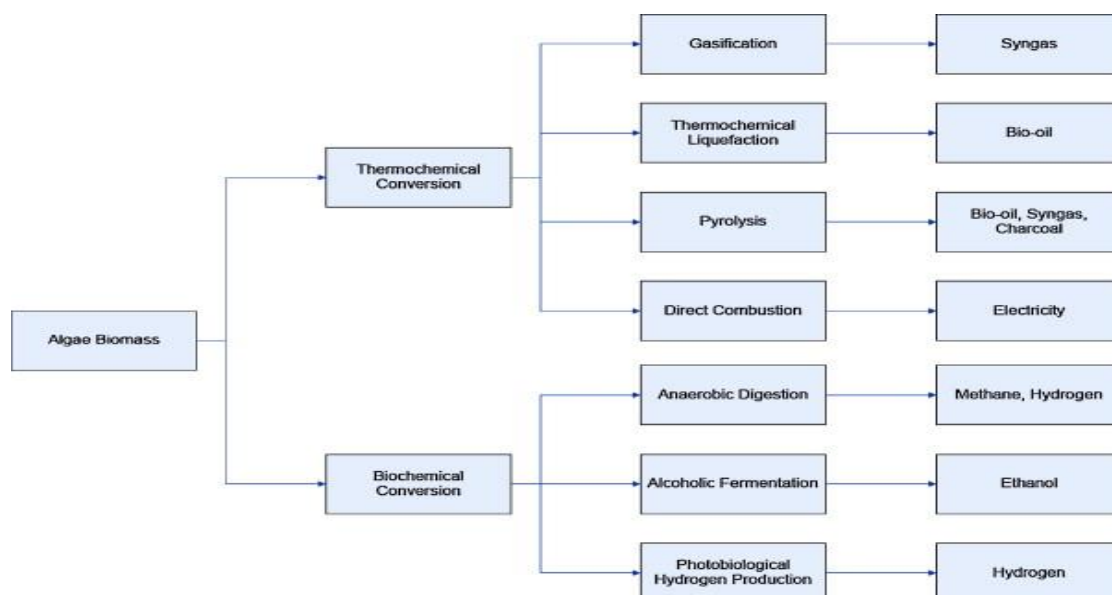
### 2.3.2 BIODIESEL DRUHEJ GENERÁCIE

Podobne ako biodiesel prvej generácie, aj výroba biodieselu druhej generácie je založená na transterifikácií olejov a mastných kyselín s alkoholom. Pre produkciu biooleja druhej generácie možno využiť rôzne suroviny, od zvyškov potravín až po časti rastlín [26]. Tak ako pri produkcii bioetanolu druhej generácie, aj tu je potrebná predpríprava biomasy. Deje sa tak väčšinou pomocou hydrolýzy alebo chemickou cestou. V tomto prípade sa však k spracovaniu biomasy využívajú špeciálne mikroorganizmy, ktoré dokážu premeniť pripravenú biomasu na triglyceridy uložené v ich bunkách. Tento spôsob zaujal aj vedcov z viacerých výskumných stredísk, a to najmä pre rýchlosť, akou dokážu premieňať tieto organizmy na látky bohaté na glyceridy. Druhým parametrom je aj ich zloženie, ktoré je veľmi podobné rastlinným olejom, ktoré možno využiť na výrobu biodieselu. Takto vyrobený diesel je netoxický a možno ho využiť ako palivo pre naftové motory bez zásahov do konštrukcie motora [26].

## 2.4 SYNTETICKÉ PALIVÁ ORGANICKÉHO PÔVODU TRETEJ GENERÁCIE

Biopalivá tretej generácie sú koncepty palív založených na využívaní najnovších vedeckých poznatkov. Primárna surovina pre výrobu takýchto palív je medzi laickou verejnosťou pomerne neznáma – mikroriasy a iné drobné rýchlorastúce rastliny, hoci niektoré procesy môžu využívať aj biomasu druhej generácie. Hlavnou prednosťou týchto organizmov je rýchly rast oproti tradičným plodinám, kde je zber možný iba párkrát do roka. Ďalšou prednosťou týchto organizmov je schopnosť prežiť aj v tých najnehostenejších podmienkach, čo sa týka kvality vody, z čoho plynie ďalšia výhoda, odpadá používanie akýchkoľvek herbicídov pri pestovaní [27].

Pre komerčné využitie rias sa využívajú „bio reaktory“, v ktorých majú tieto organizmy ideálne podmienky pre rast. K rastu im stačí iba voda, minerálne látky a CO<sub>2</sub>. Pri raste si riasy vytvárajú bunkové steny bohaté na tuky a mastné kyseliny, čo ich odlišuje od iných rastlín a organizmov. Pred získaním týchto látok z rias je potrebné nechať riasy vysušiť. Extrahovanie týchto látok môže prebiehať buď mechanickou alebo chemickou cestou. Mechanický spôsob extrahovania je jednoduchší, ale pri tomto spôsobe dochádza k značným stratám, efektívnosť extrahovania tu dosahuje iba 75% z celkového množstva olejov uložených v riasach. Pri chemickej extrakcii dosahujú straty z procesu iba 0,2 až 0,5% celkového množstva obsiahnutých olejov. V priemyselnej produkcii sa prevažne využíva druhý spôsob extrakcie kvôli efektívnosti, navyše takýto spôsob extrakcie je lacnejší aj rýchlejší oproti mechanickej extrakcii [28].



Obr. 8. Možnosti spracovania biomasy získanej z rias [29]

Biomasa získaná z rias ponúka široké možnosti spracovania, metódy spracovania takejto biomasy môžeme rozdeliť na dve kategórie, termochemické a biochemické spracovanie biomasy. Tento spôsob výroby biopalív sa ešte neujal vo veľkom, prevažne ide o laboratórne vyrábané vzorky, ktoré sa testujú pre budúce využitie [29]. Vzhľadom k širokým možnostiam spracovania tejto biomasy sa táto práca bude zameriavať na kvapalnú palivá a ich výrobu.

#### 2.4.1 TERMOCHEMICKY SPRACOVANÉ PALIVÁ TRETEJ GENERÁCIE

Pri termochemickom spracovaní dochádza za prítomnosti tepla k rozkladu zložitých organických molekúl na jednoduchšie molekuly. Spôsoby akými možno realizovať termochemické spracovanie biomasy na využiteľné palivo sú nasledovné: Gasifikácia, Termochemické skvapalňovanie a pyrolýza [30], pyrolýze bude venovaná osobitná kapitola pri palivách iného pôvodu nakoľko pomocou tohto procesu možno spracovať ako organické tak aj anorganické suroviny.

#### 2.4.1.1 GASIFIKÁCIA (SPLYŇOVANIE)

Gasifikácia je proces, pri ktorom dochádza k premene biomasy na zmes využiteľných plynov. Pri tomto procese reaguje biomasa s kyslíkom a vodnou parou za vysokých teplôt (850-1000°C) bez prítomnosti vzduchu. Pri tejto reakcii vzniká takzvaný „syngas“ – zmes plynov CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N, a CH<sub>4</sub>. Syngas je plyn vyznačujúci sa pomerne nízkou energetickou hustotou, typicky 4-6 MJ/m<sup>3</sup>. Tento plyn môže byť následne využitý ako priame palivo pre motory, aj keď jeho energetická hustota ho na to nepredurčuje. Druhou možnosťou je využitie syngasu ako suroviny pre výrobu palív s väčšou energetickou hustotou. Proces výroby metanolu práve zo syngasu získaného gasifikáciou biomasy z rias je stále ešte vo vývoji, avšak experimenty ukazujú, že z 1g takejto biomasy je teoreticky možné získať až 0,64g metanolu [27].

#### 2.4.1.2 TERMOCHEMICKÉ SKVAPALŇOVANIE

Termochemické spracovanie je proces pri ktorom sa za nízkych teplôt (300-350°C) a vysokých tlakov (5-20 MPa) spracúva koncentrovaná biomasa tretej generácie. Proces môže využívať rôzne formy biomasy (druhej a tretej generácie). Takáto reakcia prebieha v špeciálnych bioreaktoroch za prítomnosti plynnej (dusík) alebo kvapalnej (alkalické soli, alkoholy) atmosféry a katalyzátorov, pričom výsledný produkt takejto reakcie je bio olej [31]. Čistý bio olej nemožno využiť ako palivo nakoľko obsahuje veľké množstvo poly nenasýtených mastných kyselín, ktoré sú náchylné k oxidácii, čo by znehodnotilo jeho využitie [27]. Pri využití biomasy tretej generácie v takejto reakcii bol počas experimentov získaný bio olej, po ďalšom spracovaní, možno z neho získať vysoko energetické palivo s energetickou hustotou 35-45 MJ/m<sup>3</sup> [32]. Bioreaktory potrebné pre túto reakciu sú zložité a drahé, čo zatiaľ neumožňuje veľkokapacitnú produkciu takéhoto paliva, takýto proces je stále vo vývoji a pracuje sa na jeho komerčnom využití [33].

#### 2.4.2 BIOCHEMICKY SPRACOVANÉ PALIVÁ TRETEJ GENERÁCIE

Biochemické spracovanie biomasy spočíva v pôsobení mikroorganizmov a rozklade biomasy na jednoduché alkoholy, z ktorých sa následne vyrábajú biopalivá. Proces, ktorým možno realizovať biochemické spracovanie je fermentácia. Tento proces je ľudstvu známy už dlhé roky. V spojení s biochemicky spracovanými palivami sa jedná o konverziu biomasy tretej generácie bohatej na cukry (v prípade biopalív tretej generácie sa jedná prevažne o riasy). Pred samotným spracovaním sa biomasa vysuší a rozomelie, zložité cukry v biomase sa musia premeniť na jednoduché cukry, deje sa tak väčšinou pomocou hydrogenizácie. Takto pripravená hmota je spolu s kvasnicami držaná vo fermentačných nádržiach dokým kvasnice nerozložia cukry na alkohol. Následne sa táto zmes destiluje, pokiaľ výsledný produkt nie je koncentrovaný alkohol, ktorý môže byť využitý ako samostatné palivo alebo ako zložka iných biopalív [27]. Isté typy mikrorias sú vhodným typom biomasy pre spracovanie fermentáciou vďaka vysokému obsahu škrobu. Pri spracovaní takejto biomasy na metanol konvenčnými metódami bola v niektorých prípadoch zistená účinnosť konverzie až 65% [34].

### 2.4.3 BIODIESEL TRETEJ GENERÁCIE

Biodiesel tretej generácie je palivo založené na biomase pochádzajúcej z rias a podobných malých organizmov. Bioolej extrahovaný z procesov spracovania takejto biomasy sa následne upravuje pomocou transesterifikácie na biodiesel. Transesterifikácia je chemický proces, pri ktorom spolu reagujú triglyceridy obsiahnuté v biooleji s alkoholom za prítomnosti katalyzátora reakcie a výsledný produkt tejto reakcie sú monoestery (biodiesel). Výroba oboch zložiek potrebných pre biodiesel je popísaná pri procesoch uvedených vyššie. Takto získaný biodiesel má veľmi podobné vlastnosti ako konvenčná motorová nafta získavaná z ropy a biodiesel predchádzajúcich generácií [27].

### 3 SYNTETICKÉ PALIVÁ INÉHO PÔVODU

Syntetické palivá iného pôvodu sú palivá, ktoré ako základnú surovinu k ich výrobe nevyužívajú organickú biomasu. Pri niektorých výrobných procesoch môžu byť využité ako anorganické tak aj organické suroviny.

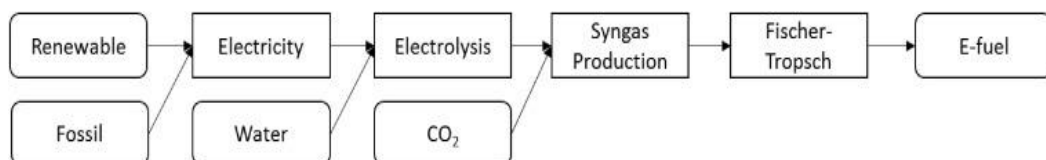
Palivá syntetického pôvodu možno rozdeliť na dve hlavné kategórie:

- Palivá vyrábané Fischer-Tropschovou syntézou
- Pyrolýzne palivá

#### 3.1 PALIVÁ VYRÁBANÉ FISCHER-TROPSCHOVOU SYNTÉZOU

Fischer-Tropschova syntéza je proces, ktorý bol pôvodne vyvinutý za účelom výroby syntetického paliva zo surovín bohatých na uhl'ovodíky. Pri tejto reakcii reaguje oxid uhoľnatý a vodík, poprípade metán, tieto látky sú následne konvertované na uhl'ovodíky s rôznym uhlíkovým reťazcom, vznikne tak surovina podobná ropy. Takto vytvorená surovina môže byť následne spracovaná v rafinériách na syntetický benzín alebo naftu. Pôvodne sa ako surovina k výrobe takýchto palív využívalo predovšetkým uhlie čo však vytváralo veľké množstvo škodlivých emisií, v dnešnej dobe sa už nevyužíva [35]. Pri moderných palivách sa suroviny (vodík, oxid uhoľný) k výrobe takýchto palív získavajú ekologickou cestou, takéto palivá sú nazývané e-palivá.

E-palivá sú syntetické palivá kvapalného alebo plynného skupenstva vyrábané na princípe Fischer-Tropschovej syntézy. Ako počiatočné suroviny sa využíva voda a CO<sub>2</sub> získané ekologickou cestou. Vodík získaný z elektrolýzy následne reaguje s oxidom uhoľným získaným z CO<sub>2</sub> k produkcii zložitejších uhl'ovodíkov (metanol/syngas). V rafinériách možno premeniť tento produkt na uhl'ovodíkové palivo, štruktúrou veľmi blízke klasickým palivám z ropy. Ak sa k výrobe takéhoto typu paliva využijú obnoviteľne zdroje, potom môže vzniknúť takmer CO<sub>2</sub> neutrálne palivo [35].



Obr.9. Bloková schéma výroby E-palív [36]

Pri procese výroby paliva zo syngasu je teoretická hodnota efektivity procesu na úrovni 71%. Experimentami sa podarilo dosiahnuť efektivitu procesu konverzie syngasu na e-palivo na úrovni 57% [37]. Takto vyrobené palivo môže slúžiť aj ako úložisko prebytočne vyrobenej elektrickej energie v prípade vysokého výkonu obnoviteľných zdrojov energie. Niektorí výrobcovia automobilov veria že vďaka e-palivám dokážu zachovať spaľovacie motory.



## 3.2 PYROLÝZNE PALIVÁ

Pyrolýza je proces termochemickej konverzie, pri ktorom možno z počiatočných surovín obohatených na dlhé reťazce uhl'ovodíkov uvoľniť pyrolýzny olej a pyrolýzny plyn. Pri tomto procese je počiatočná surovina vystavená vysokej teplote (300-800 °C) bez prístupu vzduchu. Výsledné produkty tohto procesu možno upravovať podľa teploty, ktorej je počiatočná surovina vystavená, pri nižších teplotách sa uvoľňuje pyrolýzny olej, zatiaľ čo pri vyšších teplotách ide predovšetkým o pyrolýzny plyn. Po ďalšom spracovaní možno tieto produkty využiť ako palivo pre motorové vozidlá. Hlavnou prednosťou tohto procesu je pomerne nízka cena potrebných zariadení a surovín, nakoľko pre tento proces možno využiť materiály ako napríklad odpadové plasty alebo staré pneumatiky. Nevýhodu ale predstavujú viaceré exhaláty vznikajúce počas procesu pyrolýzy, predovšetkým sa jedná o amoniak ( $\text{NH}_3$ ) a sírovodík ( $\text{H}_2\text{S}$ ), nemenej podstatné sú aj emisie oxidov síry ( $\text{SO}_x$ ) a dusíka ( $\text{NO}_x$ ), tieto látky predstavujú jeden z najväčších problémov pyrolýznych palív [38].

### 3.2.1 PYROLÝZNY OLEJ

Pyrolýzny olej je jedným z produktov procesu pyrolýzy prebiehajúceho pri nižších teplotách (300-600°C). S hodnotou okolo 39-44 MJ/kg dosahuje podobnú výhrevnosť ako bežne využívané palivá (benzín, motorová nafta) pre automobily. Toto palivo možno využívať v čiastočne upravených dieselových motoroch. Pri experimentoch s takýmto palivom sa prišlo na to, že pre efektívne využívanie pyrolýzneho oleja ako paliva pre dieselové motory, teplota vstupujúceho vzduchu do sania by mala dosahovať 100 - 120°C, pričom kompresný pomer by mal byť na úrovni 17,6:1. Túto teplotu možno znížiť na úroveň okolo 40 °C, avšak v takom prípade by sa musela hodnota kompresného pomeru pohybovať na úrovni 22,4:1. Využívanie tohto paliva však sprevádzajú vyššie hodnoty emisií v porovnaní s prevádzkou na motorovú naftu [39].

### 3.2.2 PYROLÝZNY PLYN

Pyrolýzny plyn je ďalší produkt procesu pyrolýzy. Na rozdiel od pyrolýzneho oleja však pyrolýzny plyn vzniká prevažne pri vyšších teplotách (500-800°C). Pre výrobu pyrolýznych plynov sú vhodné predovšetkým odpadové plastové materiály (PET, PP, PE, PVC, PS). Pri experimentoch bolo zistené, že takéto palivo dosahuje priemernú hodnotu metánového čísla (obdoba oktánového čísla u plynných palív) okolo 28, čo je extrémne málo, keďže európske normy vyžadujú pre palivo poháňajúce motory aspoň hodnotu 65, a teda nie je vhodné ako palivo pre motorové vozidlá [40].

## 4 POROVNANIE FYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ PALÍV

Pre zabezpečenie správneho fungovania motorov je dôležité, aby syntetické palivá disponovali veľmi podobnými fyzikálnymi vlastnosťami ako tradičné palivá založené na fosílnych zdrojoch, pre ktoré sú motory väčšinou konštruované. Pri využití paliva s nevyhovujúcimi vlastnosťami môže dochádzať k upchatiu trysiek alebo podobným problémom, v krajných prípadoch až k poškodeniu motora.

### 4.1 POROVNANIE VLASTNOSTÍ SYNTETICKÝCH PALÍV ORGANICKÉHO PÔVODU

Biopalivá sú často považované za jedny z najperspektívnejších alternatívnych palív. Vďaka ich organickému pôvodu majú vyšší obsah kyslíka čo pomáha k lepšej oxidácii uhlíka a znižuje emisie oxidu uhoľnatého (CO). Vysoký obsah kyslíka takisto pomáha zvyšovať výparné teplo čo vedie k redukcii NO<sub>x</sub> emisií. V podmienkach Strednej Európy sa predovšetkým jedná o bioalkohol vyrábaný z kukurice alebo o biodiesel vyrábaný z repky olejnej.

#### 4.1.1 POROVNANIE VLASTNOSTÍ BIOALKOHOLOV

Zo všetkých bioalkoholov sú najpreskúmanejšími práve metanol a etanol, najjednoduchšie formy alkoholov. Tieto formy sú ľuďstvu známe už dlhšiu dobu, možno ich vyrábať z rozličných foriem obnoviteľných zdrojov, či sa už jedná o energetické plodiny, pestované práve za týmto účelom alebo biologický odpad bohatý na celulózu. Vďaka tejto vlastnosti a faktu, že pri spaľovaní bioalkoholov vznikajú menšie emisie v porovnaní s konvenčne používanými palivami sú atraktívnou náhradou klasických pohonných hmôt. Ako prímes klasického benzínu ale zhoršujú vlastnosti celkovej pohonnej zmesi, najmä ak obsah bioalkoholu prekročí 10 % [41].

Vlastnosti / Palivo	Metanol	Etanol	Butanol	Pentanol	Motorová nafta	Benzín
Hustota (g/ml) pri 20 °C	0.79 - 0.80	0.79	0.80 - 0.82	0.83	0.82 - 0.85	0.71 - 0.77
Bod vzplanutia (°C)	11 - 12	13 - 17	30 - 37	49.1	56	-24
Bod varu (°C)	64.5	78.4	117.7	138	215	90 - 130
Kinematická viskozita pri 40 °C (cSt)	0.58 - 0.74	1.08 - 1.5	2.22 - 2.63	2.89	2.4 - 4.5	0.46 - 0.85
Cetánové číslo	3	8	25	18.2	51-57	-
Oktánové číslo	111	108	96	93	-	91 - 130
Energetická hustota (MJ/l)	16	19.6	29.2	30.81	35.7	31.35 - 33.6
Výhrevnosť [MJ/kg]	19.58 - 20.08	26.78 - 26.83	32.91 - 33.1	34.65 - 34.94	41.87	43.55 - 46.7

Tab 1. Porovnanie fyzikálnych vlastností alkoholov [42]

Alkoholy obsahujúce dlhšie reťazce (butanol/pentanol) sú už dlhší čas v záujme viacerých vedeckých tímov. Môžu za to predovšetkým vyššia energetická hustota a lepšia schopnosť vznietenia sa. Vďaka dlhšiemu uhlíkovému reťazcu možno tieto druhy alkoholov využiť k esterifikácii (výrobe biodieselu). Vďaka dlhým uhlíkovým reťazcom, čo znamená vyšší podiel uhlíka na celkovej hmotnosti, sa skvele miesia s bežne využívanou motorovou naftou [41].

Butanol je alkohol obsahujúci štyri molekuly uhlíka. Táto forma alkoholu sa dostáva v poslednej dobe do popredia všetkých alkoholov práve vďaka svojej vlastnostiam ako prímies konvenčných palív. Butanol má oproti metanolu a etanolu pomerne vysoké merné skupenské teplo, čo je výhodné pre znižovanie spaľovacích teplôt a obmedzenie produkcie NO<sub>x</sub> emisií. Jeho chemická štruktúra je podobná bežne využívanému benzínu. Práve vďaka tomuto faktoru je možné využívať butanol ako palivo pre benzínové motory iba s minimálnymi zásahmi do konštrukcie motora. Spotreba takto upraveného auta je vyššia ako v prípade čisto benzínového motora, no zároveň nižšia ako v prípade využitia etanolu alebo metanolu. Hlavná výhoda využitia butanolu a jeho zmesi s konvenčným palivom predstavujú znížené emisií CO a nespálených uhlíkovodíkov [42].

Pentanol, obsahujúci päť molekúl uhlíka sa na rozdiel od ostatných typov alkoholov prevažne vyrába mikrobiálnou fermentáciou biomasy (bioalkohol tretej generácie). Vďaka veľkej rozpustnosti tukov je mimoriadne vhodný pre výrobu biodieselu (esterifikáciu). V porovnaní s jednoduchými formami alkoholov (metanol, etanol) dosahuje pentanol omnoho väčšiu energetickú hustotu (cca 80% hodnoty motorovej nafty). Viskozita tejto formy alkoholu je veľmi podobná motorovej naftě vďaka čomu sa ponúka využiť ako prímies konvenčnej motorovej nafty. Túto možnosť podporuje aj veľmi podobný pomer potrebného množstva vzduchu a paliva k efektívnemu spáleniu pentanolu. Pri experimentoch bolo zistené že až 45% objemu zmesi môže tvoriť pentanol bez akokoľvek väčšej modifikácie. Takáto zmes paliva má nižšiu viskozitu a vyšší obsah kyslíka, čo pomáha k lepšej efektívnosti spaľovania paliva. Pri využívaní takejto zmesi boli namerané hodnoty CO a nespálených uhlíkovodíkov emisií nižšie až o 23% v porovnaní s využívaním čistej motorovej nafty [43].

#### 4.1.2 POROVNANIE VLASTNOSTÍ BIODIESELŮV

Biodiesel je palivo obsahujúce masné kyseliny alkalických esterov, ktoré sa vyrába transesterifikáciou. Pre transesterifikáciu sa využívajú rôzne typy katalyzátorov (kyslé, zásadité, kombinované, bimetalické), poprípade sa k tomuto účelu využívajú mikroorganizmy. Suroviny k výrobe pochádzajú z tukov rastlinného alebo živočíšneho pôvodu. Pre výrobu sa však predovšetkým využívajú rastlinné zdroje s jedlými a nejedlými plodmi. V posledných rokoch sa však začína experimentovať s olejmi pochádzajúcimi z iných zdrojov (mikrobiálny olej, olej pochádzajúci z rias). Z alkoholov sa pri výrobe dieselu najčastejšie využíva metanol, predovšetkým kvôli nízkym nákladom. Na rozdiel od konvenčnej motorovej nafty je biodiesel plne rozložiteľný čo zabraňuje prípadným katastrofám v prípade úniku väčšieho množstva paliva mimo nádrže [44].

Vlastnosti/Surovina	Sója	Repka olejná	Loj	Ľaničník	Riasy	Motorová nafta
Hustota [g/ml]	0.913	0.882	0.848	0.807	0.877	0.82 - 0.845
Bod varu [°C]	76	170	166	114.8	210	215
Bod vzplanutia [°C]	2	-12	-8	0	-4	56
Kinematická viskozita pri 40 °C [cSt]	4.039	4.439	4.42	2.726	3.57	2.4 - 4.5
Cetanové číslo	37.9	54.4	53.59	52	52.8	51-57
Energetická hustota [MJ/l]	34.61	32.64	34.08	29.697	36.02	35.7
Výhrevnosť [MJ/kg]	39.76	37	40.1	36.8	41.08	41.87

Tab. 2. Porovnanie vlastností biodieselov s motorovou naftou [44]

## 4.2 POROVNANIE VLASTNOSTÍ PALÍV INÉHO PÔVODU

Palivá pochádzajúce z iných ako organických surovín môžu takisto plnohodnotne zastúpiť tradične využívané palivá v automobiloch. Častokrát sa k ich výrobe využívajú odpadové materiály, najčastejšie sa jedná o plastový odpad bohatý na uhl'ovodíky. K výrobe palív pomocou spôsobov uvedených v tejto kapitole však môžeme využiť aj suroviny organického pôvodu. V niektorých prípadoch sa osvedčili organické suroviny lepšie ako tie anorganické.

### 4.2.1 POROVNANIE VLASTNOSTÍ PYROLÝZNYCH PALÍV

Využitie pyrolýzy ako spôsobu výroby paliva má dve zásadné výhody. Pomocou tejto reakcie je možné efektívne spracovať veľké množstvo odpadu bohatého na uhl'ovodíky na palivo, a zároveň extrahovať viaceré znovu-využiteľné látky. Z anorganických surovín sa najčastejšie jedná o plasty z materiálov LDPE, HDPE, PP, PVC, PS, and PET, ktoré spolu tvoria až 74% celkového plastového odpadu [45]. Nielen plasty, ale často aj organický odpad bohatý na biomasu je možné využiť ako počiatočnú surovinu k výrobe pyrolýzneho oleja. Hlavné vlastnosti pyrolýznych olejov, zhrnuté z viacerých výskumov sú uvedené v tabuľke uvedenej dole.

Vlastnosti/Surovina	PS	PP	LDPE	HDPE	LDPE + HDPE	Celulóza	Motorová nafta
Hustota [g/ml]	0.79	0.725	0.82	0.801	0.812	0.83	0.82-0.845
Bod vzplanutia [°C]	5	22	37	10	43	40	56
Kinematická viskozita pri 40 °C [cSt]	3.75	2.12	2.3	3.3	2.4	2.64	2.4 - 4.5
Cetánové číslo	31	–	52	70	62	50	51-57
Energetická hustota [MJ/l]	36.342	31.827	37.042	35.461	36.637	36.686	35.7
Výhrevnosť [MJ/kg]	46	43.9	46.3	44.27	45.12	44.2	41.87

Tab 3. porovnanie vlastností pyrolýznych palív a motorovej nafty [45]

Ako možno vidieť z tabuľky, vlastnosti pyrolýznych olejov sú veľmi podobné vlastnostiam bežne využívanej motorovej nafty, čo predurčuje pyrolýzny olej k možnému využitiu v dieselových motoroch. Výhrevnosť takéhoto paliva je vyššia oproti biopalivám, plne zrovnateľná s klasickou naftou.

### 4.2.2 POROVNANIE VLASTNOSTÍ PALÍV VYRÁBANÝCH FISCHER-TROPSCHOVOU SYNTÉZOU

Palivá vyrábané Fischer-Tropschovou syntézou pôvodne vznikli ako alternatíva klasickým palivám z ropy z dôvodu nedostatku ropy. Ako základné suroviny pre palivá vyrábané Fischer-Tropschovou syntézou sa môže využívať akékoľvek hmota bohatá na uhl'ovodíky, či už je jej pôvod organický (biomasa, celulózny odpad) alebo anorganický (uhlie, zemný plyn).

V posledných rokoch sa čoraz viac začína experimentovať so zachytávaním oxidu uhličitého zo vzduchu a jeho využívaním pre výrobu paliva [46]. Niektoré firmy už predstavili svoje palivá založené na Fischer-Tropschovej syntéze vodíka pochádzajúceho z hydrolýzy vody a oxidu uhličitého zachyteného z ovzdušia.

Vlastnosti/Surovina	Uhlie	Zemný plyn	Celulózný odpad	Motorová nafta	Benzín
Hustota [g/ml]	0.78	0.784	0.7612	0.82 - 0.845	0.71-0.77
Bod vzplanutia [°C]	62	59	54	56	-24
Kinematická viskozita [cSt]	3.923	3.497	1.55	2.4 - 4.5	0.85
Cetánové číslo	70-75	79	80	51-57	-
Výhrevnosť [MJ/kg]	41.8	43.9	44.59	41.87	43.55 - 46.7
Energetická hustota [MJ/l]	32.604	34.417	33.941	35.7	31.35

Tab. 4. Porovnanie fyzikálnych vlastností palív vyrobených Fischer-Tropschovou syntézou [46]

### 4.3 ZHODNOTENIE VLASTNOSTÍ SYNTETICKÝCH PALÍV

Pre správnu funkciu motorov je nevyhnutné aby mali syntetické palivá čo najpodobnejšie vlastnosti ako doteraz využívané palivá pochádzajúce z fosílnych zdrojov. Vlastnosti alkoholov sú svojim spôsobom pomerne výnimočné. Zatiaľ čo jednoduchšie formy alkoholov (metanol, etanol) majú svojimi vlastnosťami bližšie k benzínu, alkoholy s dlhším uhlíkovým reťazcom (butanol, pentanol) vlastnosťami viac inklinujú k motorovej naftě. Z týchto vlastností možno usúdiť typ motora v ktorom ich možno efektívne využiť ako palivo. Pri biodieseloch je voľba motora jasná, avšak ich vlastnosti sa rôznia. Na základe údajov z tabuľky možno jasne vidieť že najpodobnejšie vlastnosti dosahuje biodiesel tretej generácie vyrobený z rias. Ostatné palivá tejto kategórie vykazujú vlastnosti podobné s konvenčne využívanou naftou, možno ich teda tiež využiť pre pohon dieselových motorov.

Pre výrobu pyrolýznych palív možno využiť organickú biomasu alebo odpadové plasty. Palivo z prvej menovanej suroviny dosahuje lepších fyzikálnych vlastností, od motorovej nafty je takmer na nerozpoznanie. Palivo z plastov sa výrazne od seba odlišuje, podstatný je využitý typ plastov. Zatiaľ čo palivo z polystyrénu sa od bežne využívanej nafty odlišuje, najlepšie vlastnosti dosahuje kombinácia LDPE a HDPE. Palivá vyrábané z anorganických vlastností pomocou Fischer-Tropschovej syntézy pomerne verne kopírujú vlastnosti motorovej nafty. Dosahujú podobné hodnoty čo sa týka kinematickej viskozity a bodu vzplanutia, zatiaľ čo hodnota cetánového čísla je pomerne vyššia. Pyrolýzne palivo vyrobené z celulóznej biomasy sa však svojou kinematickou viskozitou radí medzi motorovú naftu a benzín. Aj keď bod vzplanutia je podobný motorovej naftě, pre využitie tohto paliva je potrebná modifikácia motora.

## 5 POROVNANIE EMISÍ SYNTETICKÝCH PALÍV

Emisie skleníkových plynov predstavujú jeden z najväznejších problémov modernej dopravy. Viaceré automobilky prispôbujú svoj výrobný program motorov tak aby ich automobily dosahovali v skúšobných testoch predpísané hodnoty emisií a vyhli sa tak nákladným pokutám za nedodržiavanie emisných noriem. Jednou z možností dosiahnutia týchto emisných noriem je aj využitie syntetických palív, ktoré majú potenciál výrazného zníženie celkového ekvivalentu emisií v automobilovej doprave.

### 5.1 GREET MODEL

Pre zistenie hodnôt emisií bude v tejto práci využitý softvér GREET. Názov GREET skrýva účel tohto softvéru (Greenhouse gasses, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation). Tento analytický nástroj dokáže nielen určiť spotrebu energie a vypustené emisie vozidla v závislosti na type paliva, ale takisto dokáže vykonať výpočet vypustených emisií pre výrobu jednotlivých komponentov automobilu ako aj potrebných kvapalín pre chod automobilu (motorový olej, chladiaca kvapalina a podobne). Tento nástroj počíta s celkovým cyklom paliva, od jeho výroby cez transport paliva až po jeho využitie v spaľovacom motore. Pre porovnanie jednotlivých palív je v tejto práci využitý model osobného automobilu o hmotnosti 3100lb (1428kg) s koeficientom odporu vzduchu  $C_x = 0,3$ .

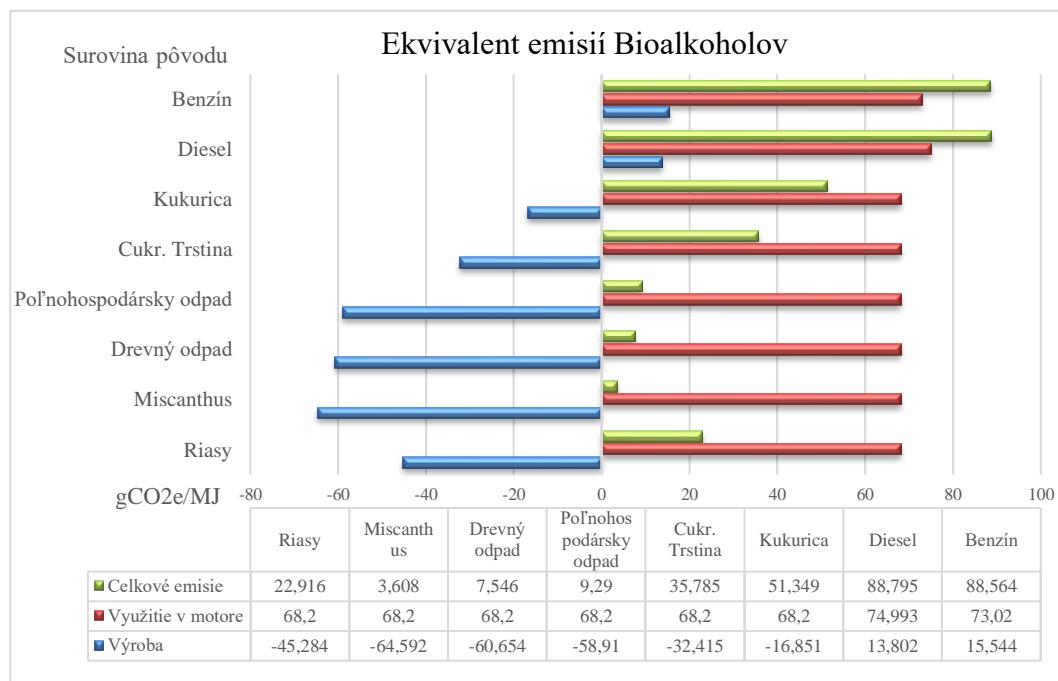
### 5.2 POROVNANIE EKVIVALENTU EMISÍ CO<sub>2</sub> SYNTETICKÝCH PALÍV NA MJ ENERGIE

Emisie CO<sub>2</sub> sú jedným z najznámejších parametrov emisií v automobilovom priemysle. Pri stále tvrdších podmienkach jednotlivých emisných noriem EURO je znižovanie tejto hodnoty doslova nevyhnutnosťou. V súčasnosti platná norma EURO 6d stanovuje túto hodnotu na 95gCO<sub>2</sub>/km pri osobných vozidlách a 141gCO<sub>2</sub>/km pri ľahkých úžitkových vozidlách. Pri nedodržaní tejto hodnoty sa udeľuje pokuta za každý gram CO<sub>2</sub> navyše pre každé vyrobené auto. Výrobcovia sa snažia docieľiť túto hodnotu zmenšovaním obsahu motorov, využívaním AdBlue, úpravami motorov a v poslednej dobe sa rozširujú automobily s alternatívnymi palivami [47]. Pri prepočte na 1 km budeme vychádzať z modelu uvedeného v podkapitole 5.3.1.

#### 5.2.1 POROVNANIE EKVIVALENTU EMISÍ CO<sub>2</sub> BIOALKOHOLOV

Pri porovnaní ekvivalentu emisií bioalkoholov je predovšetkým podstatný hlavne pôvod primárnej suroviny a spôsob akým bola táto surovina vypestovaná. Pri plodinách využívaných výlučne za týmto účelom (kukurica, cukrová trstina) vznikajú pri výrobe alkoholu pomerne veľké emisie čo súvisí najmä s poľnohospodárskou činnosťou. Avšak počas svojho rastu rastliny absorbujú veľké množstvo CO<sub>2</sub> zo vzduchu, ktoré je nevyhnutné pre ich rast. Tento fakt znižuje hodnotu ekvivalentu emisií CO<sub>2</sub> pri výrobe alkoholov až do záporných čísel. Pri surovinách druhej generácie (poľnohospodársky a drevný odpad) emisie spojené s poľnohospodárskou činnosťou odpadajú. Z toho dôvodu je celkový ekvivalent emisií CO<sub>2</sub> alkoholov vyrobených z týchto surovín v niektorých prípadoch nižší až o 75% v porovnaní s biopalivami prvej generácie. V špeciálnych prípadoch sa však môže hodnota ekvivalentu pohybovať na úrovni 10g CO<sub>2</sub>/MJ energie (Miscanthus), čo sa blíži hodnotám emisií pri výrobe elektriny z obnoviteľných zdrojov. Alkoholy druhej generácie majú zo všetkých typov

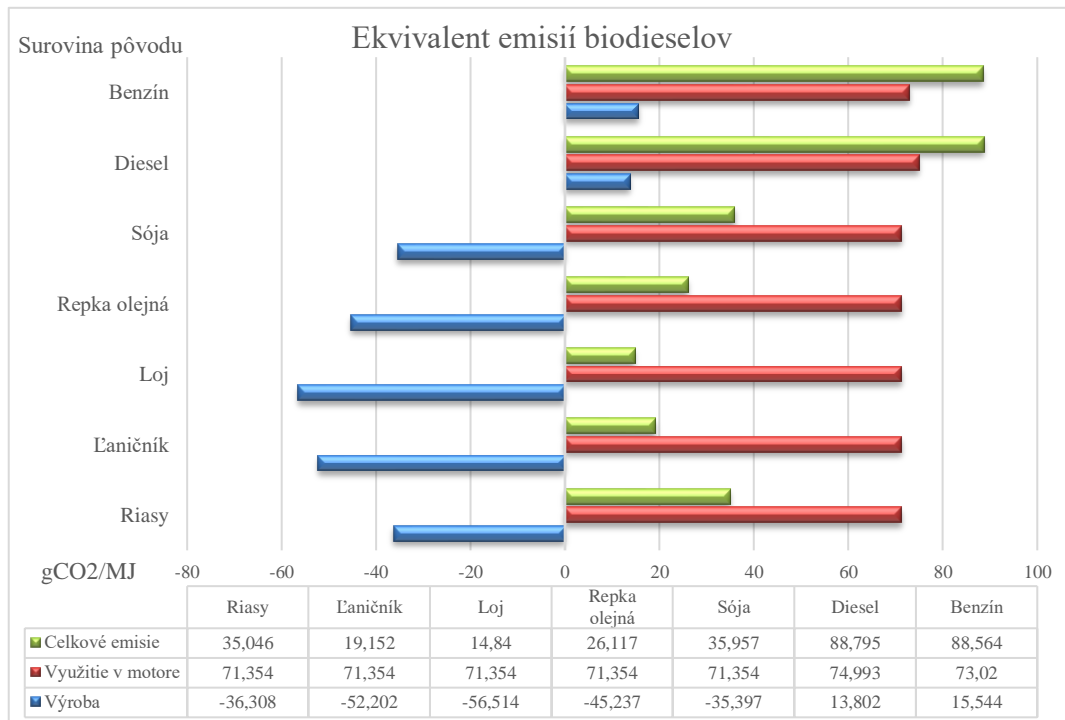
alkoholov najväčší potenciál v krátkodobom horizonte, pokiaľ sa nepríde na efektívnejšie extrahovanie alkoholov z rias. Využitie rias pre výrobu bioalkoholu ako paliva sa zdá byť veľmi perspektívne, čo sa týka priestoru potrebného na výrobu 1MJ paliva prakticky nemajú konkurenciu z dôvodu využitia bio reaktorov, no extrahovanie využiteľných látok a ich následné spracovanie na alkoholy pomocou doteraz známych metód je značne energeticky náročné čo navyšuje hodnotu celkového ekvivalentu emisií CO<sub>2</sub>.



Tab 5. Porovnanie ekvivalentu emisií bioalkoholov s konvenčnými palivami

## 5.2.2 POROVNANIE EKVIVALENTU EMISÍ CO<sub>2</sub> BIODIESELOV

V prípade ekvivalentu CO<sub>2</sub> u biodieselov platia podobné princípy ako pri emisiách bioalkoholov, t.j. veľmi záleží na surovine a jej pôvode. Emisie biodieselov sú v porovnaní s bioalkoholmi mierne vyššie, procesy pre výrobu biodieselu sú náročnejšie oproti výrobe bioalkoholu. Pri biodieseloch vyrábaných zo surovín prvej generácie (sója, repka olejná) sú emisie najvyššie, súvisí to hlavne s poľnohospodárskou činnosťou potrebnou pre výrobu primárnej suroviny. Biodiesely druhej generácie (ľaničnik, loj) majú zo všetkých generácií najnižší ekvivalent CO<sub>2</sub>, k získaniu primárnych surovín nie je potrebná až tak náročná poľnohospodárska aktivita. Biodiesel získaný z rias čelí podobným problémom ako bioalkohol vyrobený z tejto suroviny, produkcia a následná extrakcia primárnej suroviny je pri súčasných technológiách energeticky náročná čo výrazne ovplyvňuje celkový ekvivalent CO<sub>2</sub>.

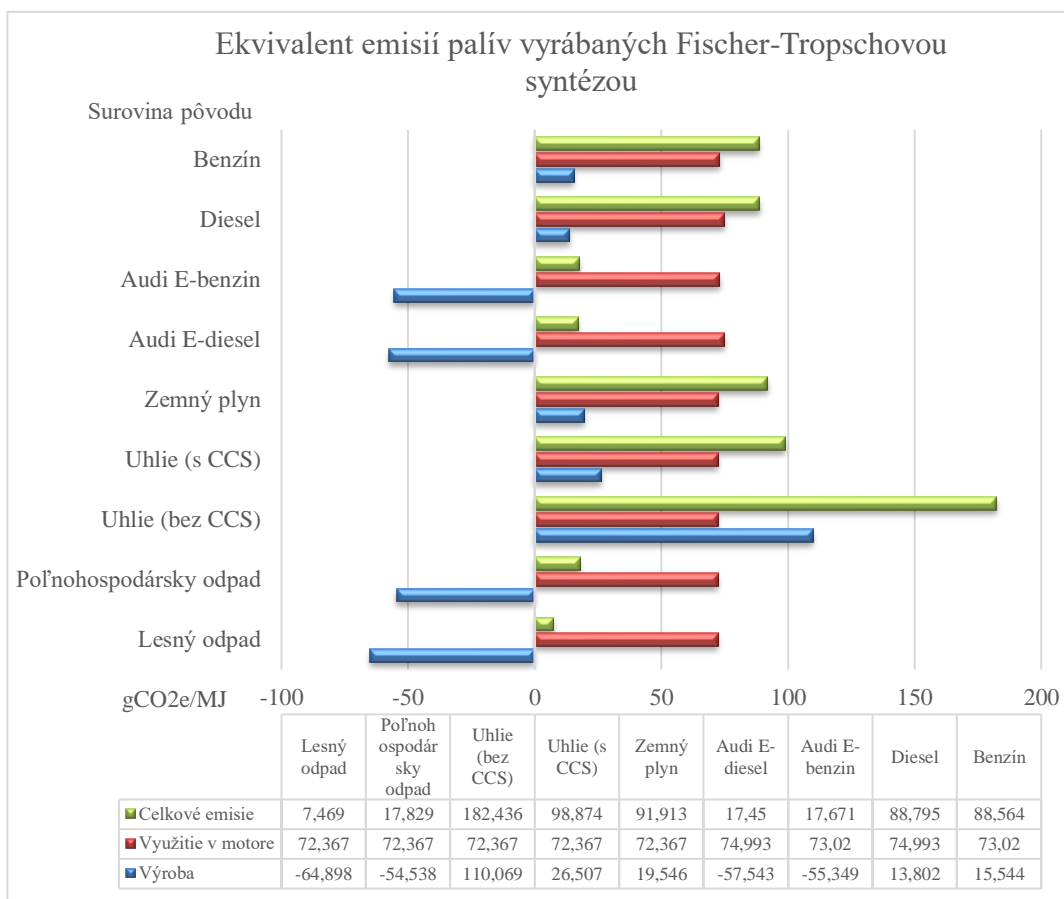


Tab 6. Porovnanie ekvivalentu emisií biodieselov s konvenčnými palivami

### 5.2.3 POROVNANIE EKVIVALENTU EMISÍ CO<sub>2</sub> PALÍV VYRÁBANÝCH FISCHER-TROPSCHOVEJ SYNTÉZOU

U palív vyrábaných pomocou Fischer-Tropschovej syntézy je viditeľný rozdiel pri palivách vyrobených zo surovín organického a anorganického pôvodu. Pri organických surovinách dokáže rastlina absorbovať väčšinu škodlivých emisií čo dokáže výrazným spôsobom znížiť hodnotu ekvivalentu emisií CO<sub>2</sub>. Palivá so surovinami fosílného pôvodu (uhlie, zemný plyn) majú výrazne väčší ekvivalent emisií, plne zrovnateľný s fosílnymi palivami, práve vďaka absencii akejkoľvek formy absorpcii emisií počas výroby počiatocnej suroviny. Navyše ich spracovanie je energeticky náročné čo sa tiež premietne do celkového uhlíkového ekvivalentu. V prípade uhlia sa využíva technológia zachytávania emisií (CCS) čo dokáže zmenšiť celkový ekvivalent emisií CO<sub>2</sub>. Pri e-palivách uvádza výrobca výrobu paliva pomocou elektriny z veterných elektrární a uhlíka zachyteného z ovzdušia. Táto kombinácia zabezpečuje celkový nízky uhlíkový ekvivalent takéhoto paliva.

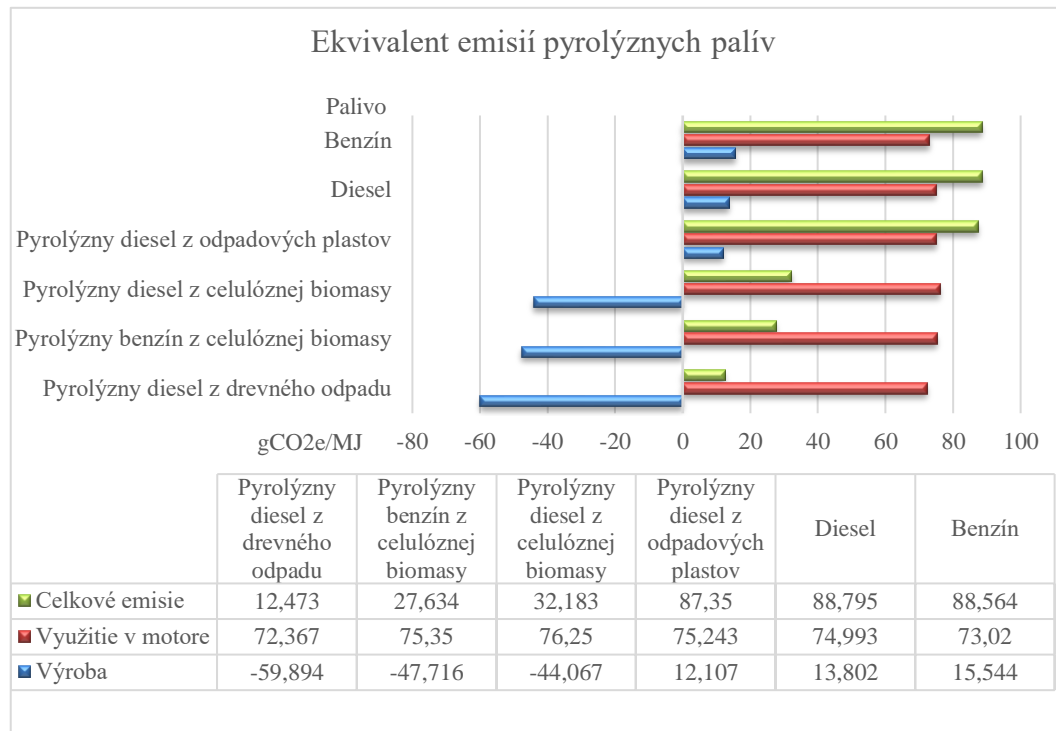




Tab 7. Porovnanie ekvivalentu emisií CO<sub>2</sub> palív vyrábaných Fischer-Tropschovou syntézou s konvenčnými palivami

#### 5.2.4 POROVNANIE EKVIVALNTU EMISÍ CO<sub>2</sub> PYROLÝZNYCH PALÍV

Pri pyrolýznych palivách je možno vidieť výrazný rozdiel medzi palivami vyrábanými z organických a anorganických surovín. Všeobecne pri výrobe pyrolýznych palív z odpadových plastov dochádza počas tepelného rozkladu k tvorbe veľkého množstva skleníkových plynov. Ak tieto unikajúce skleníkové plyny nie sú zachytené alebo upravené na menej škodlivé plyny, potom bude dochádzať k ich úniku do ovzdušia čo zvýši celkový ekvivalent emisií CO<sub>2</sub>. V tabu V prípade pyrolýznych palív z organických materiálov nedochádza k tak významným emisiám, navyše pri raste primárnych surovín dokážu rastliny absorbovať určitú časť emisií čo znižuje celkový ekvivalent emisií CO<sub>2</sub>



Tab 8. Porovnanie ekvivalentov emisí CO<sub>2</sub> pyrolýznych palív rôzneho pôvodu

### 5.3 POROVNANIE EKVIVALENTU EMISÍ CO<sub>2</sub> PALÍV NA PREJDENÝ 1 KM

Pre porovnanie ekvivalentu emisí CO<sub>2</sub> na prejdený 1km bude využitý model splňujúci parametre podľa modelu zo softvéru GREET. Pri tomto modeli budeme zvažovať odpor vzduchu pôsobiaci na automobil a valivý odpor pneumatík s vozovkou. Pre potreby tohto porovnania budeme uvažovať vozidlo idúce rýchlosťou 100km/h. Parametre vozidla a podmienok jazdy sú uvedené v nasledujúcom odseku tejto kapitoly. Ako model vozidla využitého v tomto porovnaní budú využité hodnoty vyhovujúce pre vozidlo Kia Carens ktoré takmer presne kopírujú vlastnosti vozidla využívaného v softvéri GREET [48].



Obr. 10. Vozidlo KIA Carens využité pre porovnanie[49]

#### 5.3.1 PARAMETRE POROVNÁVACIEHO MODELU

Dôležité parametre potrebné na výpočet celkovej energie potrebnej pre vozidlo na prejdenie 1 kilometra [48] nájdeme uvedené hneď pod týmto odstavcom. V tomto modeli sa počíta s efektivitou benzínového motora na úrovni 25% a úroveň efektivity dieselového motora sa v tomto modeli pohybuje na hodnote 30%.

$$m = 1419 \text{ kg}$$

$$S = 2,548 \text{ m}^2$$

$$C_x = 0,3$$

$$\rho_{\text{vzduch}} = 1,29 \text{ kg/m}^3$$

$$\delta = 0,0025 \text{ m}$$

$$r_{\text{pneu}} = 41 \text{ cm (185/65/R14)}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$v = 100 \text{ km/h} = 27,78 \text{ m/s}$$

$$s = 1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$\mu_b = 25\% = 0,25$$

$$\mu_d = 30\% = 0,30$$

### 5.3.2 VÝPOČET ENERGIE POTREBNEJ NA PREJDENIE 1 KM

Výpočet začneme výpočtom sily odporu vzduchu pôsobiacej na automobil:

$$F_1 = 0,5 * C_x * \rho * S * v^2$$

$$F_1 = 0,5 * 0,3 * 1,29 * 2,548 * 27,78^2$$

$$F_1 = 380,49142 \text{ N}$$

Pre výpočet sily valivého odporu budeme potrebovať hodnotu normálovej sily pôsobiacej na automobil:

$$F_n = m * g$$

$$F_n = 1419 * 9,81$$

$$F_n = 13920,39 \text{ N}$$

Vďaka vypočítanej hodnote normálovej sily pôsobiacej na automobil možno následne vypočítať silu valivého odporu pneumatík s vozovkou:

$$F_2 = \delta * \frac{F_n}{r_{\text{pneu}}}$$

$$F_2 = 0,0025 * \frac{13920,39}{0,41}$$

$$F_2 = 84,88042 \text{ N}$$

Po sčítaní týchto dvoch síl dostaneme celkovú odporovú silu pôsobiacu na automobil:

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 380,49142 + 84,88042$$

$$F = 465,37184 \text{ N}$$

Celkovú prácu potrebnú na prekonanie týchto odporov na vzdialenosť 1km možno potom dopočítať:

$$A = F * s$$

$$A = 465,37184 * 1000$$

$$A = 465\,371,84 \text{ J}$$

A keďže vykonaná práca sa rovná dodanej energii, potom možno vyjadriť množstvo energie potrebnej na prejdenie jedného kilometra:

$$A = E = 465\,371,84 \text{ J}$$

### 5.3.3 VÝPOČET TEPELNEJ ENERGIE PALIVA POTREBNEJ NA PREJDENIE 1 KM

Tepelnú energiu musí samozrejme dodať motor automobilu, pri daných hodnotách efektivity spaľovacieho motora možno dopočítať tepelnú energiu paliva potrebného pre vykonanie potrebnej práce na prejdenie 1 kilometra.

Výpočet hodnoty tepelnej energie paliva pre hodnotu efektivity benzínového motoru:

$$Q_{e1} = \frac{A}{\mu_b}$$

$$Q_{e1} = \frac{465371,84}{0,25}$$

$$Q_{e1} = 1,861487,36 \text{ J} = 1,861 \text{ MJ}$$

Výpočet hodnoty tepelnej energie paliva pre hodnotu efektivity dieselového motoru:

$$Q_{e2} = \frac{A}{\mu_d}$$

$$Q_{e2} = \frac{465371,84}{0,3}$$

$$Q_{e2} = 1551239,47 \text{ J} = 1,551 \text{ MJ}$$

### 5.3.4 HODNOTY EKVIVALENTOV EMISÍ CO<sub>2</sub> BIOALKOHOLOV

Bioalkoholy majú rôzne podoby. Tie najčastejšie z nich, metanol a etanol sú zároveň ich najjednoduchšími formami. Vlastnosti týchto typov alkoholov sú podobnejšie benzínu ako motorovej naftu, zatiaľ čo alkoholy s dlhšími uhlíkovými reťazcami (butanol, pentanol) svojimi fyzikálnymi vlastnosťami pripomínajú skôr motorovú naftu. Z týchto dôvodov budú pri bioalkoholoch uvedené oba prepočty energií, ako pre efektívnosť benzínového, tak aj dieselového motoru.

Surovina	Ekvivalent emisií paliva na 1km pri $\mu_b$ [gCO <sub>2</sub> ]	Ekvivalent emisií paliva na 1km pri $\mu_d$ [gCO <sub>2</sub> ]
Kukurica	95,560	79,642
Cukrová trstina	66,595	52,400
Poľnohospodársky odpad	17,289	14,409
Drevný odpad	14,043	11,703
Miscanthus	6,714	5,596
Riasy	42,646	35,542

Tab. 9. Porovnanie emisií bioalkoholov vyrobených z rozličných surovín pri rôznych efektívnosťach motorov

### 5.3.5 HODNOTY EKVIVALENTOV EMISÍ CO<sub>2</sub> BIODIESELV

Hlavnou úlohou biodieselov je nahradiť klasicky využívanú motorovú naftu vo vznetrových motoroch. Ako argument sa zvyčajne využíva snaha o zníženie emisnej stopy vozidla. Pri porovnaní s konvenčnou motorovou naftou pochádzajúcou z ropy, ktorá dosahuje ekvivalent emisií CO<sub>2</sub> na úrovni 137,721g/km možno vidieť, že pri využití biodieselov ich ekvivalenty dosahujú iba 17-40 % úrovne klasickej nafty. Veľkú rolu v tomto prípade hrá zachytávanie emisií CO<sub>2</sub> rastlinami potrebnými pre výrobu týchto palív.

Surovina	Ekvivalent emisií paliva na 1km pri $\mu_d$ [gCO <sub>2</sub> ]
Sója	55,796
Repka olejná	40,507
Loj	23,019
Ľaničník	29,704
Riasy	54,356

Tab. 10. Porovnanie ekvivalentov emisií biodieselov vyrobených z rozličných surovín

### 5.3.6 HODNOTY EKVIVALENTOV EMISÍ CO<sub>2</sub> PALÍV VYROBENÝCH POMOCOU FISCHER-TROPSCHOVEJ SYNTÉZY

Palivá vyrábané pomocou Fischer-Tropschovej syntézy môžu pochádzať ako z anorganických, tak aj z organických surovín. Palivá z anorganických surovín vykazujú väčšie ekvivalenty emisií CO<sub>2</sub> oproti palivám z organických surovín. Môže za to fakt, že pri raste organických surovín tieto rastliny absorbujú značné množstvo vzdušného CO<sub>2</sub> čo znižuje celkový ekvivalent paliva. E-palivá sú samostatná kategória, výrobca tvrdí že pri ich výrobe bude využitá iba veterná energia a uhlík zachytený z ovzdušia. Táto kombinácia zabezpečuje nízky celkový ekvivalent emisií CO<sub>2</sub> v prípade využitia týchto palív v automobile. Na druhej strane však takéto palivo je mimoriadne nákladné, a v krátkom časovom horizonte sa nedá počítať s jeho využitím v masovom merítku.

Surovina	Ekvivalent emisií paliva na 1km pri $\mu_b$ [gCO <sub>2</sub> ]	Ekvivalent emisií paliva na 1km pri $\mu_d$ [gCO <sub>2</sub> ]
Audi E-benzin	32,883	-
Audi E-diesel	-	27,064
Zemný plyn	171,050	142,557
Uhlie (s CCS)	184,004	153,353
Uhlie(bez CCS)	339,513	282,958
Poľnohospodársky odpad	33,179	27,652
Lesný odpad	14,458	12,049

Tab. 11. Porovnanie ekvivalentov emisií palív vyrobených pomocou Fischer-Tropschovej syntézy

### 5.3.7 HODNOTY EKVIVALENTOV EMISÍ CO<sub>2</sub> PYROLÝZNYCH PALÍV

Pyrolýzne palivá predstavujú jednu z možných alternatív budúcnosti palív v automobiloch. Pri súčasných platných emisných normách by podľa hodnôt z modelu prešli všetky palivá vyrobené zo surovín organického pôvodu uvedené v tejto tabuľke. Pyrolýzny diesel vyrábaný z odpadových plastov zanecháva pri svojej výrobe veľký uhlíkový ekvivalent emisií (v porovnaní s ostatnými palivami). Ostatné palivá pochádzajúce z organických surovín, znižujú svoj celkový uhlíkový ekvivalent práve vďaka absorpcií vzdušného CO<sub>2</sub> rastlinami potrebnými pre výrobu palív. Všetky palivá však pochádzajú z obnoviteľných zdrojov, v prvom prípade by však rozšírenie takéhoto paliva mohlo znamenať boj s hromadením plastového odpadu, čo by mohlo pomôcť životnému prostrediu.

Surovina	Ekvivalent emisií paliva na 1km pri $\mu_b$ [gCO <sub>2</sub> ]	Ekvivalent emisií paliva na 1km pri $\mu_d$ [gCO <sub>2</sub> ]
Pyrolýzny diesel z odpadových plastov	-	135,479
Pyrolýzny diesel z odpadovej biomasy	-	49,915
Pyrolýzny benzín z odpadovej biomasy	51,979	-
Pyrolýzny diesel z dreveného odpadu	-	19,345

Tab. 12. Porovnanie ekvivalentov emisií pyrolýznych palív

#### 5.4 ZHODNOTENIE EKVIVALENTOV EMISÍ CO<sub>2</sub> SYNTETICKÝCH PALÍV

Ako možno vidieť z výsledných hodnôt ekvivalentov emisií potrebných na prejedenie jedného kilometra, zásadný vplyv na celkovú hodnotu zohráva pôvod prvotnej suroviny. Vo všeobecnosti platí že palivá pochádzajúce zo surovín organického pôvodu (biopalivá) vykazujú oproti palivám získaných z iných zdrojov nižšie hodnoty celkového ekvivalentu emisií. V tabuľkách sú uvedené aj prípady kedy sa tieto hodnoty líšia o viac ako 50 % . Tento fakt možno pripísať absorpcii vzdušného CO<sub>2</sub> počas rastu primárnej suroviny. Avšak aj v prípade biopalív sa nachádzajú značné rozdiely, energetické plodiny pestované intenzívnou poľnohospodárskou činnosťou si vyžadujú veľké množstvo pesticídov a herbicídov čo zvyšuje ich celkový ekvivalent. Na druhej strane, najnovšia technológia biopalív založená na jednoduchých a rýchlorastúcich organizmoch je zatiaľ energeticky náročná, čo sa premietne aj do celkového ekvivalentu emisií týchto palív. Tieto fakty nahrávajú biopalivám druhej generácie ako

V prípade palív založených na iných ako organických surovinách odpadá možnosť absorpcie emisií rastlinami. Tieto palivá však vykazujú iné prednosti. Pri pyrolýznych palivách vyrábaných z odpadových plastov sa naskytá možnosť využitia odpadu ako počiatočnej suroviny, čo môže tiež pozitívne ovplyvniť celkový ekvivalent emisií, za podmienky že unikajúce škodlivé plyny budú zachytené a bezpečným spôsobom spracované. Ako ďalšia možnosť sa ponúka výroba palív pomocou Fischer-Tropschovej syntézy ako z organických tak aj anorganických zdrojov. Výroba takéhoto paliva z anorganických zdrojov je energeticky náročná, najväčší podiel na tom má práve získavanie primárnej suroviny. Existuje však skupina palív (e-palivá) vyrábaná iba z vody a oxidu uhličitého pomocou čistej energie, čo výrazne znižuje ich celkový ekvivalent. Na prvý pohľad vyzerajú ako ideálne riešenie, avšak ich výroba je mimoriadne nákladná. Tento fakt znemožňuje ich široké uplatnenie v spaľovacích motoroch v najbližšej dobe.

## ZÁVER

Syntetické palivá predstavujú jednu z alternatív oproti konvenčne využívaným palivám pochádzajúcim z fosílnych zdrojov. Pre ich masové rozšírenie je však potrebné rozšíriť výrobné kapacity a zabezpečiť, aby všetky vstupné suroviny nevyhnutné pre výrobu palív boli plne obnoviteľné, prípadne recyklovateľné. Znižovanie emisií vypúšťaných do ovzdušia by mala byť jedna z hlavných priorít ľudskej civilizácie, k čomu môže dopomôcť práve výmena palív používaných pre pohon motorových vozidiel za ekologickejšie varianty.

Úvod tejto práce je venovaný širšiemu porozumeniu problematiky palív v dnešnej dobe aj v minulosti, a porozumeniu následkov využívania palív pochádzajúcich z fosílnych surovín. V tejto časti je takisto odhalená história syntetických palív od prvých pokusov na sklonku 18. storočia až po prvé plnohodnotné a masovo využívané syntetické palivá. Spomína sa tu aj súčasný stav syntetických palív kedy práve vďaka minulým aj súčasným ropným krízam začínajú syntetické palivá naberať na vážnosti ako plnohodnotná alternatíva tradičných palív, nezávislá na rope a zemnom plyne.

V teoretickej časti sú predstavené syntetické palivá rozdelené na palivá organického (biopalivá) a anorganického pôvodu. Syntetické palivá organického pôvodu sú rozdelené podľa primárnych surovín na jednotlivé generácie. Predovšetkým sa jedná o bioalkoholy a biodiesely, ktoré predstavujú najperspektívnejšiu náhradu bežne využívaných palív. Pri syntetických palivách iného pôvodu sa predovšetkým jedná o palivá vyrábané Fischer-Tropschovou syntézou a pyrolýzne palivá vyrábané ako z anorganických, tak aj organických surovín. Obe technológie využívajú tepelný rozklad surovín bohatých na uhlíkovodíky na jednoduchšie formy, z ktorých po úprave možno vytvoriť využiteľné palivo.

V ďalšej časti môžeme vidieť porovnanie fyzikálnych vlastností s bežne využívanými palivami. Z uvedených výsledkov možno usúdiť potenciálne využitie týchto palív. Zatiaľ čo jednoduchšie formy alkoholov (metanol, etanol) svojimi fyzikálnymi vlastnosťami skôr pripomínajú benzín, zložitejšie formy alkoholov majú bližšie skôr k motorovej naftě. Palivá vyrobené Fischer-Tropschovou syntézou a pyrolýzne palivá majú skôr sklon inklinovať k vlastnostiam motorovej nafty, no nájdu sa medzi nimi aj výnimky ktoré svojimi vlastnosťami skôr pripomínajú benzín, či sa už jedná o zámer výrobcu paliva (Audi E-benzin) alebo je to dané produktom samotným (pyrolýzny benzín).

Emisie týchto palív sú následne porovnané pomocou modelu idúceho automobilu pohybujúceho sa konštantnou rýchlosťou 100km/h. Z vypočítaných dát možno vidieť že pri uvažovanej efektívnosti benzínového motora 25% a dieselového motora 30% potrebuje dodať druhý menovaný motor o 0,3 MJ tepelnej energie paliva menej ako jeho benzínová alternatíva. Palivá, využiteľné ako alternatíva klasickej motorovej nafty však v niektorých prípadoch majú vyšší ekvivalent emisií CO<sub>2</sub> oproti tým ktoré možno využiť v benzínovom motore. Ekvivalent emisií CO<sub>2</sub> však aj výrazne ovplyvňuje pôvod počiatočnej suroviny potrebnej k výrobe paliva. Vo všeobecnosti platí, že palivá so surovinami organického pôvodu dosahujú nižší celkový ekvivalent emisií CO<sub>2</sub>. Tento fakt možno pripísať samotným rastlinám nakoľko pri ich raste dochádza k absorbovaniu oxidu uhličitého priamo z ovzdušia vďaka čomu dosahuje výroba týchto palív záporný uhlíkový ekvivalent emisií CO<sub>2</sub>.

Vďaka syntetickým palivám možno znížiť celkové emisie skleníkových plynov produkované dopravným sektorom. V krátkodobom horizonte sa ako najvýhodnejšia možnosť ponúka využitie syntetických palív prvej generácie (biopalív), s ktorými má ľudská civilizácia



najväčšie skúsenosti. V niektorých štátoch takéto palivo už tvorí viac ako polovicu celkových pohonných hmôt. Ich nenáročná výroba a dostupná infraštruktúra umožňuje výrobu tohto typu paliva v masovom meradle. Avšak táto generácia palív môže naraziť na konflikt využívania pôdy, nakoľko rastúca ľudská populácia zvyšuje svoje nároky na pôdu potrebnú k pestovaniu potravín.

V dlhodobom meradle sa ako najefektívnejšie ukazujú rýchlorastúce mikroorganizmy akými sú napríklad riasy. Takéto organizmy sú nenáročné na priestor, možno ich pestovať aj v bio reaktoroch a je možné z nich absorbovať vysoko energetický bio olej, ktorý po ďalšom spracovaní možno využiť ako palivo pre motorové vozidlá. V súčasnosti je takéto palivo energeticky náročné, viaceré výskumné tímy však pracujú na dokonalejších a efektívnejších možnostiach výroby paliva práve z rýchlorastúcich mikroorganizmov.

Ako medzičlánok medzi týmito dvoma časovými horizontami sa ukazuje využitie odpadovej biomasy a surovín anorganického pôvodu, predovšetkým plastov. Tieto suroviny sa nedostávajú do konfliktu pre využitie pôdy, práve naopak. V prípade plastov sa toto využitie priam ponúka, vytvára sa tým možnosť efektívneho zhodnotenia plastového odpadu, ktorý následne nemusí putovať na skládky. Takto vyrobené palivo však zatiaľ často obsahuje vysoký obsah prímiesí a nečistôt ktoré poškodzujú vlastnosti výslednej pohonnej hmoty. Navyše sa pri výrobe takéhoto paliva uvoľňujú aromatické uhlíkovodíky a prímiesi plastov priamo do ovzdušia, tento fakt platí primárne pre výrobu paliva v chudobnejších krajinách. Na druhej strane však stoja palivá vyrábané Fischer-Tropschovou syntézou, predovšetkým e-palivá. Ich plánovaná výroba iba čisto z obnoviteľných zdrojov a s využitím zachytávania CO<sub>2</sub> zo vzduchu je síce k prírode veľmi šetrná, no na druhej strane takto vyrobené palivo v súčasných podmienkach je ekonomicky neporovnateľne nákladnejšie. Firmy propagujúce takéto palivo si od neho sľubujú zachovanie spaľovacích motorov, aspoň v športových modeloch automobilov, v podobe ako ich poznáme dnes.

## POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] GADONNEIX, Pierre, et al. *Global Transport Scenarios 2050* [online]. London, 2011, 76 s. [cit. 2022-02-26]. ISBN 978-0-946121-14-4. Dostupné z: [https://www.worldenergy.ch/file/Publikationen/Aktuell/Global\\_Transport\\_Scenarios\\_2050.pdf](https://www.worldenergy.ch/file/Publikationen/Aktuell/Global_Transport_Scenarios_2050.pdf)
- [2] Syntetické palivá – zázračné riešenie?. *Euractiv.sk* [online]. 2006 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://euractiv.sk/section/ekonomika-a-euro/news/synteticke-paliva-zazracne-riesenie/>
- [3] *Chemické listy* [online]. 2010, **134**(8) [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/1272/1272>
- [4] PROBSTEIN, Ronald F. a R. Edwin HICKS. *Synthetic Fuels*. 3rd ed. Mineola: Dover Publications, 2006, 512 s. ISBN 978-0486449777.
- [5] Ropný šok. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Ropn%C3%BD\\_%C5%A1ok](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ropn%C3%BD_%C5%A1ok)
- [6] Crude Oil Prices - 70 Year Historical Chart. In: *Https://www.macrotrends.net/* [online]. 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart>
- [7] *Ruská agrese může vyšponovat cenu paliv. Ropa se blíží k hranici 100 dolarů* [online]. Praha: 2022 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/ekonomika-ruska-agrese-muze-vysponovat-cenu-paliv-ropa-se-blizi-k-hranici-100-dolaru-189597>
- [8] TROPSCHUH P.F., PHAM E. Audi Future Energies: Balancing Business and Environmental Concerns. In: *Sustainable Automotive Technologies 2013*. Springer, Cham. s.155-160. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-01884-3\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-01884-3_18)
- [9] *Audi claims first synthetic gasoline made from plants* [online]. Melbourne, 2015 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://newatlas.com/audi-e-benzin-synthetic-fuel/37672/>
- [10] *Company Makes CO2 into Liquid Fuel, with Help from a Volcano* [online]. Cambridge, 2013 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.technologyreview.com/2013/11/28/175281/company-makes-co2-into-liquid-fuel-with-help-from-a-volcano/>
- [11] LARSON, Eric D. *Biofuel production technologies : status, prospects and implications for trade and development*. New York and Geneva, 2008. Dostupné z: [https://unctad.org/system/files/official-document/ditcted200710\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ditcted200710_en.pdf)
- [12] Biopalivo. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Biopalivo>

- [13] Biomasa. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Biomasa>
- [14] *Understanding Biofuel Classification* [online]. Blacksburg (Virginia), 2017 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://sim.sbio.vt.edu/?p=2341>
- [15] LAURIN, Josef: Rostlinné oleje jako motorová paliva. *Biom.cz* [online]. 2008-10-29 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva>. ISSN: 1801-2655.
- [16] KÁRA, Jaroslav: Využití bioalkoholu. *Biom.cz* [online]. 2001-12-18 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-bioalkoholu>>. ISSN: 1801-2655.
- [17] Fuel ethanol production worldwide in 2020, by country. *Statista.com* [online]. New York, 2021 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/281606/ethanol-production-in-selected-countries/#:~:text=Fuel%20ethanol%20production%20worldwide%20in%202020%2C%20by%20country>
- [18] SANDALOW, David. Ethanol: Lessons from Brazil. MONSMA, David W. a John A. RIGGS. *A High Growth Strategy for Ethanol: The Report of an Aspen Institute Policy Dialogue* [online]. Washington: The Aspen Institute, 2006, s. 67-74 [cit. 2022-03-04]. ISBN 0-89843-453-X. Dostupné z: [https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/sandalow\\_20060522.pdf](https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/sandalow_20060522.pdf)
- [19] VOJTÍŠEK, Michal: Jezdíme na rostlinný olej. *Biom.cz* [online]. 2010-11-10 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/jezdime-na-rostlinny-olej>. ISSN: 1801-2655.
- [20] Palivové příslušenství vozidlového motoru na rostlinný olej a naftu. *Www.biom.cz/cz* [online]. Praha, 2008 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva>
- [21] Biodiesel. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>
- [22] Economics of biodiesel production: Review. *Energy Conversion and Management* [online]. 2018, (168), 74-84 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.002>
- [23] JOSÉ, Goldemberg et al. A global clean cooking fuel initiative. *Energy for Sustainable Development* [online]. 2004, 8(3), 5-12 [cit. 2022-03-07]. ISSN 0973-0826. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082608604627?via%3Dihub>
- [24] JEFFRIES, Thomas W. Engineering yeasts for xylose metabolism. *Current Opinion in Biotechnology* [online]. 2006, 17(3), 320-326 [cit. 2022-03-07]. ISSN 0958-1669. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2006.05.008>

- [25] R. RYND, Lee a Yi-Heng PERCIVAL ZHANG. Cellulose utilization by clostridium thermocellum: bioenergetics and hydrolysis product assimilation. *Proceedings of the National Academy of Science* [online]. 2005, **102**(20), 7231-7235 [cit. 2022-03-07]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <https://doi.org/10.1073/pnas.0408734102>
- [26] YOUSUF, Abu. Biodiesel from lignocellulosic biomass – Prospects and challenges. *Waste Management* [online]. Elsevier, 2012, (32), 2061-2067 [cit. 2022-03-19]. ISSN 0956-053X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.008>
- [27] Biofuels from microalgae-a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Elsevier, 2010, **14**(2), 557-577 [cit. 2022-03-08]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.009>
- [28] Scope of algae as third generation biofuels. *Frontiersin.org* [online]. Lausanne: Frontiers, 2015 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2014.00090>
- [29] Potential algal biomass conversion processes. <https://www.sciencedirect.com/> [online]. 14: 2, 2010 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>
- [30] Liquid Fuel Production Using Microalgae. *Journal of the Japan Petroleum Institute* [online]. 2005, **48**(5), 251-259 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpi/48/5/48\\_5\\_251/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpi/48/5/48_5_251/_pdf)
- [31] GOYAL, H. B., Diptendu SEAL a R. C. SAXENA. Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Elsevier, 2008, **12**(2), 504-517 [cit. 2022-03-13]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.014>
- [32] CAPORGNO, M.P. et al. Hydrothermal liquefaction of *Nannochloropsis oceanica* in different solvents. *Bioresource Technology* [online]. Elsevier, 2016, **30**(214), 404-410 [cit. 2022-03-13]. ISSN 0960-8524. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.123>
- [33] MINOWA, Tomoaki et al. Oil production from algal cells of *Dunaliella tertiolecta* by direct thermochemical liquefaction. *Fuel* [online]. Elsevier, 1995, **74**(12), 1735-1738 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(95\)80001-X](https://doi.org/10.1016/0016-2361(95)80001-X)
- [34] HIRANO, Atsushi. Et al. CO<sub>2</sub> fixation and ethanol production with microalgal photosynthesis and intracellular anaerobic fermentation. *Energy* [online]. Elsevier, 1997, **22**(2-3), 137-142 [cit. 2022-03-15]. ISSN 0360-5442. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(96\)00123-5](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(96)00123-5)
- [35] GRAVES, Christopher. et al. Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O with renewable or nuclear energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Elsevier, 2011, **15**(1), 1-23 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.014>
- [36] Schematic production process of e-fuels. <https://www.sciencedirect.com/> [online]. Amsterdam: Elsevier, 2019 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618330002#fig1>

- [37] BECKER, W. L. Production of Fischer–Tropsch liquid fuels from high temperature solid oxide co-electrolysis units. *Energy* [online]. Elsevier, 2012, **47**(1), 99-115 [cit. 2022-03-22]. ISSN 0360-5442. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.08.047>
- [38] GHOSH, Pooja. Chapter 8 - Life cycle assessment of waste-to-bioenergy processes: a review. *Bioreactors: Sustainable Design and Industrial Applications in Mitigation of GHG Emissions* [online]. Amsterdam: Elsevier, 2020, s. 105-122 [cit. 2022-04-07]. ISBN 978-0-12-821264-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821264-6.00008-5>
- [39] VAN DE BELD, Bert, Elmar HOLLE a Jan FLORIJN. The use of pyrolysis oil and pyrolysis oil derived fuels in diesel engines for CHP applications. *Applied Energy* [online]. 2013, **38**(102), 190-197 [cit. 2022-04-07]. ISSN 0306-2619. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.05.047>
- [40] HONUS, Stanislav et al. Pyrolysis gases produced from individual and mixed PE, PP, PS, PVC, and PET—Part II: Fuel characteristics. *Fuel* [online]. Amsterdam: Elsevier, 2018, **48**(221), 361-373 [cit. 2022-04-07]. ISSN 0016-2361. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.075>
- [41] KUMAR DAS, Amar et al. Current status and prospects of alternate liquid transportation fuels in compression ignition engines: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Elsevier, 2022, **25**(161) [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112358>
- [42] GONÇALVES DOS SANTOS, Rogério. Review on the characteristics of butanol, its production and use as fuel in internal combustion engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Amsterdam: Elsevier, 2017, **19**(69), 642-651 [cit. 2022-04-11]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.213>
- [43] BABU, Vinod et al. Butanol and pentanol: The promising biofuels for CI engines – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Amsterdam: Elsevier, 2017, **20**(78), 1068-1088 [cit. 2022-04-15]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.038>
- [44] GHALY, A. Production of Biodiesel by Enzymatic Transesterification: Review. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* [online]. Halifax, 2010, **6**(2), 54-76 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3844/ajbbbsp.2010.54.76>
- [45] AL-SALEM, S.M. A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). *Journal of Environmental Management* [online]. 2017, **43**(197), 177-198 [cit. 2022-04-17]. ISSN 0301-4797. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.084>
- [46] TSOLAKIS, A. et al. Combustion characteristics and emissions of Fischer–Tropsch diesel fuels in IC engines. *Progress in Energy and Combustion Science* [online]. 2011, **37**(4), 503-523 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2010.09.001>

- [47] KOTT, Marek. *Consumer preferences towards alternative fuel vehicles. Results from the conjoint analysis* [online]. 2022, (155) [cit. 2022-05-04]. ISSN Renewable and Sustainable Energy Reviews. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111776>
- [48] Odpor vzduchu rôznych kategórii áut. *Svět Motorů* [online]. 2017, **75** [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://blog.auto.cz/aktivnyblogger/2017/03/odpor-vzduchu-roznych-kategorii-aut/>
- [49] Kia Carens the compact 7-Seater. In: *Http://www.motormum.com/* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <http://www.motormum.com/Kia-C>

**ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV**

$CO_2$	[-]	oxid uhličitý
$ERO$	[-]	estery rastlinných olejov
$^{\circ}C$	[-]	stupeň Celzia
$CO$	[-]	oxid uhoľnatý
$H_2$	[-]	vodík
$N$	[-]	dusík
$CH_4$	[-]	metán
$SO_x$	[-]	oxidy síry
$NO_x$	[-]	oxidy dusíku
$C_x$	[-]	koeficient odporu vzduchu
$CCS$	[-]	Zachytávanie a spracovanie oxidu uhličitého
$m$	[kg]	hmotnosť vozidla
$S$	[m <sup>2</sup> ]	čelná plocha vozidla
$\rho_{vzduch}$	[kg/m <sup>3</sup> ]	hustota vzduchu
$\delta$	[m]	rameno valivého odporu
$r_{pneu}$	[m]	polomer pneumatiky
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	gravitačné zrýchlenie
$v$	[m/s]	rýchlosť vozidla
$s$	[m]	prejdená vzdialenosť
$\mu_b$	[-]	hodnota efektivity benzínového motora
$\mu_d$	[-]	hodnota efektivity dieselového motora
$H_2S$	[-]	sírovodík
$NH_3$	[-]	amoniak
$PET$	[-]	polyetylén
$PP$	[-]	polypropylén
$PE$	[-]	polyester
$PVC$	[-]	polyvinylchlorid
$PS$	[-]	polystyrén
$OPEC$	[-]	Organizácia krajín vyvážajúcich ropu