

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Aplikace pokročilých biopaliv v dopravě

Bakalářská práce

Kateřina Michalská

Ekologické zemědělství

doc. Ing. Vladimír Hönig, Ph.D. et Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Aplikace pokročilých biopaliv v dopravě" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3.5.2021

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Vladimíru Hönigovi, Ph.D. et Ph.D. za rady a odbornou pomoc při psaní mé bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala svému příteli a rodině za podporu během celého studia.

Aplikace pokročilých biopaliv v dopravě

Souhrn

Tato bakalářská práce je zpracovaná formou literární rešerše, pro kterou byly použity vědecké publikace, literární internetové zdroje a literární prameny. V první části se věnuje především pojmům jako je ropa, která je základní surovinou pro výrobu nynějších paliv dále definuje termíny palivo a pohonné hmoty. Následně charakterizuje strategie Evropské unie v oblasti biopaliv a další legislativy v rámci cílů snížení skleníkových plynů. Práce mimo jiné zmiňuje Zákon o ochraně ovzduší, který určuje kritéria udržitelnosti biopaliv a biomasy. Práce definuje alternativní paliva a biopaliva tří generací, kde je představena výroba důležitých biopaliv. V druhé části práce jsou přiblíženy informace pokročilých biopaliv v dopravě. Pozornost se v této části upírá na bioetanol II. generace, hydrogenovaný rostlinný olej a syntetickou motorovou naftu vyráběnou Fischer-Tropschovo syntézou. Závěr práce je věnován predikci obnovitelných zdrojů jako pohonů v dopravě.

Klíčová slova: biopalivo, bionafta, bioetanol, biomasa, oběhové hospodářství

Applications of advanced biofuels in transport

Summary

This bachelor's thesis is processed in the form of a literary research, for which scientific publications, literary Internet resources and literary sources were used. The first part deals mainly with concepts such as oil, which is the basic raw material to produce current fuels and further defines the term fuel. It then characterizes the European Union's biofuels strategy and other legislation within the greenhouse gas reduction targets. Among other things, the thesis mentions the Clean Air Act, which determines the sustainability criteria for biofuels and biomass. The thesis defines alternative fuels and biofuels of three generations, where the production of important biofuels is presented. The second part of the thesis presents information on advanced biofuels in transport. In this part, attention is focused on bioethanol II. generation, hydrogenated vegetable oil and synthetic diesel produced by Fischer-Tropsch synthesis. The conclusion of the thesis is devoted to the prediction of renewable sources as a fuel in transport.

Keywords: biofuel, biodiesel, bioethanol, biomass, circular economy

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce.....	2
3	Přehled současné situace	3
3.1	Vymezení pojmů.....	3
3.1.1	Ropa	3
3.1.2	Paliva	4
3.1.3	Pohonné hmoty	5
3.2	Strategie EU	5
3.2.1	Pařížská dohoda	5
3.2.2	Green Deal	6
3.2.3	Strategie 2020, 2030, 2050	8
3.3	Strategie ČR.....	9
3.3.1	Národní akční plán čisté mobility	10
3.3.2	Koncepce veřejné dopravy 2020-2025	11
3.3.3	Akční plán pro biomasu	11
3.3.4	Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, novelizován jako č. 201/2012 Sb. 12	
3.4	Alternativní paliva	13
3.5	Biopaliva.....	15
3.5.1	Biopaliva 1. generace.....	16
3.5.2	Biopaliva 2. generace.....	19
3.5.3	Biopaliva 3. generace.....	20
4	Aplikace pokročilých biopaliv v dopravě.....	23
4.1	Bioetanol 2. generace	23
4.2	Hydrogenovaný rostlinný olej.....	25
4.3	Paliva na bázi Fischer-Tropschovy syntézy	29
5	Trend a budoucí vývoj.....	34
5.1	Budoucnost obnovitelných zdrojů	34
5.1.1	Obnovitelné zdroje.....	34
5.1.2	Pohony z obnovitelných zdrojů	35

5.2	Biopaliva do roku 2030	35
5.3	Biopaliva do roku 2050	36
5.4	Ekonomické hodnocení biopaliv	37
6	Závěr	40
7	Literatura.....	42
7.1	Seznam obrázků	50
7.2	Seznam tabulek.....	50

1 Úvod

Rostoucí trend fosilních paliv v dopravě během dvou století způsobil jisté komplikace jako je zvýšená produkce skleníkových plynů a závislost na dodávkách ropy. Vhodnou alternativou pro tenčící se zásoby ropy a problémům spojených s fosilními palivy by mohly být paliva z obnovitelných zdrojů. Mezi ně se mimo jiné řadí biopaliva. Nevýhoda biopaliv první generace je především použití vstupních surovin (řepa, brambory, obilí) obsahující cukr nebo škrob. Používáním těchto potravin může dojít k potravinové krizi, proto jejich produkce ustává. Aby se odstranily tyto nedostatky první generace vznikla vyspělejší druhá generace biopaliv, která jako surovinu používá odpad z lesnictví, opotřebovaný kuchyňský olej nebo zemědělské zbytky a mnoho dalších.

Tato bakalářská práce pojednává o pokročilých palivech v dopravě. První část objasňuje důležité základní pojmy – ropa, paliva a pohonné hmoty. Dále se konkrétněji věnuje strategii Evropské unie v oblasti biopaliv. Kde je detailně popsána Zelená dohoda pro Evropu, která obsahuje tři hlavní iniciativy – Evropský právní rámec pro klima, Evropský klimatický pakt, Plán dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030. V rámci strategie České republiky je popsána Koncepce veřejné dopravy pro rok 2020-2025 a další důležité legislativní dokumenty a zákony. Dále jsou představeny alternativní paliva a biopaliva všech tří generací, kde je věnována pozornost především technologii výroby.

Ve druhé části se upírá pozornost na pokročilá biopaliva v dopravě. Je zde popsán proces výroby bioetanolu z lignocelulózy biomasy. Ten se řadí již do biopaliv druhé generace především kvůli vstupní surovině, kdy je na rozdíl od I. generace používána nepotravinářská biomasa. Dále je představena technologie výroby HVO neboli hydrogenovaného rostlinného oleje a porovnání technologie hydrogenace a transesterifikace. Práce se také věnuje palivu vyráběným Fischer-Tropschovo syntézou, kde je detailně popsána výroba syntézního plynu, který je vstupní surovinou.

V poslední části bakalářské práce je proveden popis druhů obnovitelných zdrojů energie. Popsány jsou také obnovitelné zdroje jako budoucnost pohonů v dopravě. Dále se věnuje budoucnosti biopaliv do roku 2030 a 2050. V poslední řadě je rozvedena ekonomická analýza dvou různých technologií výroby bioethanolu.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo vymezit možnosti využití pokročilých biopaliv na bázi Fischer – Tropschovy syntézy a hydrogenace olejů a tuků. Dále charakterizovat legislativu v oblasti biopaliv, kterou musí dodržovat rámci Evropské unie a České republiky. Dále uvést budoucí trendu a vývoj v sektoru obnovitelných zdrojů energie pro pohon silničních vozidel.

3 Přehled současné situace

Tato kapitola práce se bude věnovat vymezení pojmů, které je důležité objasnit vzhledem k tématu práce. Vymezeny budou pojmy jako je ropa, paliva a pohonné hmoty. Dále se bude věnovat právnímu rámci Evropské unie a právnímu rámci České republiky ohledně biopaliv. Vysvětleny budou například strategie EU do roku 2030 a 2050. V rámci České republiky se zaměří na Národní akční plán čisté mobility nebo také Zákon o ochraně ovzduší. Součástí této kapitoly je i objasnění alternativních paliv a biopaliv.

3.1 Vymezení pojmů

Tato část práce definuje základní pojmy související s tématem, a to ropa, paliva a pohonné hmoty.

3.1.1 Ropa

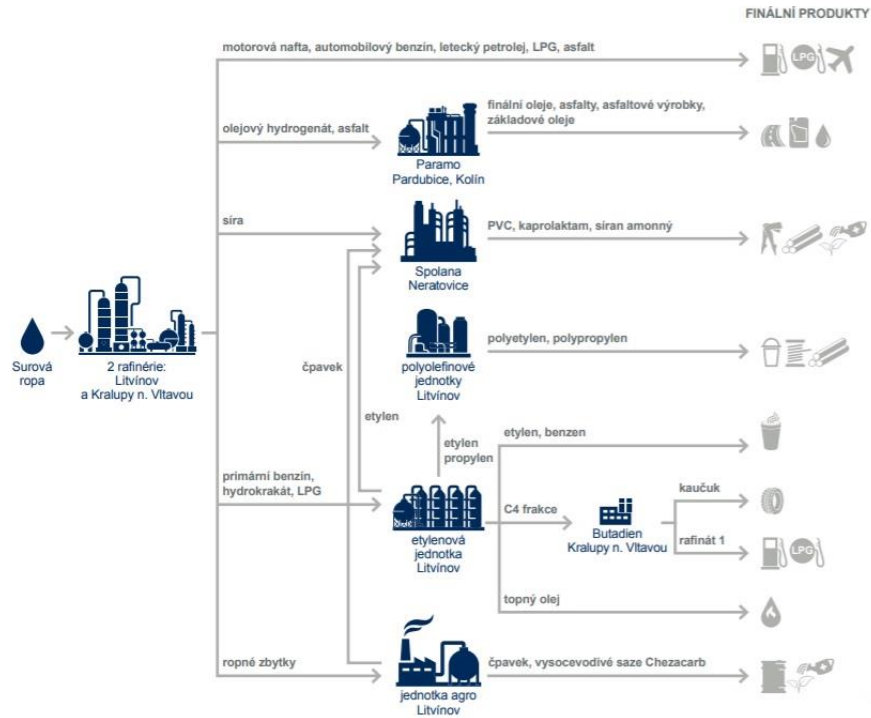
Ropa je definována jako tmavá, lepkavá tekutina. Je složena z komplexní směsi uhlovodíků a dalších organických sloučenin. Převažující skupinou jsou uhlovodíky, především alkany, cykloalkany a aromáty, dále také vysokomolekulární sloučeniny a heterosloučeniny, které ovlivňují vlastnosti ropných produktů a jsou zdrojem síry. Může obsahovat nekovové prvky jako je kyslík nebo síra. Ropa se z chemického hlediska skládá z 84-87 % uhlíku, 11-14 % vodíku, 4 % síry a až 1 % dusíku. Je vysoce hořlavá, během jejího spalování uvolňuje energii. Kvůli svému původu patří ropa mezi neobnovitelné zdroje (Kumar et al., 2011). Ropa pochází z vodních rostlin a živočichů, kteří žili a umřeli před stovky milionů let. Jejich ostatky se mísily s pískem a blátem ve vrstvených usazeninách, které se po tisíciletí geologicky přeměnily na sedimentární horninu. Postupným rozkládáním organické hmoty došlo až k přeměně na ropu (Speight, 2014; Petroleum, 2021a).

Ložiska ropy se vyskytují po celém světě, v hloubkách oceánů, moří a na pevninách. Dříve vytěžená ložiska byla blízko zemskému povrchu, proto se nyní vyhledávají ložiska do hloubky až 10 km (Petroleum, 2021a).

Po dokončení každého vrtu se provádí čerpací zkoušky pomocí „testerů“. Čerpací zkouška zahrnuje mimo odebrání vzorku ropy nebo zemního plynu, také měření tlaku a teploty. Zkoušky jsou krátkodobé nebo dlouhodobé. Při dlouhodobých čerpacích zkouškách dochází ke spalování plynu a sleduje se pokles tlaku. Z naměřených hodnot se zjišťují zásoby uhlovodíků v daném ložisku. Druhy těžby ropy jsou samotoková těžba, těžba hlubinnými čerpadly nebo alternativní těžební metody. Po dokončení těžby ropy dochází k odstraňování mechanických nečistot, odvodňování a ropa je skladována v nádržích. Výrobní závody, kde se ropa přeměňuje na ropné produkty se nazývají rafinérie. Do rafinérií je vytěžená ropa dopravována například vlakovou dopravou (Petroleum, 2021b).

V rafinériích je ropa nejdříve odsolována a následně atmosférickou a vakuovou destilací rozdělena na několik frakcí, ty se pak zpracovávají samostatně. Atmosférickou destilací se získávají rafinérské plyny, těžký benzin, lehký benzin, petrolej, plynový olej a mazut. Všechny

tyto vzniklé destiláty jsou nejprve odsířeny z toho důvodu, že síra narušuje kvalitu frakcí a způsobuje korozi na ocelových materiálech. To neplatí pro mazut, ten se používá bez dalšího zpracování. Po úpravě některých vlastností nachází využití jako topný olej. Nejčastěji se však dále mazut upravuje vakuovou destilací. (Petroleum, 2021b). Na obrázku č. 3.1 je zobrazena výroba dalších ropných produktů v České republice.



Obr. 3.1 Zpracování ropy v ČR (ORLEN Unipetrol, 2021)

3.1.2 Paliva

Palivo je jakákoliv látka, která je schopna při spalování poskytovat teplo a energii. Reakce, kterou se látka přeměňuje na energii se nazývá oxidace. Během oxidace dochází ke spalování kyslíkem. Takto vyráběná energie se vyskytuje především jako chemická nebo tepelná energie. Tepelná energie je využívána například k vaření, v průmyslu nebo k výrobním účelům. Další přeměnou tepelné energie na energii mechanickou probíhá za pomoci motoru. Mezi paliva řadíme zemní plyn, bionaftu, benzin, diesel, methanol nebo vodík. Druhy paliv jsou rozdílné mohou být tuhá, kapalná paliva, biopaliva nebo fosilní paliva (Toppr, 2018; Svět vědy o Zemi, 2021)

Energetické, ekonomické a ekologické, to jsou tři parametry, které musí palivo splňovat. Z energetického hlediska palivo musí mít maximální výhřevnost paliv na kilogram paliva – MJ/kg. Poslední hledisko, které palivo musí splňovat je ekologické. To stanovuje vliv spalování určitého paliva na životní prostředí (Hönig, 2013).

3.1.3 Pohonné hmoty

Pohonné hmoty jsou látky, které se používají k pohybu objektů pomocí hnací síly. To může být zapříčiněno chemickou reakcí. V motoru se tepelná energie přeměňuje na pohybovou. Pohonné hmoty se vyskytují v pevné, kapalně i plynné formě. Jejich složení je ze dvou částí, a to paliva a oxidačního činidla. Účinnost pohonné látky závisí čím větší má spalné teplo, měla by poskytovat vysoké teploty. Dalším kritériem je produkce lehkých molekul po spalování jako je například vodík, kyslík, fluor, uhlík a lehčí kovy. Většina pohonných látek, které poskytují uspokojivý výkon, jsou velmi aktivní chemikálie. Většina z nich jsou korozivní, toxické nebo hořlavé. Některé látky mají všechny tři vlastnosti zároveň. Nejvytrvalejší kapalná pohonná hmota je benzín, ten je však velmi hořlavý. Benzín je vyráběný z ropy a používá se v zážehových motorech. Nafta patří také mezi oblíbené pohonné hmoty, vyrábí se destilací a rafinací ropy. Kvalita nafty je určena cetanovým číslem, to udává vznětovou charakteristiku paliva (NASA History Division, 2021; Science Daily, 2021; Industry EU, 2021).

Pohonné hmoty se řídí čtyřmi pravidly, a to:

- tvorba výbušné směsi s minimálním obsahem karbonu po spálení;
- malý objem ve vztahu k obsahu energie;
- vysoká provozní spolehlivost, skladovací bezpečnost atd.;
- možnosti doplňování k čerpacích stanic (Hönig, 2013).

3.2 Strategie EU

V této kapitole je pozornost věnována především Pařížské dohodě, Green Deal a Strategiím EU.

3.2.1 Pařížská dohoda

Doposud platný Kjótský protokol, který byl sepsán v roce 1997, dával za povinnost zemím snížit emise, nahrazuje nová Pařížská dohoda. Ta byla přijata 12. prosince 2015 v Paříži, ovšem v platnost vstoupila 4. listopadu 2016. Součástí Pařížské dohody jsou státy ze všech kontinentů světa, jejíž součástí jsou i státy Evropské unie. Důležitým závazkem Pařížské dohody do roku 2030 je snížení emisí skleníkových plynů minimálně o 40 % oproti roku 1990. K tomuto závazku se přidala Česká republika a členské státy Evropské unie (ČR, 2016; Consilium Europa, 2021a). „V prosinci 2019 Evropská rada potvrdila cíl, jímž je dosáhnout v souladu se závazky podle Pařížské dohody do roku 2050 klimatické neutrality.“ (Consilium Europa, 2021a).

Cílem této dohody, která podporuje provádění úmluvy včetně jejího cíle, je zlepšit globální reakci na hrozby změny klimatu, a to v návaznosti na udržitelný rozvoj a úsilí o vymýcení chudoby, mimo jiné pomocí:

- a) udržení nárůstu průměrné globální teploty výrazně pod hranicí 2 °C oproti hodnotám před průmyslovou revolucí a úsilí o to, aby nárůst teploty nepřekročil hranici 1,5 °C oproti hodnotám před průmyslovou revolucí, a uznání, že by to výrazně snížilo rizika a dopady změny klimatu;

- b) zvyšování schopnosti přizpůsobit se nepříznivým dopadům změny klimatu a posilování odolnosti vůči změně klimatu a nízkoemisního rozvoje způsobem, který neohrozí produkci potravin;
- c) sladění finančních toků s nízkoemisním rozvojem odolným vůči změně klimatu. Tato dohoda se bude provádět podle zásady rovnosti a společných, i když rozdílných odpovědností a odpovídajících schopností, a se zřetelem na zvláštní vnitrostátní podmínky (Consilium Europa, 2021a).

3.2.2 Green Deal

Zelená dohoda pro Evropu je ambiciózním plánem, který má za cíl zaopatřit udržitelnost hospodářství EU. Dohoda má v úmyslu podpořit přechod na čisté oběhové hospodářství a zamezit ztrátě biologické diverzity a snížit znečištění. Součástí Green Deal je také objasnění finanční podpory a investic. Ambiciózním cílem Evropské unie do roku 2050 je být emisně neutrální (Evropská komise, 2021). Dosažením tohoto cíle dojde k přetvoření hospodářství a evropské společnosti, která se stane nákladově účinná a spravedlivá tudíž i sociálně vyvážená (Consilium Europa, 2021b).

V rámci strategie EU v oblasti biologické rozmanitosti do roku 2030, kterou Komise přijala v květnu roku 2020, se klade důraz na obnovení poškozených ekosystémů, rozšíření ploch ekologického zemědělství, snížení používání pesticidů a také rozšíření chráněných oblastí na území Evropy (Consilium Europa, 2021b).

Záměrem strategie „od zemědělce ke spotřebiteli“ je posunout soudobý potravinový systém EU k udržitelnějšímu typu. Strategie má několik cílů, které by měli potravinový systém vytvořit od výroby po spotřebu udržitelným. Cílem je zajistit cenově dostupné a výživné potraviny, zamezit používání pesticidů, hnojiv, antimikrobiálních látek a rozšířit půdy, které jsou obhospodařovány šetrnějším ekologickým systémem zemědělství. Dále také podporovat zdravé stravování, omezit potravinové ztráty a samotné plýtvání potravinami, také zajistit vhodné podmínky pro život zvířat (Consilium Europa, 2021b).

Přechod na klimatickou neutralitu nebude pro všechny země Evropské unie jednoduché. Proto EU vytvořila mechanismus spravedlivé transformace, jehož cílem je poskytnout finanční podporu, které budou nejvíce postiženi přechodem na emisní neutralitu. Takové to státy mají možnost finanční podpory od roku 2021-2027 až 100 miliard euro (Consilium Europa, 2021b).

Zelená dohoda obsahuje tři hlavní iniciativy:

- Evropský právní rámec pro klima;
- Evropský klimatický pakt;
- Plán dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030 (Evropská komise, 2021).

3.2.2.1 Evropský právní rámec pro klima

Jedná se především o první klimatický zákon, jehož cílem je zajistit, aby se všechny státy EU podíleli na společném cíli dosažení nulových emisí do roku 2050. Zákon obsahuje taky opatření ke sledování pokroku. Pokrok bude kontrolován každých 5 let v souladu s Pařížskou dohodou. Pokrok bude prokazován vědeckými důkazy o změně klimatu nebo z pravidelných zpráv z Evropské agentury pro životní prostředí (Cabuzel, 2020b).

3.2.2.2 Evropský klimatický pakt

Klimatický pakt je platforma, která vyzívá lidi, komunity a organizace, aby se sami účastnili opatření k ochraně klimatu a vzniku zelenější Evropy. Díky sdílení nápadů a způsobů řešení se potřebná opatření k ochraně klimatu dostávají do podvědomí mnohem více lidí. Klimatický pakt prozatím upřednostňuje tyto témata – zelené plochy, zelené budovy, zelená doprava, zelené dovednosti (Cabuzel, 2020c).

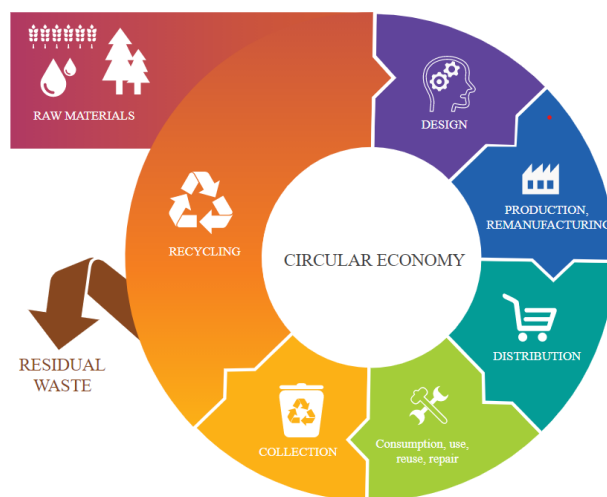
Téma zelených ploch se zaobírá především výsadbou a péčí o stromy a zvětšování zelených ploch ve městech, díky nim dochází k částečnému pohlcování emisních plynů a v rozpálených městech se snižuje teplota během horkých dnů (Evropská unie, 2021d). Díky tématu zelená doprava jsou ve městech více vidět zapůjčení e-kol, jízdních kol, elektrických vozidel, ale také zelené autobusy a vlaky (Evropská unie, 2021a). Zelené budovy upozorňují na energetickou náročnost budov a naléhá na jejich rekonstrukci (Evropská unie, 2021b). Zelené dovednosti podporují vzdělávací orgány, veřejné orgány a organizace práce, které poskytují pracovní pozice v zelené ekonomice (Evropská unie, 2021c).

3.2.2.3 Plán dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030

Hlavním cílem v oblasti klimatu je snížení emisí skleníkových plynů až o 55 % do dalších 10 let. Dalším cílem je podpora vzniku zelených pracovních míst a růstu ekonomiky v EU. V souladu s Pařížskou dohodou je také snaha snížit zvyšování teploty pod 2°C, ale i pokus o udržení pod 1,5°C (Cabuzel, 2020a).

3.2.2.4 Oběhové hospodářství

Oběhového hospodářství funguje na principu – sdílet, pronajmout, znovu použít, opravit, recyklovat; díky těmto krokům se prodlužuje životní cyklus produktů a dochází k minimalizaci odpadu. Na obrázku č. 3.2 je znázorněn cyklus oběhového hospodářství. V případě, že výrobek již nelze dál využívat, použijí se komponenty a součástky v jiných odvětvích (Evropský parlament, 2018).



Obr. 3.2 Schéma oběhového hospodářství (Evropský parlament, 2018)

Mezi přínosy oběhového hospodářství se řadí prevence vzniku odpadu, ekodesign, snížení emise skleníkových plynů. 45 % emisí oxidu uhličitého v dnešní době pochází z produkce materiálů. Dalším přínosem by měl být růst pracovních pozic, těch by podle Komise mělo vzniknout do roku 2030 až 700 tisíc. Přínosem především pro spotřebitele je odolnější a trvanlivější výrobky bez plánované poruchovosti a zastarávání (Evropský parlament, 2018).

3.2.3 Strategie 2020, 2030, 2050

V této části je vysvětlena Strategie Evropské unie 2020, 2030 a 2050, jsou zde uvedeny postupné cíle každé strategie.

3.2.3.1 Klimaticko-energetický balíček na rok 2020

Balíček obsahuje tři podstatné cíle a to 20 % snížení emisí skleníkových plynů, 20 % energie z obnovitelných zdrojů a 20% zlepšení energetické účinnosti. Tyto cíle byly uzákoněny v roce 2009 vedoucími představiteli EU. Důležitým nástrojem je systém pro obchodování s emisemi, který slouží ke snižování emisí z letectví, energetického a průmyslového odvětví. Z těchto odvětví se v roce 2019 vyprodukovalo přibližně 40 % celkových emisí skleníkových plynů. Ty by se do roku 2020 měli snížit o 21 % oproti roku 2005. Zbýlých 60 % emisí tvoří obzvláště doprava, bydlení, hospodářství nebo odpad. Země Evropské unie přijali závazné roční cíle podle „rozhodnutí o sdíleném úsilí“. Legislativa o sdíleném úsilí se vztahuje na odvětví dopravy, bydlení, zemědělství nebo odpadu. Podle sdílení úsilí přinesou společné cíle snížení emisí o 10 % celkových emisí Evropské unie do roku 2020 a až 30% snížení do roku 2030 oproti roku 2005. Cíle jednotlivých zemí se liší podle národního bohatství, pro nejbohatší země dojde od 20% snížení emisí a u méně bohatých maximální snížení 20 %. Pokrok ve snižování emisí sleduje Evropská komise každý rok. Státy Evropské unie se zavázali ke splnění cíle ohledně zvýšení energie z obnovitelných zdrojů do roku 2020 podle směrnice o obnovitelných zdrojích. Tyto cíle jsou též rozdílné podle možnosti států (Evropská unie, 2016a).

Evropská unie podporuje vývoj nízkouhlíkových technologií pomocí dvou programů, a to NER300 A Horizont 2020. NER300 finančně podporuje technologie pro zachytávání a

skladování uhlíku (CCS), dále také bioenergie, technologie obnovitelné energie. Horizont 2020 patří mezi největší finanční program. Poskytl až 80 miliard euro od roku 2014-2020 (Kugleta, 2013; Evropská unie, 2016d, 2016a).

„Emise skleníkových plynů v EU se mezi lety 1990 a 2019 snížily o 24% , zatímco ve stejném období vzrostla ekonomika přibližně o 60%. V letech 2018 až 2019 emise poklesly o 3,7%.“(Evropská unie, 2016e). Nejvýznamnější pokles v roce 2018 a 2019 byl z elektráren, kde došlo k poklesu emisí až o 9,1% (Evropská unie, 2016e).

3.2.3.2 Rámec pro klima a energii do roku 2030

Cíl, který navrhla Komise v září 2020, je snížení emisí skleníkových plynů o 55 % do následujících 10 let v porovnání s rokem 1990. Komise se zaměřila na potřebná opatření a legislativní návrhy pro dosažení ambicióznějších cílů. Díky tomu se může Evropská unie přiblížit k plánu úplné neutrality emisí a plnit tak své závazky ohledně Pařížské smlouvy (Evropská unie, 2016b).

Zásadní cíle do roku 2030 jsou tyto:

- minimálně 40% snížení emisí skleníkových plynů v porovnání s rokem 1990;
- nanejvýš 32% podíl na energii z obnovitelných zdrojů;
- minimální 32,5% zdokonalení energetické účinnosti (Evropská unie, 2016b).

3.2.3.3 Dlouhodobá strategie do roku 2050

Klimaticky neutrální Evropa, to je cíl Evropské komise do roku 2050. Tento cíl je základní částí Zelené dohody pro Evropu. Také je v souladu s Pařížskou dohodou. Mělo by dojít ke snížení emisních plynů až o 60 % z dopravy. Hlavní cíle v odvětví dopravy do roku 2050 jsou – žádná vozidla s konvenčním palivem ve městech, 40% udržitelných uhlíkových paliv v letecké dopravě, minimálně 40% snížení emisí z lodní dopravy, přesun cest na střední vzdálenosti ze silniční na železniční a vodní dopravu (Businessinfo, 2011).

Důležitou součástí jsou všechny části společnosti a hospodářská odvětví – energetika, průmysl, mobilita, budovy, zemědělství a lesnictví. Komise v rámci zelené dohody pro Evropu 4.března 2020 navrhla první zákon o klimatu, který do zákona vtěsnil cíl o klimatické neutralitě do roku 2050 (Evropská unie, 2016c).

3.3 Strategie ČR

Tato část se soustředí na strategii České republiky. Popsány jsou Národní plán čisté mobility, Koncepce veřejné dopravy v letech 2020-2025, Akční plán pro biomasu a Zákon o ochraně ovzduší.

3.3.1 Národní akční plán čisté mobility

Národní akční plán čisté mobility byl schválen vládou v roce 2015. Vznikl na základě směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU z 24.října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. Směrnice stanovuje jako vhodné perspektivní náhrady ropy tyto alternativní paliva – elektřina, vodík, biopaliva, zemní plyn a zkapalněný ropný plyn (LPG). Cílem NAP CM je především rozvoj a vývoj technologií alternativních paliv v pokročilejším stádiu jako je elektřina a zemní plyn. Plán podporuje vývoj technologií i další alternativních paliv. Důležité je aplikovatelnost alternativních paliv v dopravě na území ČR. Aktualizace NAP CM z roku 2020 obsahuje zvyšování počtu dobíjecích a plnicích stanic nebo také zajištění finanční podpory (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015; Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2020).

Z hlediska zpřísnování norem EURO dochází ke snižování emisí, zejména oxidu uhelnatého, uhlovodíků, NO_x neboli oxidů dusíku a množství pevných částic. Na území ČR dochází k překračování limitů především suspendovaných částic, a to pevných částic – $\text{PM}_{2,5}$; PM_{10} , NO_2 a těkavých organických látek – VOC. Na povrchu těchto částic jsou vázány aromatické uhlovodíky, obzvláště benzo(a)pyren. Tyto látky vznikají v naftových a benzinových motorech jejich účinky na organismus jsou teratogenní, karcinogenní a mutagenní. Podstatným zdrojem tohoto znečištění je doprava. Nejvíce postižená jsou města a místa s vysokou hustotou osídlení. Doprava v současné době vyprodukuje 19 % oxidů dusíku, 14 % VOC, 9 % a 10 % $\text{PM}_{2,5}$ a PM_{10} a 7 % benzo(a)pyrenu z celkových emisí. V oblastech s nedodrženým limitem pro benzo(a)pyren žilo v letech 2007-2013 přibližně 53% populace. Mezi dlouhodobě znečištěné regiony v ČR patří Ústecký, Moravskoslezský, Zlínský, Olomoucký, Středočeský a Praha (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015; Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2020).

Změna klimatu je v posledních letech jeden z velmi diskutovaných globálních problémů. Vysoká koncentrace skleníkových plynů v atmosféře je příčinou změny klimatu. Mezi největší producenty skleníkových plynů je doprava. V České republice v roce 1990 byly emise pouhých 6,35 % celkových emisí. Za dalších 15 let, tedy v roce 2005, emise vzrostly na 14,5 % celkových emisí. Na hodnotu 16,9 % se dostaly emise v roce 2012. Z těchto tří údajů je viditelné, že emise z dopravy jsou nežádoucí rostoucí trend, který je potřeba utlumit (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015; Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2020).

Stav vozového parku neustále narůstá. V roce 1990 bylo registrováno 2,4 milionu motorových vozidel, zatím co v roce 2014 bylo registrováno 4,9 milionu kusů osobních vozidel. Počet autobusů a nákladních vozidel v posledních letech je stálý. Nejvíce osobních vozidel na alternativní pohon je na LPG, těch je přibližně 200 tisíc. V roce 2014 se na silnicích pohybovalo přibližně 9 tisíc vozidel na CNG. Vozidla na hybridní pohon v České republice čítá asi 1500 vozů a na elektrický pohon prozatím 500ks (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015; Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2020).

3.3.2 Koncepce veřejné dopravy 2020-2025

Koncepce veřejné dopravy vznikl na základně dvou zákonů a to zákon č. 367/2019 Sb., který nahradil již stávající zákon č. 244/1994 Sb. o drahách, také na základě Zákona o veřejných službách (Ministerstvo dopravy, 2021). Zákon o veřejných službách č. 194/2010 Sb., obsahuje:

- a) hlavní cíle a priority státu v oblasti veřejných služeb v přepravě cestujících pro zajištění udržitelného rozvoje území, ochrany životního prostředí a životních potřeb obyvatel se zvláštním přihlédnutím k jejich věku, zdravotnímu stavu a sociální situaci;
- b) hlavní páteřní osy poskytování veřejných služeb v přepravě cestujících a rozmístění hlavních přestupních uzlů na celostátní úrovni;
- c) základní rámec pro spolupráci státu, krajů a obcí při zajišťování dopravní obslužnosti;
- d) nástroje pro její realizaci (Zákon č. 194/2010 Sb. 2010).

Veřejná doprava v České republice vyprodukuje dvakrát více oxidu uhličitého než průmysl. 2/3 spotřebované energie v České republice z dopravy se přemění na ztrátové teplo, což je dvojnásobek množství dodávané energie z tepláren k vytápění budov. Ve Vnitrostátním plánu se ČR zavázala snižovat konečnou spotřebu energie do roku 2030 o 0,8 % ročně, avšak energie z dopravy stále roste o 3,4 % ročně. Koncepce se zabývá také problematikou dieselových motorů na železnicích. Řeší výměnu těchto motorů za motory na jiné pohony, například vozidla vodíková, bateriová nebo vícezdrojová. V oblasti silniční dopravy vzniká Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/33/ES o čistých vozidlech, na něj navazuje vznikající implementační zákon o podpoře nízkoemisních vozidel. Tento zákon udává limity uzavírání smluv ohledně nízkoemisních vozidel a to 41 % do 31.prosince 2025 a 60 % po roce 2025. Vlivem Evropské iniciativy „Zelená dohoda pro Evropu“, jejíž cílem je mít klimaticky neutrální EU, musí členské státy podnikat kroky v udržitelné a inteligentní mobilitě. Evropská komise má v úmyslu finančně podpořit přechod na nízkoemisní nebo nulová vozidla. Dále také zaopatří legislativu v oblasti výroby a používání alternativních paliv všech odvětvích dopravy. Koncepce veřejné dopravy se dále věnuje problematice přeplněné veřejné dopravě, přepravě osobám se zvláštními potřebami a dalším (Ministerstvo dopravy, 2021).

3.3.3 Akční plán pro biomasu

První Akční plán pro biomasu byl přijat Evropskou komisí 7. prosince 2005. Nejvýznamnějším cílem je zdvojnásobit využití bioenergetických zdrojů jako je dřevo, zemědělské zbytky nebo odpad, a to do pěti let od přijetí Akčního plánu pro biomasu. V roce 2005 pokrývala spotřeba těchto zdrojů 4 %. APB vymezuje legislativu v oblasti využívání obnovitelných zdrojů. Dále APB podporuje vývoj biopaliv druhé generace a rozvoj Technologické platformy pro biopaliva. Díky Akčnímu plánu pro biomasu by mělo dojít ke snížení skleníkových plynů nebo také ke vzniku více než 250 tisíc pracovních míst v oblasti zemědělství a lesnictví (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2005).

12. září 2012 byl znovu přijat Akční plán pro biomasu, ovšem pro období 2012-2020. Úkolem je vymezit opatření a principy ohledně využití energetického potenciálu biomasy. Sláma, plevy,

exkrementy, výpalky, šroty, cíleně pěstovaná biomasa, trvalé travní porosty, dřeviny a rychle rostoucí byliny patří mezi energeticky využívanou biomasu. Podíl obnovitelné energie v dopravě by měl v roce 2020 dosáhnout 10 %. Mezi nevýhody Akčního plánu patří například vyšší cena energie biomasy než cena pevných paliv, také bude zapotřebí více zemědělské půdy a tím i zajistit potravinovou soběstačnost. Při 100% potravinové soběstačnosti by mohlo být využito 1120 tisíc ha na produkci energetických rostlin z celkové výměry zemědělské půdy. Po roce 2020 by se měla uplatnit spíše výroba dimethyletheru z biomasy – BioDME než výroba FAME. BioDME se používá ve vznětových motorech, avšak má nižší výhřevnost, měrnou hmotnost v kapalném stavu, nízkou viskozitu a mazací schopnost než nafta. Konečná cena MĚŘO se odvíjí od ceny vstupní suroviny, ve výsledku by se měla pohybovat od 2-2,5Kč/kWh, cena bioethanolu by se pohybovala v rozmezí 2,8-3,8Kč/kWh. Akční plán pro biomasu doporučuje ponechat současný systém kvót, které definují minimální procentuální podíl biosložek přimíchávaných do běžných paliv. Využití biomasy pro výrobu energie podporuje mimo jiné rozvoj biologické diverzity nebo pěstování biomasy jako protipovodňové a půdoochranné plodiny. Některé energetické plodiny mohou působit na půdu protierozně a zvyšovat retenci půdy (Ministerstvo zemědělství, 2012).

3.3.4 Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, novelizován jako č. 201/2012 Sb.

Dne 1.9.2012 vzešel v planost novelizovaný zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Předchozí předpis zákona o ochraně ovzduší dával za povinnost všem prodejcům, dodavatelům a obchodníkům s biomasou, kapalnými nebo plynnými produkty určené k výrobě biopaliv plnit kritéria udržitelnost. Novelizace zákona rozšířila povinnost i na prodejce a dovozce motorové nafty nebo benzínu s přídavkem biopaliv (MŽP ČR, 2012).

3.3.4.1 Kritéria udržitelnosti

Kritérii udržitelnosti se rozumí dvě povinnosti. První povinností je prokázání původu biopaliva. Kdy musí být prokázáno, že během pěstování biomasy pro výrobu biopaliva nedošlo k narušení biodiverzity. Druhá povinnost je důkaz o snížení emisních skleníkových plynů během celého života biopaliva ve srovnání s fosilními palivy. Kritéria udržitelnosti jsou vymezena nařízením vlády č. 189/2018 Sb., o kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot (MŽP ČR, 2014).

3.3.4.1.1 § 3 Kritéria udržitelnosti biopaliva

Úspora emisí skleníkových plynů vzniklých během úplného životního cyklu biopaliva oproti emisím skleníkových plynů vzniklých během úplného životního cyklu referenční fosilní pohonné hmoty musí činit nejméně:

- a) 35 % do 31. prosince 2017 v případě biopaliv vyrobených ve zpracovatelském zařízení uvedeném do provozu do 5. října 2015 včetně;
- b) 50 % od 1. ledna 2018 v případě biopaliv vyrobených ve zpracovatelském zařízení uvedeném do provozu do 5. října 2015 včetně;
- c) 60 % v případě biopaliv vyrobených ve zpracovatelském zařízení uvedeném do provozu po 5. říjnu 2015 (MŽP ČR, 2014).

Hodnota emisí skleníkových plynů vzniklých během úplného životního cyklu referenční fosilní pohonné hmoty činí 83,8 g CO₂ekv/MJ (Nařízení vlády č. 189/2018, 2018). V tabulce 3.1 jsou vyobrazeny druhy biopaliv a kritéria udržitelnosti (Hönig et al., 2015).

Tab. 3.1 Kritéria udržitelnosti paliv šetřících skleníkových plynů (Hönig et al., 2015)

Původ paliva	Kritérium udržitelnosti
	%
Řepkový olej jako palivo	58
Bionafta z řepky olejné	45
Bionafta z palmového oleje	36
Bionafta z palmového oleje, proces absorbující metan	62
Bionafta ze sóji	40
Bionafta ze slunečnice	58
Bionafta z odpadního kuchyňského oleje a živočišných tuků	88
HVO z řepky	51
HVO ze slunečnice	65
HVO z palmového oleje	40
Syntetický diesel z dřevěného odpadu technologie FT	95
Syntetický diesel z cíleně vypěstovaného dřeva technologie FT	93

3.3.4.1.2 § 4 Kritéria udržitelnosti biomasy

Biomasa splňující kritéria udržitelnosti nesmí pocházet z půdy, která byla ke dni 1. ledna 2008:

- půdou pokrytou nebo nasycenou vodou trvale nebo po významnou část roku;
- plochou o rozloze větší než 1 hektar se stromy vyššími než 5 metrů a pokryvem koruny tvořícím více než 30 % nebo se stromy schopnými dosáhnout těchto limitů v daném místě, nebo
- plochou o rozloze větší než 1 hektar se stromy vyššími než 5 metrů a pokryvem koruny tvořícím 10 až 30 % nebo se stromy schopnými dosáhnout těchto limitů v daném místě, pokud není prokázáno, že při uplatnění způsobu výpočtu stanoveného v části B přílohy č. 1 k tomuto nařízení je zásoba uhlíku v oblasti předtím, než došlo k přeměně půdy, a po její přeměně taková, že by podmínky stanovené v § 3 odst. 3 byly splněny (Nařízení vlády č. 189/2018, 2018).

3.4 Alternativní paliva

Alternativní paliva jsou taková paliva, která snižují emise skleníkových plynů zejména oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého, oxidů dusíku a polyaromatických uhlovodíků. Také odpovídají parametrům paliv vyráběných z ropy. Do alternativních paliv se neřadí jen paliva vyrobená z obnovitelných zdrojů, ale i taková která jsou alternativou k fosilním palivům, benzínu a motorové naftě (MŽP ČR, 2008). Důvody stále významnější propagace alternativních paliv jsou snižování zásob ropy a stále větší poptávka po dovozu ropy. S tímto souvisí i budoucí rostoucí cena ropy a produktů nebo paliv z ní vyráběných. Dále také snižování emisí

skleníkových plynů a plnění závazků vzhledem k Pařížské dohodě a Zelené dohodě pro Evropu (Kaštánek, 2021).

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva říká, že v současnosti jako hlavní alternativní paliva, která vykazují potenciál pro dlouhodobou náhradu ropy jsou určeny elektřina, vodík, biopaliva, zemní plyn a zkapalněný ropný plyn (LPG), a to rovněž s ohledem na možnost jejich souběžného a kombinovaného používání, například v systémech technologie dvojího spalování. Dále také, že zdroje energie se rozumějí všechny alternativní zdroje energie pro dopravu, jako je elektřina a vodík, z nichž není energie uvolňována spalováním ani oxidací bez spalování. Biopaliva jsou v současnosti nejvýznamnějším druhem alternativních paliv – jejich podíl na celkovém množství spotřebovaném v dopravě Evropské unie v roce 2011 představoval 4,7 %. Pokud jsou vyráběna udržitelným způsobem, mohou rovněž přispět k podstatnému snížení celkového objemu emisí CO₂. Mohla by poskytovat čistou energii všem druhům dopravy (Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU, 2014).

Alternativní paliva můžeme rozdělit na dvě základní kategorie, a to na plynná paliva a biopaliva. Mezi plynná paliva řadíme stlačený zemní plyn (CNG) a zkapalněný propan-butan (LPG). Biopaliva mohou být čistá nebo používaná ve směsích jako je E85 – bioetanol s benzínem, estery mastných kyselin s motorovou naftou. Paliva dále můžeme dělit podle biologického původu, kam patří methylester řepkového oleje (MEŘO), FAME, bioetanol vyráběný z cukernatých nebo škrobových plodin, bionafta, bioplyn nebo dřevoplyn. Do paliv neropného původu řadíme zemní plyn ať už ve stlačené formě – LPG, nebo ve formě zkapalněného plynu – LNG. Jako paliva neropného původu se také označují paliva vyráběná ze zemního plynu metodou Gas to Liquid. LPG patří do alternativních paliv, které jsou vyrobeny z ropy (MŽP ČR, 2008; Hönic, 2013).

LPG

Jedno z nejrozšířenějších alternativních paliv je LPG neboli zkapalněný propan-butan. Za normálních podmínek je propan-butan v plynné formě, ovšem pokud ho ochladíme nebo stlačíme můžeme ho lehce přeměnit na kapalinu. Propan butan je těžší než vzduch, tudíž se drží při zemi, protože je zakázáno skladovat v podzemních prostorách nebo u otvorů u sklepů. LPG v motoru následně produkuje mnohem méně škodlivých látek než benzínový motor. Motor poháněný zkapalněným propan-butanem je také o něco tišší (Hluk&Emise, 2021; Primagas, 2021).

CNG

Zkratka CNG označuje Compressed Natural Gas neboli stlačený zemní plyn. Stlačený zemní plyn je složený z 90 % z metanu. CNG produkuje především oxid uhličitý a vodu, kdy množství vyprodukovaného oxidu uhličitého je pětina než u benzínového paliva. CNG vzniká buďto stlačením zemního plynu z potrubí nebo odpařením ze zásobníku LNG – zkapalněného zemního

plynu. Nevýhodou je malé množství plnicích stanic pro stlačený zemní plyn (Primagas, 2021; Hluk&Emise, 2021).

Vodíkové palivové články

První takovýto článek byl zkonstruován britským vynálezcem a soudcem sirem Wiliamem Grovem již v roce 1839. Vymyslel zařízení, které míchalo vodík s kyslíkem a následně vydávalo energii. Principem vodíkového palivového článku je tedy interakce mezi vodíkem a kyslíkem, kdy vzniká elektrická energie a voda. Tudíž tyto články jsou dokonalé po ekologické stránce, protože jediným výstupem je voda. Ovšem z ekonomického hlediska už to tak ideální není. Automobily na vodíkový pohon se pohybují od 200 tisíc do jednoho milionu dolarů. Dalším problémem je také cena paliva, jelikož se musí vodík vyrábět z uhlí nebo zemního plynu, to také nese značné ekologické překážky. V České republice vyrostou první veřejné vodíkové čerpací stanice v Litvínově a v Praze na Barrandově. Tyto stanice budou plněny vodíkem, který vzniká v rafinérii Unipetrol v Litvínově a Kralupech nad Vltavou (Průmyslové spektrum, 2006; Hybrid, 2020; Hluk&Emise, 2021).

3.5 Biopaliva

Biopaliva jsou alternativní variantou k fosilním palivům. Hlavní výhodou oproti fosilním palivům je že biopaliva jsou obnovitelné zdroje. Vyrábějí se z biomasy a biologického materiálu. Vyskytují se v různých skupenstvích, mohou být kapalná, plynná nebo pevná. Biopaliva rozlišujeme na primární a sekundární, kdy primární se rozdělují do tří generací. Biopaliva nejsou v České republice žádnou novinkou. Existují zde již od roku 1989, kdy vznikl spolek Sdružení pro bionaftu, ten obsahoval 22 zemědělských podniků (Jordán, 2015).

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/Es ze dne 8. května 2003 o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě vymezuje různé druhy biopaliv:

- a) "bioethanol": ethanol vyrobený z biomasy nebo biologického rozkladu odpadů, užívaný jako biopalivo;
- b) "bionafta": methylester vyrobený z rostlinného nebo živočišného oleje, s kvalitou nafty, užívaný jako biopalivo;
- c) "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;
- d) "biomethanol": methanol vyrobený z biomasy, který se užívá jako biopalivo;
- e) "biodimethylether": dimethylether vyrobený z biomasy, užívaný jako biopalivo;
- f) "bio-ETBE (ethyl-tercio-butyl-ether)": ETBE vyrobený z bioethanolu. Objemové procento biopaliva v bio-ETBE je 47 %;
- g) "bio-MTBE (methyl-tercio-butyl-ether)": palivo vyrobené z biomethanolu. Objemové procento biopaliva v bio-MTBE je 36 %;
- h) "syntetická biopaliva": syntetické uhlovodíky nebo směsi syntetických uhlovodíků vyrobené z biomasy;

- i) "biovodík": vodík vyrobený z biomasy nebo biologického rozkladu odpadů, užívaný jako biopalivo;
- j) "čistý rostlinný olej": olej vyrobený z olejných 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 (Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES, 2003).

3.5.1 Biopaliva 1. generace

První generace biopaliv se vyrábí z rostlin, které obsahují vysoký podíl škrobu. Z obilnin to jsou pšenice, ječmen, kukuřice, z okopanin brambory, cukrová třtina a z olejnin se využívá slunečnice, sója anebo živočišné tuky. Z těchto surovin se vyrábí bioetanol, butanol a bionafta (Rodionova et al., 2017). Mezi významná biopaliva v dopravě se řadí již zmíněná bionafta, bioetanol, ale také bioplyn (Naik et al., 2010).

3.5.1.1 Bioetanol

Bioetanol se používá jako náhražka benzínu. Ve vozidlech využívající takzvané flexi palivo je bioetanol úplnou náhražkou benzínu. Používá se také jako surovina pro výrobu etyl terciálního butyletheru, který se lehčeji směšuje s benzínem (Naik et al., 2010). Hlavními producenty bioetanolu ve světě jsou USA a Brazílie, kde nejpoužívanějšími surovinami jsou kukuřice a cukrová třtina (Dias et al., 2009).

Výroba

Principem výroby je fermentace surovin obsahující sacharidy. Suroviny můžeme rozdělit do tří kategorií (Naik et al., 2010):

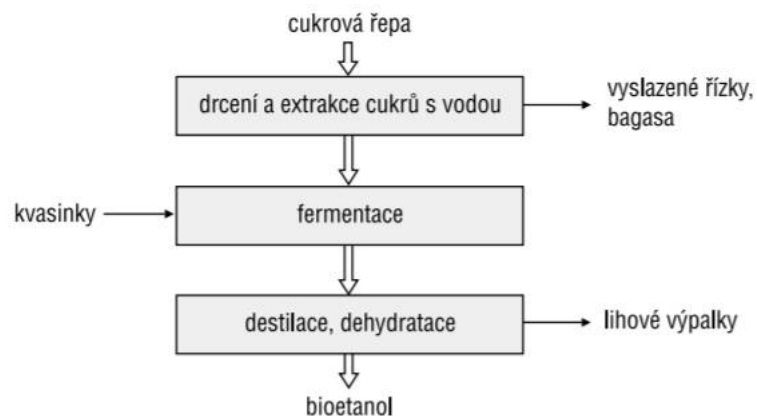
- a) Suroviny obsahující cukr: cukrová třtina, pšenice, řepa, ovoce atd.;
- b) Suroviny obsahující škrob: pšenice, rýže, kukuřice, brambory;
- c) Celulózová biomasa: dřevo a dřevěný odpad, zemědělské zbytky.

Výroba z jednoduchých cukrů

Produkce bioetanolu z řepy nebo cukrové třtiny se označuje jako nejjednodušší. Prvním krokem ve výrobě je samotná úprava suroviny. To znamená, že dochází k rozmělnění a oddělování cukrů pomocí vodní vypírky. V tomto kroku vznikají dva odpadní produkty. Vyslazené řízky, které vznikají jako odpad, mohou být použity například ke silážování. Další vedlejší produkt bagasa se může využívat jako hnojivo. Po tomto kroku následuje samotná fermentace probíhající ve fermentoru (Hromádka et al., 2010b). Fermentace je kvasný biologický proces, kde dochází k přeměně sacharidů pomocí mikroorganismů na látky chudší (Bobál, 1999). Proces probíhající ve fermentoru si můžeme charakterizovat rovnicí, kde se glukóza přemění pomocí bakterií na oxid uhličitý a bioetanol.



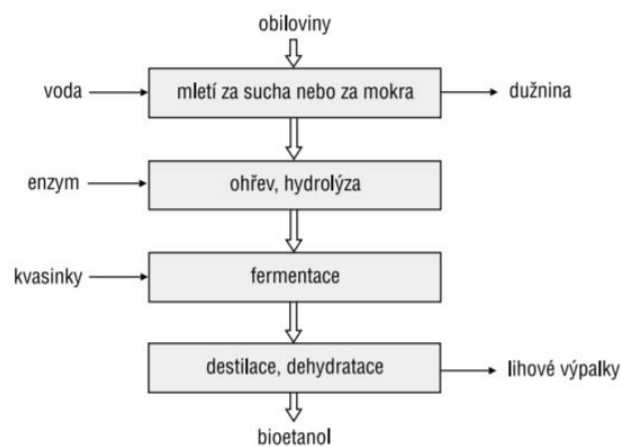
Během fermentace je důležité dodržovat dané podmínky kvasného procesu. První podmínkou je teplota prostředí od 27 °C až do 32 °C, pH by se mělo pohybovat na rozmezí 4-6 a mezní hodnotou obsahu etanolu v kvasící páře se udává 12-13 % obj. (Hromádko et al., 2010b). Poslední částí výroby je destilace a dehydratace. Destilace dá za vznik destilátu, tedy etanolu a destilačnímu zbytku, což je v této technologii lihový výpalek. Důsledkem procesu rafinace dojde k odstranění nežádoucích produktů. Výsledkem výroby je takzvaný rafinovaný etanol, který je tvořen 95,5 % etanolem a zbytkem vody. Voda je kvalitativním ukazatelem je nutné ji v dalším kroku odstranit. Pro odstranění vody z etanolu se používají molekulární síta. Obrázek č. 3.3 znázorňuje kroky výroby bioetanolu (Hromádko et al., 2010b)



Obr. 3.3 Blokové schéma výroby z jednoduchých cukrů (Hromádko et al., 2010b)

Výroba ze škrobu

Vstupní surovinou pro výrobu bioetanolu je nejčastěji používané obilniny. Počátečním krokem je opět úprava suroviny. Zrno se mele nebo drtí. Mechanická úprava zrna může probíhat za sucha nebo za mokra. Díky tomuto kroku dochází k optimalizaci působení komplexu enzymů. Následuje ohřev, kde zrna škrobu začínají bobtnat a získávají zmazovatělou konzistenci. Škrob je následně přeměňován na sacharid glukózu. Jakmile je škrob přeměněn začíná proces fermentace. Podmínky pro průběh procesu jsou velmi podobné výrobě z jednoduchých cukrů. Posledními kroky výroby jsou destilace a dehydratace. Níže na obrázku 3.4 je vyobrazeno schéma technologie výroby bioetanolu ze škrobu (Hromádko et al., 2010b).



Obr. 3.4 Blokové schéma výroby ze škrobu (Hromádko et al., 2010b)

3.5.1.2 Bionafta

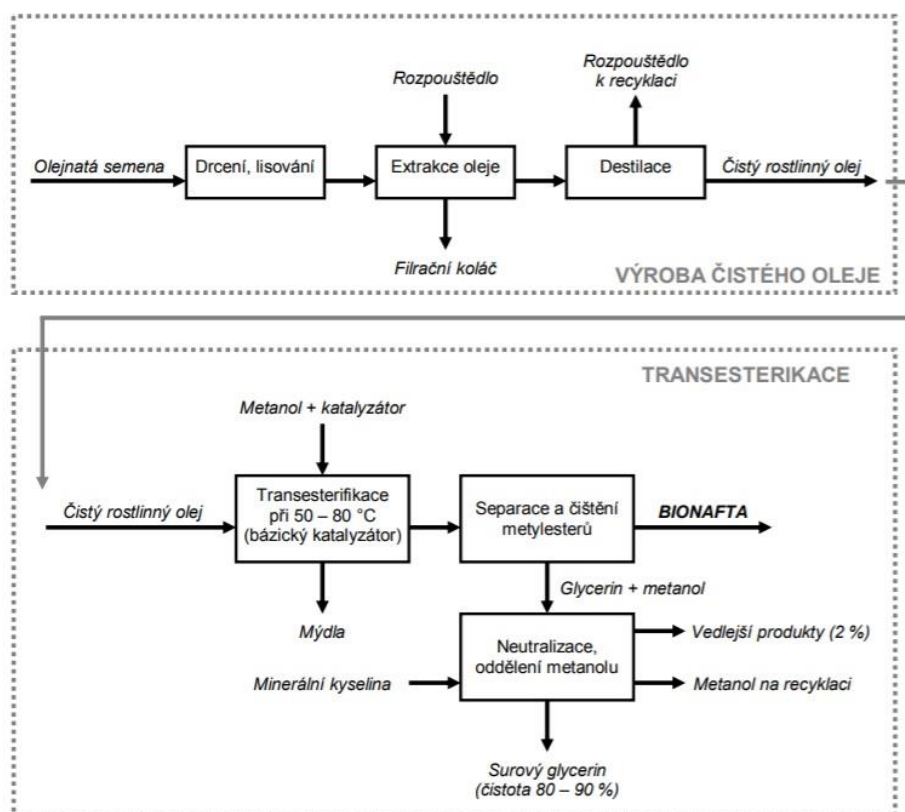
Používání bionafty začalo již před 100 lety, kdy Rudolf Diesel používal rostlinný olej jako palivo do motoru. Jako surovinu lze použít rostlinné oleje, živočišné tuky nebo odpadní oleje. Výhodou těchto surovin je, že nejsou toxické a jsou lehko odbouratelné. Výsledná bionafta má velmi podobné vlastnosti jako nafta na bázi ropy (Ma a Hanna, 1999).

Z tabulky č. 3.2 níže si můžeme všimnout podobnosti bionafty a klasické motorové nafty u cetanového čísla a hustoty. Vyšší cetanové číslo u bionafty dokazuje, že se dobře vzněcuje a při spalování potřebuje méně kyslíku. MEŘO má také vyšší bod vzplanutí než motorová nafta, o zapříčiňuje ohřev na vyšší teplotu (Šebor Gustav et al., 2006).

Tab. 3.2 Porovnání vlastností MEŘO a klasické motorové nafty (Šebor Gustav et al., 2006)

Vlastnosti paliva	Bionafta (FAME)	Motorová nafta
Rel.molekulová hmotnost (g/mol)	~300	170-200
Cetanové číslo	~54	51
Hustota při 15 °C (g/cm ³)	0,88	0,84
Výhřevnost (MJ/kg)	37,3	42,7
Výhřevnost (MJ/l)	32	35,7
Stechiometrický poměr vzduch/palivo (hm.)	12,3	14,53
Obsah kyslíku (% hm.)	9-11	<0,6
Kinematická viskozita při 20 °C (mm ² /s)	7,4	4
Bod vzplanutí (°C)	91-135	77

Existují čtyři hlavní podoby výroby bionafty, přímé použití a míchání, mikroemulze, pyrolýza – tepelné štěpení a transesterifikace. Nejběžnější způsob výroby je transesterifikací (Ma a Hanna, 1999; Abbaszaadeh et al., 2012). Vstupní triacylglyceroly jsou hlavní složkou rostlinných olejů. Výhodou je rozmanitost použití olejů a olejnatých rostlin. Oleje reagují s alkoholem, nejčastěji methanolem, který musí být v přebytku, aby reakce probíhala správným směrem. Výsledným produktem je methylester mastných kyselin neboli FAME a vedlejší produkt glycerol (Zhang et al., 2003). Obrázek č. 3.5 znázorňuje blokové schéma výroby bionafty (Šebor Gustav et al., 2006).



Obr. 3.5 Blokové schéma výroby bionafty (Šebor Gustav et al., 2006)

3.5.2 Biopaliva 2. generace

Biopaliva druhé generace se v první řadě liší vstupní surovinou pro jejich výrobu. Zatím co biopaliva první generace jako surovinu používají tzv. potravinářskou biomasu, ve druhé generaci se využívá nepotravinářská biomasa. Nepotravinářská biomasa jsou především zbytky ze zemědělství nebo lesnictví jako je například seno, sláma, těžební zbytky nebo rostlinné odpady. Díky používání nepotravinářské biomasy je menší možnost vzniku potravinové krize (Hromádko et al., 2010a). Plodiny používané pro výrobu biopaliv ovlivňují výši cen potravin a takzvaně vytlačují potraviny z polí. Tedy pro větší produkci biopaliv se upřednostňuje produkce surovin pro jejich výrobu oproti produkci potravin pro lidskou populaci (ČT24, 2008).

Oproti fosilním palivům mají biopaliva druhé generace potenciál snížit až 90 % emisí CO₂. Do druhé generace řadíme bioetanol vyráběný z lignocelulózy biomasy, syntetickou motorovou naftu, která je produktem Fischer-Tropschovy syntézy, biometanol, biodimetyler a biovodík. Tyto tři produkty vznikají jako produkt katalytické konverze syntézního plynu používaného při F-T syntéze (Hromádko et al., 2010a).

Výroba biovodíku

Vodík je v současnosti vyráběn z fosilních paliv termochemickými procesy – reformování uhlovodíků, zplyňování uhlí a částečná oxidace. Biovodík nebo biohydrogen je považován na velmi slibné palivo budoucnosti díky jeho vysokoenergetickým a čistým vlastnostem a jeho výrobě. Při jeho výrobě je jediný vedlejší produkt voda, ta je ideálním nosičem energie při snižování emisí skleníkových plynů ze spalování fosilních paliv. Biovodík můžeme používat ve spalovacích motorech nebo v palivových článcích na elektřinu (Rodionova et al., 2017; Show a Lee, 2013).

Proces výroby biovodíku může probíhat dvěma způsoby, a to jako přímý nebo nepřímý proces. Nepřímý proces využívá potenciál fotosyntézy k vytváření biomasy. Vzniklá biomasa se dále přetváří na biovodík pomocí fotofermentace nebo fermentace. Druhý přístup tedy přímý proces využívá fotosyntézu pro rozdělení vody na vodík a kyslík přímými a nepřímými procesy biofotolýzy vody. Přímá biofotolýza obvykle nastává, když jsou kultury (řasy, sinice) vystaveny světlu. Během nepřímé biofotolýzy mikrořasy a sinice produkují vodík ze skladovaných sacharidů, a to z glykogenu a škrobu. Nepřímá biofotolýza probíhá ve dvou fázích. V první fázi dochází k syntéze sacharidů za přítomnosti světla a ve druhé se používají k výrobě H₂ pomocí fotofermentace (Rodionova et al., 2017).

3.5.3 Biopaliva 3. generace

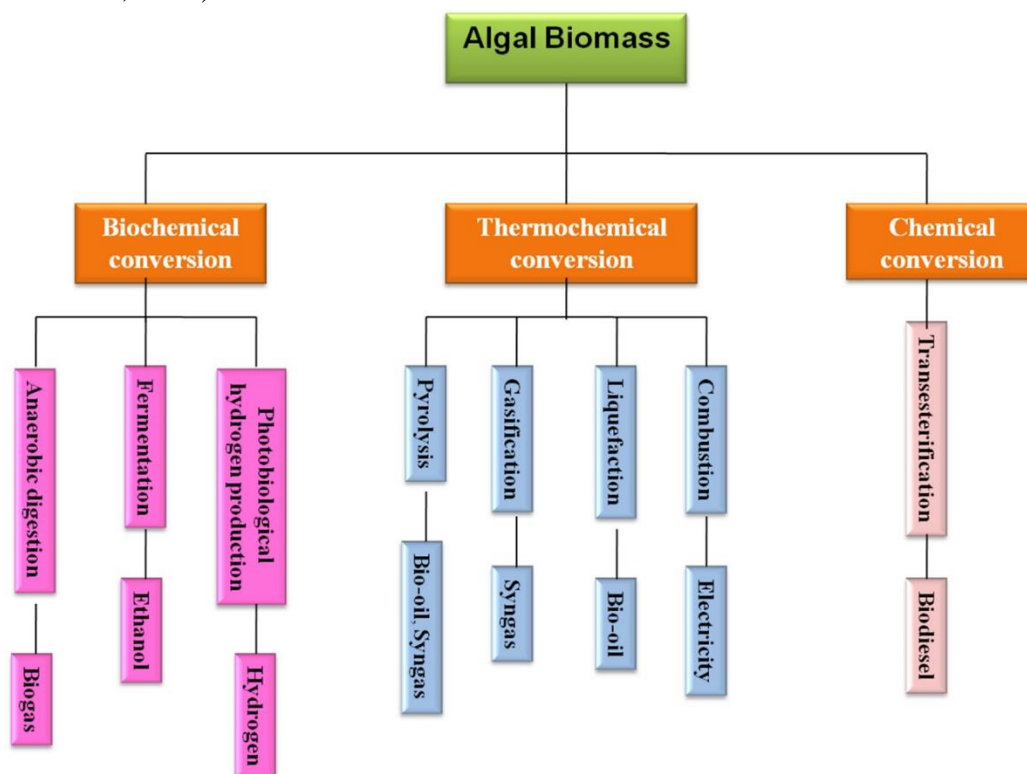
Třetí generace biopaliv je vyráběna z řasové biomasy. Řasy jsou různorodou skupinou skládající se z eukaryotních a prokaryotních organismů. Řasy mohou být heterotrofní nebo autotrofní. Autotrofní řasy pro svůj růst vyžadují anorganické sloučeniny, například oxid uhličitý, soli a také zdroj světelné energie. Heterotrofní řasy jsou opakem autotrofních. Ty pro svůj růst nepotřebují fotosyntézu, vyžadují organické sloučeniny a živiny jako zdroj energie. Mikrořasy jsou malých rozměrů, obvykle jsou měřené v mikrometrech (Chowdhury a Loganathan, 2019; Lee a Lavoie, 2013; Behera et al., 2015).

Výhody biomasy z mikrořas jsou:

- schopnost růstu po celý rok;
- vyšší tolerance k vysokému obsahu oxidu uhličitého;
- nízká spotřeba vody při pěstování;
- žádný požadavek na herbicidy nebo pesticidy při pěstování řas;
- růstový potenciál druhů řas je ve srovnání s ostatními velmi vysoký;
- kromě pěstování dalších živin lze pro pěstování řas použít různé zdroje odpadních vod obsahující živiny, jako je dusík a fosfor;
- schopnost růst v drsných podmínkách, jako je solný roztok, brakická voda, pobřežní mořská voda, která neovlivňuje žádné konvenční zemědělství (Behera et al., 2015).

Pěstování řas jako biomasy má také nevýhody. Například vyšší náklady na pěstování než u konvenčních plodin, také sklizeň řas vyžaduje vysoký energetický vstup.

Technologii přeměny řasové biomasy na obnovitelná paliva můžeme rozdělit do tří kategorií, a to biochemické, termochemické a chemické procesy, viz obrázek č. 3.6. Díky této přeměně je možné vyrobit bionaftu, bioethanol, biovodík a další, které vidíme na obrázku níže (Behera et al., 2015).



Obr. 3.6 Proces přeměny řas na výrobu biopaliv (Behera et al., 2015)

Samotná výroba zahrnuje několik kroků a to plánování, pěstování mikrořas, sklizeň, konverze mikrořas na výsledný produkt. Výsledný produkt může být vodík, metan, syntetický plyn, etanol, nafta, butanol atd. Každý produkt je převeden různými chemickými procesy (Chowdhury a Loganathan, 2019).

Výroba bionafty z řas

Pro výrobu bionafty se používají především tyto druhy řas – *Kirchneriella lunaris*, *Ankistrodesmus fusiformis*, *Chlamydocapsa bacillus* a *Ankistrodesmus falcatus*. Používají se z toho důvodu, že obsahují vysoké množství polynenasycených FAME. Tyto druhy běžně za 24 hodin zdvojnásobují svou biomasu.

Výroba bionafty se skládá těchto kroků – sklizeň a sušení mikrořas, těžba oleje a transesterifikace. Sklizeň mikrořas vyžaduje větší energie než sklizeň makrořas. Sklízí se konvenčními procesy, které zahrnují filtraci, flokulaci, centrifugaci, frakcionaci pěny, sedimentaci a další. Výběr procesu sklizně závisí na druhu řasy. Sušení je důležitou částí výroby. Zamezuje znehodnocení biomasy po sklizni. Sušení může probíhat v bubnu, lyofilizací nebo sušení rozprašováním. Těžba oleje může probíhat mechanickou extrakcí nebo extrakcí na bázi rozpouštědel. Po vylisování oleje následuje transesterifikace. Pro tuto reakci lze použít různé alkoholy. Avšak nejvíce se používá methanol a ethanol z důvodu nízké nákladnosti a díky

fyzikálním a chemickým přednostem. Reakce transesterifikace probíhá za přítomnosti katalyzátoru nebo lipázového enzymu. Reakce probíhá v přebytku 3 mol alkoholu. Jelikož je glycerol hustší, než bionafta musí být pravidelně z reaktoru odstraňován, jinak by nedošlo k rovnovážné reakci. Biodiesel tedy vzniká promýváním vodou, aby se odstranil methanol a glycerol (Behera et al., 2015).

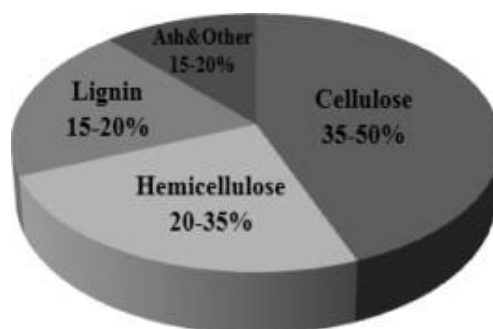
4 Aplikace pokročilých biopaliv v dopravě

V této části práce bude věnována pozornost třem pokročilým biopalivům, a to bioetanol II. generace, hydrogenovanému rostlinnému oleji a syntetické naftě vyrobené na bázi Fischer-Tropschovy syntézy.

4.1 Bioetanol 2. generace

Výroba bioetanolu druhé generace se odlišuje především vstupní surovinou, která je na základě lignocelulózových a dřevitých surovin. Jako vstupní suroviny se používají zemědělské zbytky (sláma, řepné řízky), rychle rostoucí energetické plodiny (vrba, eukalyptus), zbytky ze zpracování dřeva a další dřevnatý odpad (piliny, kůra) ale také se používá papír nebo lepenka (Hromádko et al., 2010a).

Lignocelulózová biomasa se skládá z 30-50 % celulózy, 20-35 % hemicelulózy, 15-20 % ligninu, viz. obrázek 4.1. Celulóza ($C_6H_{10}O_5$)_x je hlavním komponentem lignocelulózové biomasy. Je to polysacharid složený z D-glukosy a glukosidových vazeb. Patří mezi sacharidy nerozpustné ve vodě a většinou organických rozpouštědel (Haghighi Mood et al., 2013). Hemicelulóza ($C_5H_8O_4$)_m je heterogenní polysacharid umístěný v sekundárních buněčných stěnách. Na složení se podílí glukóza a různé monosacharidy jako jsou pentózy, hexózy nebo uronové kyseliny (Wyman et al., 2017). Díky své nepravidelné a rozvětvené struktuře je hemicelulóza lehkou hydrolyzovatelná. Lignin tvoří jen 15-20% celulózové biomasy. Je to aromatický polymer, jehož molekula je složena z prekurzorů fenylpropanoidů, ty se skládají z syringylu, guaiacylu a p-hydroxyfenolu. Lignin je odolný proti biologickému rozkladu, a proto ho nelze fermentovat. Po oddělení, ať už ve fázi hydrolýzy nebo fermentace, se dá následně využít k výrobě tepla nebo elektrické energie (Haghighi Mood et al., 2013).



Obr. 4.1 Složení lignocelulózové biomasy (Haghighi Mood et al., 2013)

Vlastnosti

Z tabulky č. 4.1 je zřejmé, že bioetanol má velmi nízkou výhřevnost oproti benzínu a naftě. Ve srovnání s naftou má nízké cetanové číslo a velmi malou mazací schopnost. Benzin má nižší oktanové číslo než bioetanol. Pokud bychom přidali bioetanol do benzínu došlo by ke zvýšení oktanového čísla, ale také tlaku par. U nízkoprocenních směsí bioetanolu s benzínem může

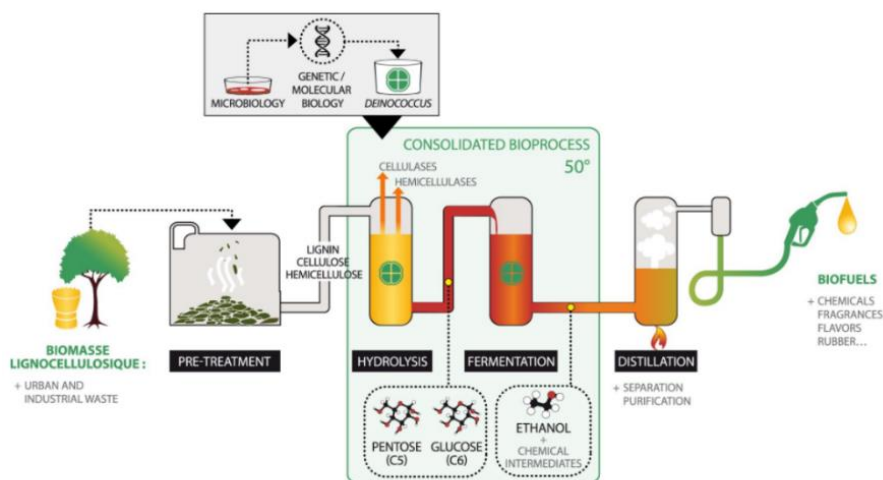
dojít k separaci fází – voda a líh + benzin. Tato separace může způsobovat, že bioetanol, který přešel do vodní fáze, bude způsobovat korozi nebo bude agresivně působit na některé pryže a plasty (Hromádko et al., 2011b).

Tab. 4.1 Porovnání základních vlastností motorové nafty, benzínu a bioethanolu (Hromádko et al., 2011b)

Veličina	Jednotka	Nafta	Benzín	Bioetanol
Hustota (při 15 °C)	kg/m ³	~ 830	~ 750	794
Výhřevnost	kWh/kg	11,8	12	7,44
Hmot. podíl kyslíku	%	< 0,6	< 2,7	34,7
Oktanové číslo		-	91-100	108
Cetanové číslo		>51	-	7

Výroba

Prvním krokem ve výrobě je protřídění skladované dřevěné štěpky nebo slámy. Odstraní se extrémně velké kusy a zbytek se rozmělní a drtí pro další zpracování. Díky této mechanické úpravě dojde k narušení struktury a lepšímu následnému působení enzymů. Dalším krokem je napařování. V procesu předsacharizace při 170–200 °C vzniká výluh celulózy z biomasy. Následujícím krokem v celulózním reaktoru dochází pomocí kyselin k rozkladu vodíkových vazeb řetězců celulózy, čímž se naruší struktura polymeru. Při teplotě 200-300 °C je celulóza rozložena na cukry rozpustné ve vodě a je již možnost jej fermentovat obvyklým způsobem. Odstranění ligninu z výroby je dalším krokem. Dále je roztok fermentován pomocí kvasnic při teplotě 35°C. Kvasnice jsou v následné fázi odstraněny a fermentační kaše se přesouvá do procesu destilace. Během tohoto procesu dojde k oddělení bioethanolu od fermentační kaše. Odpadem výroby bioethanolu jsou lihové výpalky, které jsou ihned spalovány nebo používány jako bioplyn (Hromádko et al., 2011a). Grafické schéma výroby bioethanolu druhé generace je znázorněno na obrázku 4.2 (Paul Vande Cruys, 2021).



Obr. 4.2 Schéma výroby bioethanolu druhé generace (Paul Vande Cruys, 2021)

Využití bioetanolu v zážehových motorech

Bioetanol se v zážehových motorech používá většinou v nízkoprocentních směsích. Nízkoprocentuální příměsi do benzínu nijak obzvlášť nemění vlastnosti benzínu. Podle normy ČSN EN 228 lze do benzínu přimíchávat biosložku do maximálně 5 % obj. Vzhledem k závazkům splnění 10% podílu v biopalivech je potřeba využívat čistá biopaliva nebo vysokoprocentní směsi biopaliv a benzínu (Hromádko et al., 2011b).

Palivo E85 je vysoce účinná směs benzínu a etanolu. Obsahuje 85 % etanolu a 15 % benzínu. Přidáním benzínu k etanolu dochází ke zlepšení vlastností při nízkých teplotách (Tutak, 2014). Toto palivo je možné využívat ve vozidlech FFV – Flexi Fuel Vehicle. Tyto vozidla se mohou pohybovat jak benzin, tak i na bioetanolovou složku – až do 85 %. Úprava motoru pro používání paliva E85 spočívá v úpravě řídicí jednotky motoru, která spočívá v prodloužení doby vstřiku paliva. Cena této úpravy se pohybuje od 5 až do 15 tisíc. Palivo E85 je dostupné běžně na čerpacích stanicích v západní Evropě. U nás není příliš k dostání vzhledem k nízkému počtu vozidel, které by toto palivo mohli využívat a vyšší cena paliva. Přínosem používání E85 jako paliva je snížení produkce CO o 30 %, produkce nespálených uhlovodíků až o 21 % a produkce Nox o 31% (Hromádko et al., 2011b).

Využití bioetanolu ve vznětových motorech

Hlavním problémem použití bioetanolu ve vznětových motorech je nízká vznětlivost, důležitá je přítomnost důležitých aditiv. Palivo pro vznětové motory je označuje E95 a je složeno 95 % bioetanolem a zbylých 5 % jsou aditiva, která slouží pro zvýšení vznětlivosti. Vzhledem k těmto neduhům je potřeba úprava motoru vozidla. Ta spočívá v změně dimenzování vstřikovacího systému a zvýšení kompresního poměru na 25 a více. Takto upravené motory využívá firma Scania, kde ve Stockholmu provozuje 200 městských autobusů. Kvůli výraznému nárůstu produkce emisí musí být vozidla na E95 vybavena oxidačním katalyzátorem, který jejich produkci eliminuje. Variant řešení je více jedním z nich je například přidávání bioetanolu přímo do motorové nafty. Zde je však problém s mísitelností obou paliv a nízkou stálostí směsi, je však možnost tyto dvě vlastnosti podpořit přísadkou například butanolu (Hromádko et al., 2011b).

4.2 Hydrogenovaný rostlinný olej

Hydrogenované oleje jsou směsi parafinových uhlovodíků, které neobsahují aromatické látky, síru ani kyslík a mají vysoké cetanové číslo (Aatola et al., 2008). B100, biodiesel, FAME nebo také bionafta vyráběná fermentací mastných kyselin na bázi triglycerinů má spoustu nevýhod oproti HVO, a to nízkou výhřevnost nebo také způsobuje korozi kovových materiálů. Hlavní nevýhodou je nízká oxidační stabilita, kdy dochází kvůli produkci oxidačních produktů bionafty až k rychlému znehodnocení motorového oleje. Z toho důvodu se zavedl proces hydrogenace nebo hydrogenační rafinace namísto fermentačních procesů. Finská společnost Neste Oil patří mezi nejznámější rafinérie vyrábějící HVO. Neste Oil používá pro hydrogenovaný rostlinný olej obchodní název NExBTL, které označuje pokročilé palivo

a biopalivo druhé generace. Tato finská firma nabízí také 100% palivo pod názvem Neste Green 100. Výrobou HVO se dále zabývá americká firma Honeywell UOP s produktem Green Diesel, z Francie společnost Axens IFP a jejich produkt Vegan nebo také UPM s jejich výsledným produktem BioVerno (Šimáček a Vrliška, 2017; No, 2014; Krajíček Ivo, 2012).

HVO, Hydrotreated Vegetable Oil neboli hydrogenovaný rostlinný olej spadá do novodobých způsobů metod výroby vysoce kvalitní výroby bionafty. Pro jeho výrobu může být použit palmový olej, řepkový olej, použitý olej například z domácností, restaurací nebo také živočišný tuk (Scania, 2021). Produkty vyráběné z opotřebovaných kuchyňských olejů a odpadních tuků jsou nazývány HEFA – Hydrotreated esters and fatty acid (Šimáček a Vrliška, 2017). Výhody hydrogenovaného rostlinného oleje je vyšší energetický obsah než u paliv z esterů, dále znamenitá kvalita spalování jako u paliv vyrobených Fischer-Tropschovo syntézou, vynikající tepelná a skladovací stabilita, hydrogenovaný olej má mimo jiné dobré vlastnosti při nízkých teplotách (No, 2014). Je obecně známo, že vlastnosti HVO jsou velmi podobné k motorové naftě GTL, která je vyráběná Fischer-Tropschovo syntézou a je považována za nejlepší motorovou naftu vzhledem k motorům a výfukovým plynům. (No, 2014).

Využití

Hydrogenovaný olej je možné použít v optimalizovaných nízkoemisních diesellových motorech, využití je možné u městských autobusů, vysokozdvíhových vozíků nebo u důlních vozidel (Aatola et al., 2008). Obnovitelnou naftu lze používat celoročně jelikož nevykazuje problémy související s provozem za studena, ředěním motorového oleje nebo stabilitou při skladování (Neste Corporation, 2016).

Normy EN v Evropě definují vlastnosti paliv, které jsou důležité pro provozuschopnost, životnost a emise z výfuku vozidel. Nezohledňují, zda je původ uhlíku v palivu fosilní nebo obnovitelný, jelikož to nemá vliv na měření emisní z výfukových plynů (Neste Corporation, 2016).

Hydrogenovaný rostlinný olej firmy Neste Oil splňuje tyto EN normy:

- splňuje požadavky normy EN 15940 pro parafinická motorová nafta;
- je povoleno použití jako směsné složky v motorové naftě EN 590 B7 bez stanoveného maximálního procenta;
- označení „XTL“ v maloobchodních prodejnách, podle EN 16942;
- splňuje požadavky ASTM D975 (Neste Corporation, 2016).

Norma EN 15940 zahrnuje hydrogenačně rafinovanou parafinickou obnovitelnou naftu a syntetické produkty Fischer-Tropschovy syntézy – GTL, BTL a CTL. Pokud se parafinická nafta používá jako směšovací složka nemusí splňovat normu EN 15940. EN 15940 má dva hlavní druhy paliv – vysoká cetanová třída A (minimálně 70) a normální cetanová třída B (minimálně 51). Norma EN 590 omezuje použití FAME na maximálně 7 % obj. v motorové naftě „B7“, která je dostupná v maloobchodech. Jelikož HVO patří do skupiny uhlovodíků mísitelných s uhlovodíkovou maticí, tak není jako směsná složka upravován normou EN 590.

Norma EN 16734 umožňuje až 10% příměsi FAME v motorové naftě. Použití HVO je povoleno bez jakýchkoliv pevných limitů, pokud výsledná směs vyhovuje EN 16734. Norma EN 16709 definuje podíl FAME složky v B20 a B30. B20 může obsahovat od 14-20% biosložky a palivo B30 24-30 %. Tyto paliva lze použít pouze ve vyhrazených flotilách, jelikož nesplňují požadavek na hustotu maximálně 845 kg/m³ pro tržní paliva. ASTM D975 je norma ve Spojených státech amerických pro naftová paliva vhodná pro vznětové motory. V tabulce č. 4.2 je srovnání tří norem a to EN 15940, EN 590 a ASTM D 975 (Neste Corporation, 2016).

Tab. 4.2 Požadavky EN 15940, EN 590 a ASTM D975 (Zeman et al., 2019)

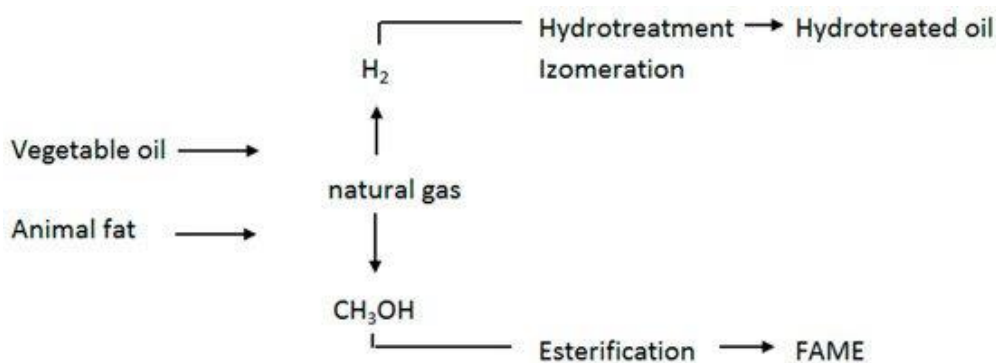
Parametr	Jednotka	EN 15940	EN 590	ASTM D975
Cetanové číslo		≤ 70,0	≥ 51,0	≥ 40
Hustota při 15°C	kg/m ³	765-800	820-845	
Viskozita při 40°C	mm ² /s	2,00-4,50	2,00-4,5	1,9-4,1
Obsah síry	mg/kg	≤ 5,0	≤ 10,0	≤ 15
Bod vzplanutí	°C	> 55	> 55	> 52
Lubricita HFRR při 60°C	μm	≤ 460	≤ 460	≤ 520
CFPP	°C	≥ - 34	≥ - 34	-
Obsah popela	%m/m	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01
Celkový obsah nečistot	mg/kg	≤ 24	≤ 24	-

Vlastnosti HVO

Hustota paliva byla důležitým faktorem, neboť ovlivňuje maximální výkon a objemovou spotřebu paliva motorů. Nízká hustota HVO je důsledkem parafinické povahy a nízkého konečného bodu varu. Nižší hustota může být i výhodná. Při použití HVO jako směšovací složky při výrobě motorové nafty umožní použití těžších frakcí, které by jinak měli nižší zisk. Destilace HVO se pohybuje v podobném rozmezí evropské letní nafty a to ~ 180 ° C až ~ 360 ° C je typická hodnota bodu varu. Ve srovnání s FAME má HVO nižší konečný bod varu. Viskozita HVO je při -15 °C přibližně 15mm²/s, ve srovnání s fosilními palivy je hodnota dost podobná. Vlastnosti za studena se stanovují pomocí bodu zákalu, CFPP neboli bodu, kdy dojde k ucpaní studeného filtru a bodu tuhnutí. CFPP a bod tuhnutí je možné upravit za studena u mnoha druhů naft. Cetanové číslo hydrogenovaného rostlinného oleje se pohybuje od 70–95. Přimícháváním HVO do motorové nafty dochází k zvyšování cetanového čísla lineárně podle směšovacího poměru. Stabilita hydrogenovaného oleje je srovnatelná k fosilními palivy a díky dobré stabilitě nepotřebuje termín minimální trvanlivosti. Oxidační stabilita je ustálená minimálně na 15 let. Výskyt síry v HVO byl snížen na 0,5mg/kg, proto je vhodné rostlinný olej používat pro ve směsích s naftou pro snížení obsahu síry. Obsah nečistot je nižší než 0,001 %. Ve srovnání s naftou HVO nijak nezapáchá a je bezbarvá. Stejně jako bezsirná motorová nafta nebo GTL, vyžaduje přísadu, která zajistí potřebnou mazovitost (Neste Corporation, 2016).

Výroba

Hydrogenační zpracování rostlinných olejů se také označuje jako hydrokrakování nebo hydrogenace. Termín hydrogenace může být zavádějící, jelikož v potravinářském průmyslu je hydrogenace známá jako proces pro ztužování tuků. Proces hydrogenace olejů je alternativou k transesterifikaci pro výrobu bionafty z biomasy. Produkty této reakce se nyní nazývají jako Nová motorová nafta (Aatola et al., 2008; Šimáček et al., 2010). Na obrázku č. 4.3 je vyobrazené schéma výroby HVO a FAME (Zeman et al. 2019).



Obr. 4.3 Zjednodušené schéma pro výrobu hydrogenovaných olejů a methylesterů mastných kyselin (Zeman et al. 2019)

Podle Šimáčka hydrogenace rostlinného oleje probíhá ve třech reakcích:

- Hydrogenace dvojných vazeb přítomných v nenasycených řetězcích vázaných mastných kyselin.
- Hydrodeoxygenace, která vede k odstranění atomů kyslíku z karboxylové skupiny ve formě vody.
- Hydrodekarboxylace, která vede k eliminaci karboxylové skupiny ve formě oxidu uhličitého (Šimáček et al., 2010).

Hydrogenace probíhá ve vodíkové atmosféře při teplotě zhruba kolem 300-420 °C a tlaku do 20MPa. Za těchto podmínek dochází k více zmíněným reakcím. Během hydrogenace dochází nejprve k nasycení dvojných vazeb mastných kyselin vázaných na molekule triglyceridů. Poté dochází k vlastnímu štěpení vazeb triglyceridů. To může probíhat dvěma způsoby hydrodeoxygenací nebo hydrodekarboxylací. Během procesu hydrodeoxygenace dojde k rozkladu molekuly triglyceridu za vzniku propanu, 6 molekul H₂O a 3 molekul n-alkanů. Produktem hydrodeoxygenace je C₁₈H₃₈ neboli n-oktadekan. Hydrodekarboxylace je druhou možností rozkladu triglyceridu. U této reakce vzniká propan, 3 molekuly oxidu uhličitého a 3 molekuly n-alkanů. Hlavním produktem hydrodekarboxylace je C₁₇H₃₆, tedy n-heptadekan. Pokud by docházelo k přeměně rostlinných olejů hydrodekarboxylací došlo by ke snížení výtěžnosti uhlovodíků o 5 % z důvodu ztráty uhlíku v podobě oxidu uhličitého. Hydrodeoxygenace vyžaduje 4x více vodíku než hydrodekarboxylace. Při hydrogenaci se uplatňují oba způsoby rozkladu. Ovšem záleží na katalyzátoru a reakčních podmínkách. Při vyšších teplotách probíhají dvě reakce, a to izomerace a cyklomerace (Šimáček Pavel et al., 2016). Hydroizomerizace je klíčovým procesem získání uhlovodíků. Je to radikální reakce, kde

dochází k větvení uhlovodíkových molekul dosaženo pomocí selektivních katalyzátorů, jako jsou kyselé katalyzátory nebo zeolity. Výsledkem hydroizomerizace je palivo s nižším bodem tuhnutí a cetanovým číslem (Zeman et al., 2019). Vedlejší produkty procesu hydrogenace jsou CO₂, CO, propan a voda (Neste Corporation, 2016). Vzniklý propan lze spalovat a využívat jako zdroj energie (Arvidsson et al., 2011).

V tabulce 4.3 je znázorněn rozdíl mezi výrobou bionafty a HVO. Je zřejmé, že hydrogenovaný olej lze získat odlišným procesem výroby (No, 2014).

Tab. 4.3 Srovnání procesu výroby paliva mezi bionaftou a HVO (No, 2014)

	Surovina	Proces	Ko-čínidlo	Katalyzátor	Vedl. produkt
Bionafta	Rostlinný olej	Transesterifikace	Alkohol	NaOH, KOH, alkylan sodný	Glycerol
HVO	Rostlinný olej	Hydrogenační rafinace	Vodík	NiMo, CoMo, NiW/Al ₂ O ₃	Propan

Pro proces hydrogenace se používají podobné typy katalyzátorů jako u rafinace ropných produktů. Běžně používané jsou nikl, molybden, kobalt a wolfram na nosiči, což bývá alumina nebo zeolity. Drahé kovy jako jsou platina nebo paladium se také používají jako katalyzátory (Šimáček Pavel et al., 2016).

4.3 Paliva na bázi Fischer-Tropschovy syntézy

Zrod Fischer-Tropschovy syntézy zasahuje až do počátku 20. století. Němečtí vědci z Kaiser Wilhelm Institute, Franz Fischer a Hans Tropsch, si v roce 1926 nechali patentovat technologii výroby kapalných uhlovodíků z uhlí. Obzvláště Německo uvítalo vynález Fischera a Tropsche, díky nim mohlo vyrábět velké množství benzínu z uhlí během druhé světové války. Na začátku využívání technologie nebyly produkty příliš kvalitní. Ovšem po dalších investicích došlo ke zdokonalení technologie a Německo tak vyrobilo 23,4 mil. tun benzínu (Peer et al., 2013).

Vlastnosti

Fischer-Tropschova syntéza je příkladem exotermní heterogenní katalyzované reakce s katalyzátory na bázi železa nebo kobaltu a velice důležité je odvádění vznikajícího tepla z reaktoru. V současnosti se považuje za nejperspektivnější výroba těžké syntetické ropy nízkoteplotní Fischer-Tropschovou syntézou v reaktoru. Syntézní plyn zde probublává suspenzí kobalt katalyzátoru v kapalném produktu syntézy (Pospíšil et al., 2012).

Výroba motorové nafty Fischer-Tropschovou syntézou představuje velmi kvalitní a čistý produkt pro motorová vozidla s vznětovým motorem. Vlastnosti, které se u produktu dají definovat jsou například energetický obsah, hustota, viskozita a bod vzplanutí. V porovnání vlastností s klasickou naftou je motorová nafta z Fischer-Tropschovy syntézy kvalitnější hned v několika aspektech, které jsou ilustrovány v tabulce č. 4.4 (Pospíšil et al., 2012).

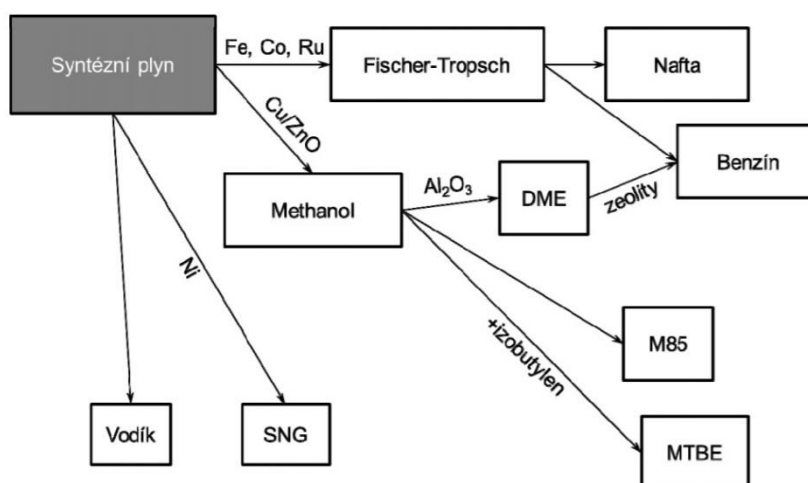
Tab. 4.4 Porovnání vlastností klasické a syntetické motorové nafty (Pospíšil et al., 2012)

Vlastnosti paliva	Jednotka	Syntetická MN z FT syntézy	Klasická MN
Cetanové číslo		>74	50
Hustota při 15 °C	g/cm ³	0,78	0,84
Výhřevnost	MJ/kg	44	42,7
Výhřevnost	MJ/l	34,3	35,7
Stechiom. poměr vzduch/palivo	hm.		14,5
Teplota samovznícení	°C	~ 250	250
Kinematická viskozita při 20 °C	mm ² /s	3,6	4
Bod vzplanutí	°C	72	77

Jak je z tabulky patrné má motorová nafta z FT syntézy vyšší cetanové číslo, které ukazuje snadnější vzněcování. Součástí není síra ani aromatické sloučeniny, což indikuje čistší spalování (Pospíšil et al., 2012).

Syntézní plyn

Syntézní plyn neboli syngas je vstupní surovinou Fischer-Tropschovy syntézy. Složky syntézního plynu jsou vodík – H₂ a oxid uhelnatý – CO. Pro výrobu alternativních paliv je důležitý poměr těchto dvou plynů. Ze syntézního plynu lze vyrobit palivo Fischer-Tropschovo syntézou nebo metanizací. Syntézní plyn je možné přeměnit i na jisté chemikálie, jak je znázorněno na obrázku č. 4.4 (Pohořelý et al., 2012).



Obr. 4.4 Konverze syntézního plynu na různé produkty (Pohořelý et al., 2012)

Získání syntézního plynu je možné různými způsoby. Získávat ho můžeme z uhlí, zemního plynu, biomasy nebo petrochemických frakcí. Prvním krokem výroby alternativních paliv je výroba a čištění syntézního plynu. Čištění je odvozeno od způsobu výroby. V první řadě je důležité odstranit dehty a prachové částice. Důležitou fází je odpuštění vodní páry. Následně pomocí roztoku hydroxidu dojde k odstranění sloučenin síry a halogenů. Plyn je dále převeden

do reaktoru s obsahem oxidů zinku a mědi, kde dochází k likvidaci stopových množství organických a anorganických sloučenin síry. Dalším krokem je upravení poměru vodíku a oxidu uhelnatého. Aby mohl syntézní plyn vstoupit do další fáze musí být ochlazen a stlačen tlakem 2-3 MPa (Peer et al., 2013)

Podmínky Fischer-Tropschovy syntézy

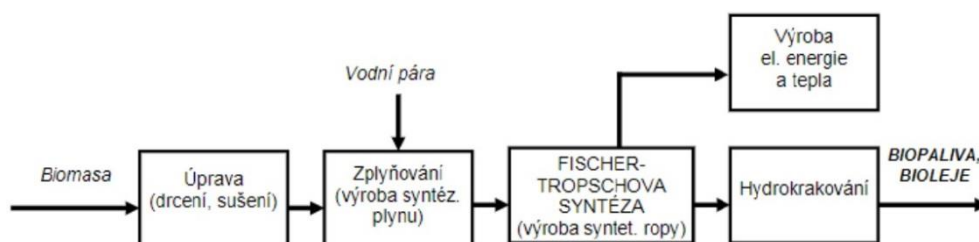
Aby syntéza proběhla bez problémů je důležité dodržovat ideální podmínky. Teplota během syntézy dosahuje 220-350°C. Reakce probíhá při tlaku 2-3 MPa. Důležitý je poměr vodíku k oxidu uhelnatému, ten je ideálně 2:1. Jelikož se jedná o reakci silně exotermní dochází během syntézy k uvolnění páry (Peer et al., 2013).

Důležitou součástí syntézy jsou katalyzátory, bez nich by reakce neproběhla. Obecný princip katalyzátorů je zvýšení rychlosti reakce. U této syntézy se používají reaktanty v pevném skupenství tzv. heterogenní katalyzátory. Nejčastěji využívanými jsou na bázi železa nebo kobaltu, který je obohacen rutheniem. Dále používané katalyzátory jsou na bázi niklu, ty se však používají pro výrobu metanu. Ruthenium jako katalyzátor patří mezi neaktivnější, ale také mezi nejdražší, jeho cena se pohybuje okolo desítek tisíc (Peer et al. 2013; Schulz 1999). Katalyzátory mohou být v reaktoru ve formě sypané vrstvy, u fluidních reaktorů je katalyzátor ve vznosu, díky proudícímu syntéznímu plynu ze spodu reaktoru. Další možností je umístění katalyzátoru na tyčích, takovéto reaktory se nazývají „slurry reactors“ (Peer et al., 2013).

Syntéza může probíhat jako vysokoteplotní nebo nízkoteplotní. Při teplotě 250 °C a použití kobaltového katalyzátoru probíhá nízkoteplotní proces. Během tohoto procesu vznikají nasycené uhlovodíky. Nízkoteplotní proces je vhodný pro výrobu motorových paliv nebo maziv. Vysokoteplotní způsob výroby probíhá, jak název napovídá, za vyšších teplot než nízkoteplotní. Teplota se zde pohybuje okolo 300 °C, u tohoto způsobu se využívá železný katalyzátor. Reaktory s fluidní ložem a cirkulujícím katalyzátorem jsou vhodné pro vysokoteplotní syntézu. Produkty vysokoteplotního procesu jsou především metan, ethan a propan, ty jsou vhodné pro výrobu benzínu (Peer et al., 2013; Schulz, 1999).

Proces výroby

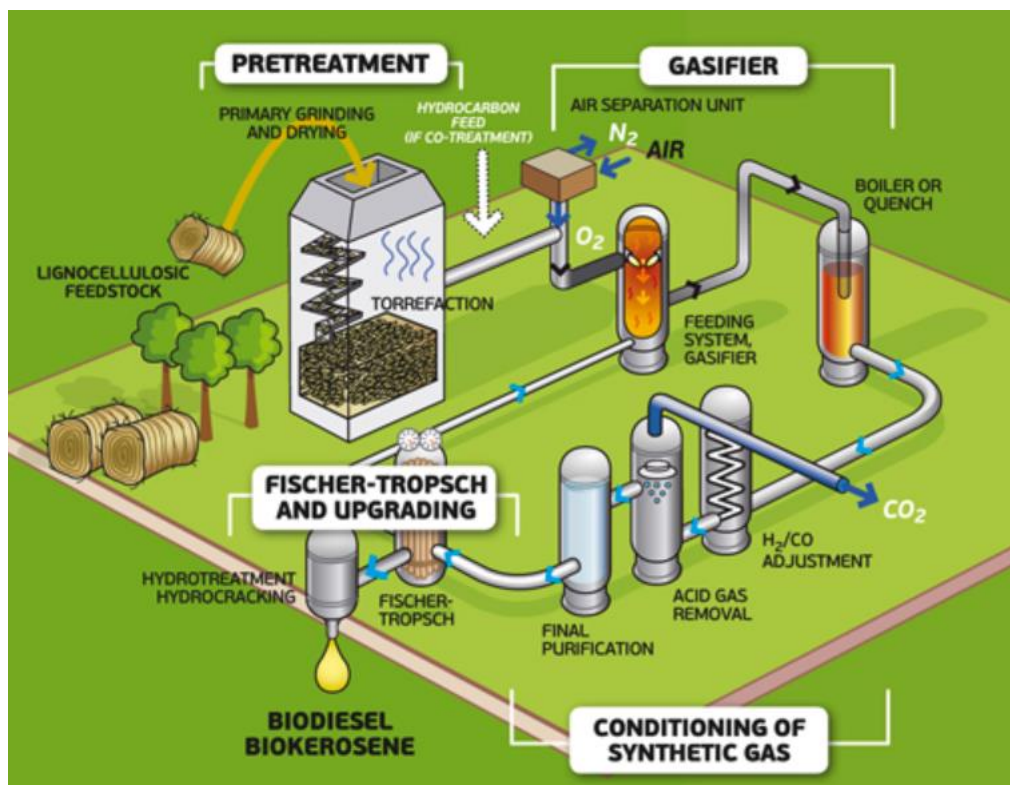
Obrázek 4.5 znázorňuje proces výroby kapalných biopaliv od vstupu biomasy po konečný produkt biopaliva (Pospíšil et al., 2012).



Obr. 4.5 Schéma výroby kapalných biopaliv Fischer-Tropschovou syntézou (Pospíšil et al., 2012)

Výroba kapalných biopaliv Fischer-Tropschovo syntézou opět začíná mechanickou úpravou surovin. Dalším významným krokem je výroba a čištění syntézního plynu neboli zplyňování biomasy. Pro jeho výrobu je možné použít lignocelulózovou nebo i celulóзовou biomasu jako jsou například zbytky ze zemědělské výroby (seno, lihovarské výpalky atd.). Zplyňování suroviny probíhá při teplotě 900 °C, kdy biomasa částečně oxiduje v přítomnosti kyslíku. Kyslík je zde využíván především, že neobsahuje dusík, ale jeho výroba je nákladná. Proto další možností je využití vzduchu. Výsledným produktem zplyňování je syntézní plyn. Samotná Fischer-Tropschova syntéza probíhá na aktivním centru na povrchu katalyzátoru. Kde dochází k adsorpci CO₂ a H₂. Održením kyslíku z molekuly oxidu uhelnatého dojde k rozštěpení celé molekuly, což dá za vznik uhlíkovému řetězci. Díky dalšímu rozštěpování molekuly CO₂ se uhlíkový řetězec prodlužuje. Tento proces skončí, jakmile je celý povrch katalyzátoru zaplněn. V dalším kroku dochází k čištění a zušlechťování. Surové palivo je podřízeno několika krokům, a to ochlazení a vyloučení syntézní vody, destilaci a hydrokrakování. Výsledkem Fischer-Tropschovy syntézy je syntetická nafta, která díky procesu destilace a hydrokrakování získá vyšší cetanové číslo (Peer et al., 2013; Hromádka et al., 2010a).

Na obrázku 4.6 je znázorněno blokové schéma výroby bionafty a biokerosenu. Je to projekt BioTfuel®, který je realizován v severní Francii (IFPEN, 2010).



Obr. 4.6 Výrobní řetězec BioTfuel® ve 4 krocích (IFPEN, 2010)

Využití

Drážďanská firma Sunfire vyrábí z CO₂ a vody pomocí elektrolýzy a následně Fischer-Tropschovo syntézou vyrábí konečný produkt tzv. E-crude. Tu je možné následně v rafinérii přeměnit na naftu nebo benzín a používat bez jakékoliv úpravy motoru (PETROLmedia s.r.o, 2020).

5 Trend a budoucí vývoj

V poslední části práce bude objasněna budoucnost a využití obnovitelných zdrojů a vývoj biopaliv do roku 2030 a 2050. Dále také ekonomická stránka biopaliv.

5.1 Budoucnost obnovitelných zdrojů

V této kapitole je věnována pozornost rozdělení obnovitelným zdrojům energie a pohonům jako obnovitelným zdrojům.

5.1.1 Obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje jsou zdroje, které jsou neustále obnovovány. Energie pochází z přírodních pramenů například ze slunce, vody, větru nebo biomasy. Trh s obnovitelnými zdroji je velmi proměnlivý. Děje se tomu z důvodu klesajících cen a vyšší poptávce po čistších energetických zdrojích (Ellabban et al., 2014).

Biomasa

Energie z biomasy pochází k energeticky pěstovaných plodin, z půdy nebo z odpadních částí vznikajících při výrobě potravin nebo jiných produktů. Energie se přeměňuje na teplo, elektřinu nebo kapalná biopaliva. Tyto přeměny probíhají termochemickými a biotermickými procesy. Do těchto procesů se řadí pyrolýza, spalování, zplyňování a anaerobní disegce. Produkty z biomasy jako jsou například biopaliva pomáhají snižovat emise skleníkových plynů, také redukuje závislost na dovážené ropě a produktů z ní vyrobených (Ellabban et al., 2014).

Vodní energie

Vodní energie se získává na principu energie průtoku vody a turbín, které energii zachytí a přemění na elektřinu. Přehrady patří mezi nejběžnější formu vodní energie. Ještě častější formy energie jsou přílivové a vlnové energie. Největší vodní elektrárny se nachází v Brazílii a v Číně, obě elektrárny vyprodukuje 80–100 TW hodin za rok (Ellabban et al., 2014).

Solární energie

Solární energie přeměňuje sluneční energii na elektřinu především k ohřevu vody. Takováto přeměněna se uskutečňuje díky fotovoltaickým a solárním systémům. Fotovoltaické systémy fungují na principu přímé přeměny na elektřinu. Solární systémy vyrábějí elektřinu shromažďováním slunečního záření, která se následně využívá k ohřevu vody, pevných látek nebo plynu (Ellabban et al., 2014).

Větrná energie

Definice větrné energie spočívá v přeměně větrné energie turbínami na užitečnou formu energie. Využívají se větrné turbíny pro výrobu elektřiny, dále větrné mlýny produkující mechanickou energii nebo větrná čerpadla pro čerpání nebo odvodnění vody. První větrné turbíny určené pro výrobu elektřiny vznikly již na počátku 20. století (Ellabban et al., 2014).

5.1.2 Pohony z obnovitelných zdrojů

V strategických plánech na podporu udržitelné dopravy se klade důraz na používání alternativních paliv. Proto je rozvoj technologií na výrobu alternativních paliv v plném proudu a hledá se co nejpříznivější palivo budoucnosti. Řadí se sem například biopaliva, vodík, elektřina nebo bioplyn. Elektřina jako pohon se může používat přímo v bateriových elektrických vozidlech nebo v plug-in elektrických vozidlech. Elektřina může být dále přeměněna na vodík a použita ve vozidlech s palivovými články nebo se spalovacím motorem. Elektřina je do baterií dodávána z veřejné sítě, ukládá se v bateriích a následně je využívána jako pohon elektromobilových vozidel. Hybridní vozidla zahrnují v pohonném systému jak spalovací motor, tak i elektromotor. Plug-in hybrid je vozidlo, které lze dobíjet z veřejné sítě. Využití vodíku jako paliva je z emisního hlediska vhodnější použití palivových článků a elektrických motorech oproti vnitřního spalování vodíku. Vodík je možné získávat jinou cestou než elektřinou, a to například zplyňováním biomasy (Jorgensen, 2008).

Při hodnocení alternativních paliv se zahrnují tyto parametry:

- Energetické a environmentální dopady;
- Dojezd vozidla;
- Hmotnost a objem zásobníků energie, palivových článků a systému pohonu;
- Náklady na nákup a provoz vozidel;
- Životnost důležitých komponentů a další (Jorgensen, 2008).

Není reálné zvolit jednu technologii nebo palivo jako nejlepší volbu budoucnosti. Vozidla poháněná na elektrický pohon budou energeticky efektivnější než vozidla na vodíkový pohon. Vzhledem k rozdílnostem posuzovaných kritérií alternativních paliv je pravděpodobné, že se na trhu budou vyskytovat různé produkty (Jorgensen, 2008).

5.2 Biopaliva do roku 2030

Trh se silničními palivy v roce 2020 obsahoval druhy těchto paliv:

Automobilové benziny spravované podle ČSN EN 228:

- Benzin E0 s nulovým obsahem biosložky
- Benzin E5 s 5% obsahem bioetanolu nebo bioethyltercbutyletheru
- Benzin E85 s obsahem bioetanolu až 85 % a 15 % benzinu BA95

Motorové nafty podle ČSN EN 590:

- Motorová nafta bez obsahu biopaliva
- Motorová nafta s obsahem biopaliva od 0 do 7 %

Další nabídky na trhu jsou:

- Směsné palivo s minimálním obsahem 30 % MEŘO podle normy ČSN 656508
- Bionafta v podobě čistého MĚRO nebo FAME
- Zkapalněné ropné plyny podle normy ČSN EN 589
- Stlačená zemní plyn řídicí se normou ČSN EN 656517 (Pozdrazil a Třebický, 2018)

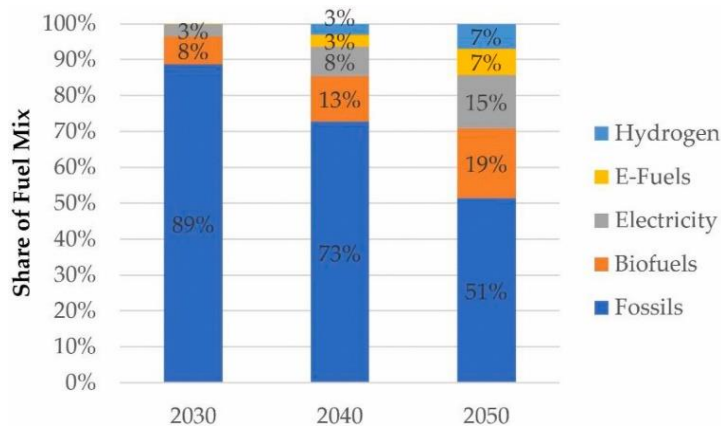
V budoucnu se předpokládá, že hlavní biopalivem na trhu bude hydrogenovaný rostlinný olej. Především kvůli svým výborným vlastnostem a vlivu na motor je možné ho přimíchávat do nafty s 30% podílem. Produkce HVO se plánuje v rafinérii Unipetrol v Litvínově (Pozdrazil a Třebický, 2018).

Závazný cíl Evropské unie do roku 2030 v oblasti spotřeby energie je 32 % podle směrnice o podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie. Cílem členských států využití energie v dopravě činí 14 %. Biopaliva první generace by se na tomto cíli měli podílet méně než 7 %. EU podporuje rozvoj pokročilých biopaliv, jelikož se vyrábí z nepotravinářské biomasy, jako je například odpad z domácností, kaly z čističky odpadních vod, bagasa, odpad a zbytky z lesnictví a mnoho dalších druhů biomasy. V oblasti pokročilých biopaliv by podíl do roku 2022 měl být 0,2 %, v roce 2025 vzrůst na 1 % a v roce 2030 by podíl pokročilých biopaliv měl být až 3,5 %. Podle aktualizovaných kritérií udržitelnosti, které zamezují narušení biodiverzity a ničení cenných ekosystémů také kladou požadavky na minimální úsporu skleníkových plynů, musí biopaliva vyrobená od 5.10.2015 vykazovat úsporu skleníkových plynů minimálně 60 %. Pro biopaliva vyrobená od termínu 1.1.2021 musí vykazovat úsporu již o něco vyšší a to 65%, pro paliva vyprodukovaná po roce 2021 musí splnit úsporu 70% (Doležal, 2018).

5.3 Biopaliva do roku 2050

Podle Zelené dohody pro Evropu a směrnice RED II byly stanoveny závazné cíle, kdy by Evropská unie měla být klimaticky neutrální do roku 2050. Tyto cíle by měli zamezit nárůstu teploty planety až o 2°C. Pokud by se Země oteplila o 5 °C došlo by tání ledovců, povodním, hurikánů, tajfunů nebo k velkému suchu. Takové klimatické jevy ovlivňují zemědělství a následnou produkci potravin. Jelikož doprava je nejkritičtější oblastí v produkci emisí. Doprava představuje přibližně 20 % spotřeby energie v Evropě. Z této celkové spotřeby energie 98 % spotřeba fosilních paliv. Vzhledem k celkovému snížení oxidu uhličitého je žádoucí využívání biopaliv, které neuvolňují velké množství CO₂ (Evropská komise, 2019). Důležitým aspektem k rozvoji biopaliv v dopravě do roku 2050 bude především investice a finanční podpora vývoje nových technologií. S předpokládaným nárůstem světové populace na 9 miliard a s tím související růst spotřeby potravin o 70% je důležitý rozvoj technologií, které zajistí globální bezpečnost potravin (Kurzy, 2021).

Na obrázku č. 5.1 je viditelné, že fosilní paliva budou v budoucnu stále dominantní, ještě v roce 2050 budou zaujímat více než 50 %. Ovšem je vidět, že se hodnota fosilních paliv postupně snižuje a je nahrazována biopalivy a elektřinou, kde hodnoty rostou. Postupem času se rozšiřuje i poptávka po HVO, což je viditelné z grafu níže (Chiaramonti et al., 2021).



Obr. 5.1 Průměrné projekce palivové směsi v analyzovaných scénářích (Chiaramonti et al., 2021)

5.4 Ekonomické hodnocení biopaliv

Výrobní náklady biopaliv jsou odlišné, a především závisí na cenách vstupních surovin, způsobu technologie výroby, rozsahu provedené rafinace a následné využití vedlejších produktů a odpadů. Náklady se liší také například místem produkce vstupních surovin. Mezi nejvyšší náklady patří paliva ze škrobových plodin - 963 euro/1000 l, nejlevnější by pak byla výroba bionafty, a to za použití odpadního oleje nebo tuku, což by vycházelo na 395 euro/1000 l. Tyto náklady obsahují výrobu, dopravu, přeměnu a distribuci (Ryan et al., 2006).

V roce 2008 vláda schválila novelu zákona o spotřební dani, která osvobozuje čistá biopaliva od daňové povinnosti. U paliva s vysokým obsahem biopaliva je od daně oproštěn do výše podílu biosložky. Tento zákon vyplývá z Programu podpory dalšího uplatnění biopaliv v dopravě. Ministerstvo financí poskytuje podporu pro všechny výrobce v České republice. Tato podpora se vztahuje na biopaliva druhé generace, FAME, FAEE – Ethylestery mastných kyselin, bioetanol, SMN30 – směsná motorová nafta s obsahem 31 % MEŘO, ETBE, bioplyn, rostlinný olej. Skutečná výše podpory biopaliv je zobrazeny v tabulce č. 5.1 níže (Víceletý program podpory dalšího uplatnění biopaliv v dopravě, 2008).

Tab. 5.1 Výše podpory podle podporovaných biopaliv (Víceletý program podpory dalšího uplatnění biopaliv v dopravě, 2008)

Biopalivo	Skutečná výše podpory (CZK/L)	Sazby spotřební daně z fosilních paliv (CZK/L)
FAME	9,95	9,95
SMN30	3,084	6,866
Bioetanol	11,84	11,84
Bioetanol pro výrobu ETBE	11,84	11,84
E85	10,064	11,84
E95	9,95	9,95
Čistý rostlinný olej	9,95	9,95

Analýza technologií výroby bioethanolu dle Piccolo a Bezzo (2009)

Technicko-ekonomická analýza srovnává dvě technologie výroby bioethanolu. První proces je konverze lignocelulózy hydrolyzou a fermentace, druhý proces probíhá nejprve zplyňováním lignocelulózy a následnou fermentací (Piccolo a Bezzo, 2009).

Technologie EHF neboli proces hydrolyzy a fermentace patří mezi nejvyspělejší technologie. Probíhá v těchto pěti krocích: předúprava biomasy, hydrolyza celulózy, fermentace, separace a zpracování odpadních vod. Jako vstupní surovina byly použity mokré třísky z tvrdého dřeva se složením 22,1% celulózy, 9,9% hemicelulózy, 20,4% ligninu a 47,7% vlhkosti. Náklady na výrobu bioethanolu se stanovují podílem celkových ročních nákladů a vyprodukovaného paliva (Piccolo a Bezzo, 2009).

V tabulce č. 5.2 je seznam komponentů výrobních nákladů na výrobu bioethanolu, který předpokládá dobu odpisu 5 let. Předpokládá se, že výroba energie není ovlivňovaná změnou některých parametrů. Nejvíce proměnnou jsou náklady na suroviny. Ty tvoří 35,5 % celkových nákladů na výrobu. Závěrem této analýzy je přibližná cena etanolu vymezena na 0,80 EUR/l (Piccolo a Bezzo, 2009).

Tab. 5.2 Komponenty výrobních nákladů pro technologii EHF (Piccolo a Bezzo, 2009)

	€ ročně ($\times 10^{-5}$)	€/l
Biomasa	366	0,173
Ostatní suroviny	563	0,266
Práce	95	0,044
Nakládání s odpady	7	0,003
Odpisy (5 let)	291	0,138
Úvěr na elektřinu	-16	-0,011
Celkové výrobní náklady	1321	0,556

Proces výroby GF je proces zplyňování a následné fermentace. Zahrnuje nejdůležitější krok, a tím je zplyňování biomasy, čištění plynu, dále proces fermentace, odtud vedou dva výstupy, a to pro kapalnou fázi a plynou. Z kapalně fáze je produkován bioetanol a z plynné fáze vzniká elektřina (Piccolo a Bezzo, 2009).

Tab. 5.3 Komponenty výrobních nákladů pro výrobu GF (Piccolo a Bezzo, 2009)

	€ ročně ($\times 10^{-5}$)	€/l
Biomasa	366	0,256
Ostatní suroviny	1,5	0,001
Práce	25	0,181
Odpisy (5 let)	711	0,516
Úvěr na elektřinu	-78	-0,055
Celkové výrobní náklady	1251	0,908

Tabulka č. 5.3 ukazuje výčet komponentů ve výrobě technologií zplyňování biomasy, kde se opět počítá s odpisy na 5 let. Jestliže by byla doba odpisu 10 let, celkové náklady na produkt by klesly na 0,65 EUR/l. Podle analýzy citlivosti, stejně jako u předchozí technologie, je cena suroviny značně ovlivňující. Konečnou cenu paliva ovlivňuje z 67 %. Vzhledem k vysokým vstupům a investicím do této technologie se cena výsledného paliva zrcadlí. Prodejní cena bioetanolu získaného technologií GF by se pohybovala okolo 1,20 EUR/l, aby se dosáhlo krátkodobé návratnosti vkladů (Piccolo a Bezzo, 2009).

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vymezit možnosti využití pokročilých biopaliv v dopravě, uvést odpovídající legislativu a provést systemizaci obnovitelných zdrojů jako pohonu pro silniční vozidla. Pokročilá biopaliva jsou pokročilá v tom směru, že se pro jejich výrobu používá výhradně nepotravinářská biomasa.

V první části byly definovány pojmy k osvětlení této bakalářské práce a biopaliv. V rámci strategie EU byly popsány Pařížská dohoda, Green Deal a jednotlivé Strategie Evropské unie. Pařížská dohoda navazuje na Kjótský protokol z roku 1997. Tato dohoda byla přijata v roce 2015 a plnění ambiciózní cílů se účastní všechny státy světa. Mezi její hlavní cíle patří redukovat produkci skleníkových plynů a tím omezit oteplování planety. Green Deal neboli Zelená dohoda pro Evropu chce zajistit přechod na čisté oběhové hospodářství. Principem oběhového hospodářství je sdílet, pronajmout, znovu použít, opravit a recyklovat. Také zamezuje produkci výrobků s plánovanou poruchovostí. Klimaticko-energetický balíček do roku 2020 má za cíl snížit emise skleníkových plynů o 20 % zatím co strategie do roku 2030 má za plán snížit emise až o 55 %. Plánem dlouhodobé strategie je mít klimaticky neutrální Evropu do roku 2050.

Národní plán čisté mobility podporuje rozvoj a vývoj technologií výroby biopaliv, dále také má snahu prosadit používání biopaliv v České republice. Kritéria udržitelnosti definuje Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší. Kritéria udržitelnosti mají dvě podmínky první podmínkou je, že každé biopalivo musí být prokázáno původem. Druhá podmínka je, že musí být důkaz o snížení skleníkových plynů během celého života biopaliva ve srovnání s fosilními palivy.

Alternativní paliva se označují nejen paliva z obnovitelných zdrojů energie, ale také varianty k fosilním palivům. Alternativní paliva můžeme rozdělit na plynná paliva a biopaliva. Mezi plynná paliva řadíme CNG a LPG, biopaliva mohou být používána v čisté formě nebo používána jako příměsi do fosilních paliv. Další dělení je na paliva biologického nebo ropného původu.

Biopaliva můžeme členit na primární a sekundární. Sekundární biopaliva dále dělíme do tří generací. Biopaliva první generace využívají jako suroviny potravinářskou biomasu, což není z hlediska budoucnosti výhodné z důvodu konkurence k potravinám. Druhá generace biopaliv využívá jako vstupní surovinu pro výrobu nepotravinářskou biomasu a existuje zde menší riziko vzniku potravinové krize. Třetí generace biopaliv je vyráběna z řasové biomasy a její výhodou je menší spotřeba vody a schopnost růstu po celý rok.

Další část práce se zabývá třemi pokročilými biopalivy, která jsou využívána v dopravě. Bioetanol druhé generace se odlišuje vstupní surovinou, kterou jsou zejména zemědělské zbytky, rychle rostoucí energetické plodiny, zbytky ze zpracování dřeva a další dřevnatý odpad. Výroba bioetanolu probíhá v několika krocích. Při výrobě vznikají lihové výpalky jako odpadní produkt. Tyto výpalky se mohou buďto přímo spalovat nebo používat jako bioplyn. Proces hydrogenace nahradil výrobu bionafty fermentací především kvůli výborným vlastnostem hydrogenovaného rostlinného oleje. Možné použití hydrogenovaného oleje je v nízkoemisních naftových motorech. Využívat by jej měli především autobusy městské dopravy, vysokozdvizné vozíky nebo důlní vozidla. Dva němečtí vědci Fischer a Tropsch si v roce 1926

nechali patentovat technologii výroby kapalných uhlovodíků, což dalo za vznik Fischer-Tropschově syntéze. Pro tuto výrobu je důležitý syntézní plyn, který je vstupní surovinou. Skládá se z vodíku a oxidu uhelnatého, pro syntézu je důležitý poměr těchto dvou plynů, který je 2:1. Fischer-Tropschova syntéza probíhá v těchto krocích – úprava biomasy, zplyňování, Fischer-Tropschova syntéza a hydrokrakování. Výsledným produktem je syntetická motorová nafta.

V poslední části byla pozornost věnovaná trendu a budoucímu vývoji jak v oblasti biopaliv, tak i jiných obnovitelných zdrojů. Obnovitelné zdroje energie se dělí na větrnou, solární, vodní energii a energii z biomasy. V rámci strategií se klade důraz na používání alternativních paliv. V současné době je na trhu vidět nejvíce elektřina používaná pro pohon vozidel. Elektřina je využívána v několika formách. Může být použita přímo v bateriových elektrických vozidlech, nebo v plug-in elektrických vozidlech. Na trhu se vyskytují vozidla s názvem plug-in hybrid nebo hybrid. Vozidla na hybridní pohon ve svém systému zahrnují spalovací motor i elektromotor, plug-in hybridy je možné dobíjet z veřejné sítě.

Podle závazných cílů Evropské unie do roku 2030 by se měla pokročilá biopaliva podílet až 3,5 % na společném plánu spotřeby energie. V budoucnu se předpokládá, že hydrogenovaný rostlinný olej bude nejvíc žádaným palivem. Rostoucí popularita tohoto paliva je především kvůli svým vynikajícím vlastnostem, kterým konkuruje nynějším palivům. Konečnou cenu biopaliv ovlivňuje především cena vstupních surovin a technologie výroby. Čistá paliva jsou od roku 2008 oprostěna od daňové povinnosti. Paliva s obsahem biosložky, jsou též oprostěna od spotřební daně ovšem pouze v podílu obsažené biosložky. Zákon o spotřební dani se vztahuje na tyto paliva – biopaliva druhé generace, FAME, FAEE – Ethylestery mastných kyselin, bioetanol, SMN30 – směsná motorová nafta s obsahem 31 % MEŘO, ETBE, bioplyn, rostlinný olej.

V poslední etapě této bakalářské práce byla popsána ekonomická analýza výroby bioethanolu druhé generace. Popsány byly dvě různé výroby bioethanolu. Konverze lignocelulózy hydrolýzou a fermentace a zplyňování lignocelulózy s následnou fermentací. U obou technologií výroby nejvýznamněji ovlivňuje výslednou cenu vstupní surovina. U procesu hydrolýzy a fermentace ovlivňuje cenu vstupní surovina z 35,5 % a konečná cena bioethanolu byla odhadnuta na 0,80 EUR/l. Druhou popisovanou technologií zplyňování a fermentace ovlivňuje cena vstupních surovin z 67 %. Prodejní cena bioethanolu získaného touto technologií byla stanovena na 1,20 EUR/l.

7 Literatura

AATOLA, Hannu, Martti LARMI a Teemu SARJOVAARA, 2008. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO_x, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. *SAE International Journal of Engines* [online]. **1**. Dostupné z: doi:10.4271/2008-01-2500

ABBASZAADEH, Ahmad, Barat GHOBADIAN, Mohammad Reza OMIDKHAH a Gholamhassan NAJAFI, 2012. Current biodiesel production technologies: A comparative review. *Energy Conversion and Management* [online]. **63**, 10th International Conference on Sustainable Energy Technologies (SET 2011), 138–148. ISSN 0196-8904. Dostupné z: doi:10.1016/j.enconman.2012.02.027

ARVIDSSON, Rickard, Sara PERSSON, Morgan FRÖLING a Magdalena SVANSTRÖM, 2011. Life cycle assessment of hydrotreated vegetable oil from rape, oil palm and Jatropha. *Journal of Cleaner Production* [online]. **19**(2), 129–137. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2010.02.008

BEHERA, Shuvashish, Richa SINGH, Richa ARORA, Nilesh Kumar SHARMA, Madhulika SHUKLA a Sachin KUMAR, 2015. Scope of Algae as Third Generation Biofuels. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* [online]. **2** [vid. 2021-04-22]. ISSN 2296-4185. Dostupné z: doi:10.3389/fbioe.2014.00090

BOBÁL, Vladimír, 1999. *Praktické aspekty samočinně se nastavujících regulátorů: algoritmy a implementace*. Brno: VUTIUM. ISBN 978-80-214-1299-6.

BUSINESSINFO, 2011. Strategie Doprava 2050. *BusinessInfo.cz* [online]. [vid. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/navody/strategie-doprava-2050/>

CABUZEL, Thierry, 2020a. 2030 Climate Target Plan. *Climate Action - European Commission* [online] [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/2030_ctp_en

CABUZEL, Thierry, 2020b. European Climate Law. *Climate Action - European Commission* [online] [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/law_en

CABUZEL, Thierry, 2020c. European Climate Pact. *Climate Action - European Commission* [online] [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/pact_en

CONSILIUM EUROPA, 2021a. *Pařížská dohoda o změně klimatu* [online] [vid. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/climate-change/paris-agreement/>

CONSILIUM EUROPA, 2021b. *Zelená dohoda pro Evropu* [online] [vid. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/green-deal/>

ČT24, Česká, 2008. Biopaliva mají podíl na potravinové krizi. *ČT24 - Nejdůvěryhodnější zpravodajský web v ČR - Česká televize* [online] [vid. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/archiv/1456249-biopaliva-maji-podil-na-potravinove-krizi>

DIAS, Marina O. S., Adriano V. ENSINAS, Silvia A. NEBRA, Rubens MACIEL FILHO, Carlos E. V. ROSSELL a Maria Regina Wolf MACIEL, 2009. Production of bioethanol and other bio-based materials from sugarcane bagasse: Integration to conventional bioethanol production process. *Chemical Engineering Research and Design* [online]. **87**(9), Special Issue on Biorefinery Integration, 1206–1216. ISSN 0263-8762. Dostupné z: [doi:10.1016/j.cherd.2009.06.020](https://doi.org/10.1016/j.cherd.2009.06.020)

DOLEŽAL, Jan, 2018. Rámec pro rozvoj biopaliv po roce 2020 do roku 2030. *Biom.cz* [online]. **20**(9). ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/ramec-pro-rozvoj-biopaliv-po-roce-2020-do-roku-2030>

ELLABBAN, Omar, Haitham ABU-RUB a Frede BLAABJERG, 2014. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. **39**, 748–764. ISSN 1364-0321. Dostupné z: [doi:10.1016/j.rser.2014.07.113](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113)

EVROPSKÁ KOMISE, 2019. *Na cestě ke klimatické neutralitě do roku 2050*. 2019.

EVROPSKÁ KOMISE, 2021. Zelená dohoda pro Evropu. *Evropská komise - European Commission* [online] [vid. 2021-03-12]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_cs

EVROPSKÁ UNIE, 2016a. 2020 climate & energy package. *Climate Action - European Commission* [online] [vid. 2021-03-14]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en

EVROPSKÁ UNIE, 2016b. 2030 climate & energy framework. *Climate Action - European Commission* [online] [vid. 2021-03-14]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en

EVROPSKÁ UNIE, 2016c. 2050 long-term strategy. *Climate Action - European Commission* [online] [vid. 2021-03-14]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en

EVROPSKÁ UNIE, 2016d. NER 300 programme. *Climate Action - European Commission* [online] [vid. 2021-03-14]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund/ner300_en

EVROPSKÁ UNIE, 2016e. Progress made in cutting emissions. *Climate Action - European Commission* [online] [vid. 2021-03-14]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress_en

- EVROPSKÁ UNIE, 2021a. *Zelená doprava* [online] [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: https://europa.eu/climate-pact/priority-topics/green-transport_en
- EVROPSKÁ UNIE, 2021b. *Zelené budovy* [online] [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: https://europa.eu/climate-pact/priority-topics/green-buildings_en
- EVROPSKÁ UNIE, 2021c. *Zelené dovednosti* [online] [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: https://europa.eu/climate-pact/priority-topics/green-skills_en
- EVROPSKÁ UNIE, 2021d. *Zelené plochy* [online] [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: https://europa.eu/climate-pact/priority-topics/green-areas_en
- EVROPSKÝ PARLAMENT, 2018. *Oběhové hospodářství: definice, význam a přínos | Zpravodajství | Evropský parlament* [online] [vid. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/economy/20151201STO05603/obehove-hospodarstvi-definice-vyznam-a-prinos>
- HAGHIGHI MOOD, Sohrab, Amir HOSSEIN GOLFESHAN, Meisam TABATABAEI, Gholamreza SALEHI JOUZANI, Gholam Hassan NAJAFI, Mehdi GHOLAMI a Mehdi ARDJMAND, 2013. Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. **27**, 77–93. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2013.06.033
- HLUK&EMISE, 2021. *Hluk & Emise* [online] [vid. 2021-03-22]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/emise/alternativni-paliva/>
- HÖNIG, V., 2013. *Paliva a maziva*. 2013. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-2432-9.
- HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, P. MILER, V. HÖNIG a M. CINDR, 2010a. Technologies in Second-generation Biofuel Production. *Chemické listy* [online]. **104**(8) [vid. 2021-01-19]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/1272>
- HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, P. MILER, V. HÖNIG a P. ŠTĚRBA, 2011a. Use of Bioethanol in Combustion Engines. *Chemické listy* [online]. **105**(2) [vid. 2021-02-10]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/1180>
- HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Petr MILER, V. HÖNIG a Pavel ŠTĚRBA, 2010b. Výroba bioetanolu. 267–270.
- HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Petr MILER, Vladimír HÖNIG a Pavel ŠTĚRBA, 2011b. Využití bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech. 122–128.
- HYBRID, 2020. Hybrid.cz. *Hybrid.cz* [online] [vid. 2021-03-22]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/v-cesku-vyrostopu-prvni-tri-verejne-vodikove-cerpaci-stance>

CHIARAMONTI, David, Giacomo TALLURI, Nicolae SCARLAT a Matteo PRUSSI, 2021. The challenge of forecasting the role of biofuel in EU transport decarbonisation at 2050: A meta-analysis review of published scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. **139**, 110715. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2021.110715

CHOWDHURY, Harun a Bavin LOGANATHAN, 2019. Third-generation biofuels from microalgae: a review. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* [online]. **20**, Bioresources, Biomass, Bio-fuels and Bioenergies, 39–44. ISSN 2452-2236. Dostupné z: doi:10.1016/j.cogsc.2019.09.003

IFPEN, 2010. Inauguration of the BioTfuel® project demonstrator in Dunkirk: 2nd generation biodiesel and biokerosene production up and running. *IFPEN* [online] [vid. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/inauguration-biotfuelr-project-demonstrator-dunkirk-2nd-generation-biodiesel-and-biokerosene-production-and-running>

INDUSTRY EU, 2021. *Pohonné hmoty a ostatní provozní kapaliny - Industry EU* [online] [vid. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.industry-eu.cz/auto/pohonne-hmoty-a-ostatni-provozni-kapaliny/>

JORDÁN, Hynek, 2015. *Ministerstvo zemědělství k problematice biopaliv – časté otázky a odpovědi (eAGRI)* [online] [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/mze/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/x2014_ministerstvo-zemedelstvi-k-problematice.html

JORGENSEN, K., 2008. Technologies for electric, hybrid and hydrogen vehicles: Electricity from renewable energy sources in transport. *Utilities Policy* [online]. **16**(2), Sustainable Energy and Transportation Systems, 72–79. ISSN 0957-1787. Dostupné z: doi:10.1016/j.jup.2007.11.005

KAŠTÁNEK FILIP, 2021. *Co jsou alternativní paliva | Přestavby a servis LPG, CNG, E85* [online]. [vid. 2021-03-22]. Dostupné z: <http://www.magicacoustic.cz/wordpress/alternativni-motorova-paliva/co-jsou-alternativni-paliva/>

KRAJÍČEK IVO, 2012. Výkonové a emisní parametry paliv s vysokým obsahem HVO. In: *Sborník přednášek 22. ročníku konference Reotrib 2016 - Kvalita paliv a maziv*. B.m.: VŠCHT Praha, s. 102–108. ISBN 978-80-7080-962-4.

KUGLETA, 2013. What is Horizon 2020? *Horizon 2020 - European Commission* [online] [vid. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>

KUMAR, Arun, Ashok MUNJAL a Rajesh SAWHNEY, 2011. Crude oil PAH constitution, degradation pathway and associated bioremediation microflora: an overview.

- KURZY, 2021. *IEA: Biopaliva by mohla do roku 2050 pokrýt až 27% paliv v dopravě* | Kurzy.cz [online] [vid. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/zpravy/265106-iea-biopaliva-by-mohla-do-roku-2050-pokryt-az-27-paliv-v-doprave/>
- LEE, Roland Arthur a Jean-Michel LAVOIE, 2013. From first- to third-generation biofuels: Challenges of producing a commodity from a biomass of increasing complexity. *Animal Frontiers* [online]. **3**(2), 6–11. ISSN 2160-6056. Dostupné z: doi:10.2527/af.2013-0010
- MA, Fangrui a Milford A HANNA, 1999. Biodiesel production: a review | Journal Series #12109, Agricultural Research Division, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska–Lincoln. *Bioresource Technology* [online]. **70**(1), 1–15. ISSN 0960-8524. Dostupné z: doi:10.1016/S0960-8524(99)00025-5
- MINISTERSTVO DOPRAVY, 2021. *Ministerstvo dopravy ČR - Koncepce veřejné dopravy* [online] [vid. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Dokumenty/Verejna-doprava/Pravni-predpisy/Zelena-a-bila-kniha-koncepce-verejne-dopravy>
- MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2005. *Akční plán pro biomasu* | MPO [online] [vid. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument1078.html>
- MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2015. *Národní akční plán čisté mobility* | MPO [online] [vid. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/narodni-akcni-plan-ciste-mobility--167456/>
- MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2020. *Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility* | MPO [online] [vid. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/aktualizace-narodniho-akcniho-planu-ciste-mobility--254445/>
- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2012. *Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012-2020: schválený vládou ČR dne 12.9.2012 pod č. j. 920/12*. Praha: Ministerstvo zemědělství. ISBN 978-80-7434-074-1.
- MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM, 2006. Vodíkový palivový článek - pohon budoucnosti? | MM Průmyslové spektrum. www.mmspektrum.com [online] [vid. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vodikovy-palivovy-clanek-pohon-budoucnosti>
- MŽP ČR, 2008. Alternativní paliva v dopravě. <http://> [online] [vid. 2021-03-22]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/alternativni_paliva_doprave
- MŽP ČR, 2012. Biopaliva. <http://> [online] [vid. 2021-02-17]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/biopaliva>
- MŽP ČR, 2014. Kritéria udržitelnosti. <http://> [online] [vid. 2021-02-17]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/kriteria_udrzitelnosti_ovzduši

- MŽP ČR, 2016. Pařížská dohoda. *http://* [online] [vid. 2021-03-12]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda
- NAIK, S. N., Vaibhav V. GOUD, Prasant K. ROUT a Ajay K. DALAI, 2010. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. **14**(2), 578–597. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2009.10.003
- NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 189/2018, 2018. 189/2018 Sb. Nařízení vlády o kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných ... *Zákony pro lidi* [online] [vid. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-189>
- NASA HISTORY DIVISION, 2021. *PROPELANTY* [online] [vid. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://history.nasa.gov/conghand/propelnt.htm>
- NESTE CORPORATION, 2016. *Neste Renewable Diesel Handbook* [online]. 2016. B.m.: Neste Propriety publitation. Dostupné z: https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf
- NO, Soo-Young, 2014. Application of hydrotreated vegetable oil from triglyceride based biomass to CI engines – A review. *Fuel* [online]. **115**, 88–96. ISSN 0016-2361. Dostupné z: doi:10.1016/j.fuel.2013.07.001
- ORLEN UNIPETROL, 2021. Proces zpracování ropy v ČR. In: . B.m.
- PEER, Václav, Jan NAJSER a Rafal CHLOND, 2013. Syntéza kapalných paliv. 64–68.
- PETROLEUM, 2021a. *petroleum.cz, Těžba ropy* [online] [vid. 2021-03-11]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/ropa/tezba-ropy.aspx>
- PETROLEUM, 2021b. *petroleum.cz, Zpracování ropy* [online] [vid. 2021-03-11]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/index.aspx>
- PETROLMEDIA S.R.O, 2020. *Pomohou k ochraně klimatu? - Petrol.cz* [online] [vid. 2021-05-03]. Dostupné z: <http://www.petrol.cz/magazin/2020/2020-05/pomohou-k-ochrane-klimatu-10714>
- PICCOLO, Chiara a Fabrizio BEZZO, 2009. A techno-economic comparison between two technologies for bioethanol production from lignocellulose. *Biomass and Bioenergy* [online]. **33**(3), 478–491. ISSN 0961-9534. Dostupné z: doi:10.1016/j.biombioe.2008.08.008
- POHOŘELÝ, Michael, Michal JEREMIÁŠ, Petra KAMENÍKOVÁ, Siarhei SKOBLIA a Karel SVOBODA, 2012. Zplyňování biomasy. *Chem. Listy*. 11.
- POSPÍŠIL, M., G. ŠEBOR, P. ŠIMÁČEK a Z. MUŽÍKOVÁ, 2012. Nové trendy výroby biopaliv a jejich využití v dopravě. *Chemické listy*. **106**(10), 953–960. ISSN 1213-7103.

POZDRAZIL, Miloš a Vladimír TŘEBICKÝ, 2018. *Technologické trendy v silniční dopravě: 1. etapa*. březen 2018.

PRIMAGAS, 2021. *LPG: propan a propan butan* [online] [vid. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.primagas.cz/co-je-lpg>

RODIONOVA, M. V., R. S. POUDYAL, I. TIWARI, R. A. VOLOSHIN, S. K. ZHARMUKHAMEDOV, H. G. NAM, B. K. ZAYADAN, B. D. BRUCE, H. J. M. HOU a S. I. ALLAKHVERDIEV, 2017. Biofuel production: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. **42**(12), 8450–8461. ISSN 0360-3199. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijhydene.2016.11.125

RYAN, Lisa, Frank CONVERY a Susana FERREIRA, 2006. Stimulating the use of biofuels in the European Union: Implications for climate change policy. *Energy Policy* [online]. **34**(17), 3184–3194. ISSN 0301-4215. Dostupné z: doi:10.1016/j.enpol.2005.06.010

SCANIA, 2021. Alternativní paliva. *Scania Česká republika* [online] [vid. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://www.scania.com/cz/cs/home/products-and-services/articles/alternative-fuels.html>

SCIENCE DAILY, 2021. Propellant. *ScienceDaily* [online] [vid. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.sciencedaily.com/terms/propellant.htm>

SHOW, Kuan-Yeow a Duu-Jong LEE, 2013. Chapter 13 - Bioreactor and Bioprocess Design for Biohydrogen Production. In: Ashok PANDEY, Jo-Shu CHANG, Patrick C. HALLENBECKA a Christian LARROCHE, ed. *Biohydrogen* [online]. Amsterdam: Elsevier, s. 317–337 [vid. 2021-04-07]. ISBN 978-0-444-59555-3. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-59555-3.00013-1

SCHULZ, Hans, 1999. Short history and present trends of Fischer–Tropsch synthesis. *Applied Catalysis A: General* [online]. **186**(1), 3–12. ISSN 0926-860X. Dostupné z: doi:10.1016/S0926-860X(99)00160-X

SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2003/30/ES, 2003. *EUR-Lex - 32003L0030 - EN - EUR-Lex* [online] [vid. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=celex:32003L0030>

SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2014/94/EU, 2014. *EUR-Lex - 32014L0094 - EN - EUR-Lex* [online] [vid. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0094>

SPEIGHT, James G., 2014. *The Chemistry and Technology of Petroleum, Fifth Edition*. B.m.: CRC Press. ISBN 978-1-4398-7389-2.

SVĚT VĚDY O ZEMI, 2021. *Fuels and Fuel Chemistry* / *Encyclopedia.com* [online] [vid. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.encyclopedia.com/science/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/fuels-and-fuel-chemistry>

ŠEBOR GUSTAV, POSPÍŠIL MILAN, a ŽÁKOVEC JAN, 2006. *Technicko-ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě*. 2006. B.m.: Vysoká škola chemicko-technologická.

ŠIMÁČEK, Pavel, David KUBIČKA, Gustav ŠEBOR a Milan POSPÍŠIL, 2010. Fuel properties of hydroprocessed rapeseed oil. *Fuel* [online]. **89**(3), 611–615. ISSN 0016-2361. Dostupné z: doi:10.1016/j.fuel.2009.09.017

ŠIMÁČEK, Pavel a Dan VRTIŠKA, 2017. MOTOROVÁ PALIVA VYRÁBĚNÁ HYDROGENACÍ ROSTLINNÝCH OLEJŮ A ŽIVOČIŠNÝCH TUKŮ. *Chem. Listy*. 7.

ŠIMÁČEK PAVEL, VRTIŠKA DAN, MUŽÍKOVÁ ZLATA, a POSPÍŠIL MILAN, 2016. Motorová paliva vyráběná hydrogenací rostlinných olejů a živočišných tuků. *Chemické listy*, 206–212.

TOPPR, 2018. Fuel Meaning & Definition - Types of Fuel, Fuel Efficiency. *Toppr-guides* [online]. [vid. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.toppr.com/guides/chemistry/combustion-and-fuel/introduction-to-fuel-and-fuel-efficiency/>

TUTAK, Wojciech, 2014. Bioethanol E85 as a fuel for dual fuel diesel engine. *Energy Conversion and Management* [online]. **86**, 39–48. ISSN 0196-8904. Dostupné z: doi:10.1016/j.enconman.2014.05.016

VÍCELETÝ PROGRAM PODPORY DALŠÍHO UPLATNĚNÍ BIOPALIV V DOPRAVĚ, 2008. Víceletý program podpory dalšího uplatnění biopaliv v dopravě. 10.

WYMAN, Charles E., Charles M. CAI a Rajeev KUMAR, 2017. Bioethanol from Lignocellulosic Biomass. In: Robert A. MEYERS, ed. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* [online]. New York, NY: Springer New York, s. 1–27 [vid. 2021-01-21]. ISBN 978-1-4939-2493-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4939-2493-6_521-3

ZÁKON Č. 194/2010 SB., 2010. 194/2010 Sb. Zákon o veřejných službách v přepravě cestujících. *Zákony pro lidi* [online] [vid. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-194>

ZEMAN, Petr, Vladimír HÖNIG, Martin KOTEK, Jan TÁBORSKÝ, Michal OBERGRUBER, Jakub MAŘÍK, Veronika HARTOVÁ a Martin PECHOUT, 2019. Hydrotreated Vegetable Oil as a Fuel from Waste Materials. *Catalysts* [online]. **9**(4), 337. Dostupné z: doi:10.3390/catal9040337

ZHANG, Y, M. A DUBÉ, D. D MCLEAN a M KATES, 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. *Bioresource Technology* [online]. **89**(1), 1–16. ISSN 0960-8524. Dostupné z: doi:10.1016/S0960-8524(03)00040-3

7.1 Seznam obrázků

Obr. 3.1 Zpracování ropy v ČR (ORLEN Unipetrol, 2021)	4
Obr. 3.2 Schéma oběhového hospodářství (Evropský parlament, 2018).....	8
Obr. 3.3 Blokové schéma výroby z jednoduchých cukrů (Hromádko et al., 2010b)	17
Obr. 3.4 Blokové schéma výroby ze škrobu (Hromádko et al., 2010b)	17
Obr. 3.5 Blokové schéma výroby bionafty (Šebor Gustav et al., 2006).....	19
Obr. 3.6 Proces přeměny řas na výrobu biopaliv (Behera et al., 2015).....	21
Obr. 4.1 Složení lignocelulózy biomasy (Haghighi Mood et al., 2013)	23
Obr. 4.2 Schéma výroby bioethanolu druhé generace (Paul Vande Cruys, 2021)	24
Obr. 4.3 Zjednodušené schéma pro výrobu hydrogenovaných olejů a methylesterů mastných kyselin (Zeman et al. 2019)	28
Obr. 4.4 Konverze syntézního plynu na různé produkty (Pohořelý et al., 2012)	30
Obr. 4.5 Schéma výroby kapalných biopaliv Fischer-Tropschovo syntézou (Pospíšil et al., 2012)	31
Obr. 4.6 Výrobní řetězec BioTfuel® ve 4 krocích (IFPEN, 2010)	32
Obr. 5.1 Průměrné projekce palivové směsi v analyzovaných scénářích (Chiaramonti et al., 2021)	37

7.2 Seznam tabulek

Tab. 3.1 Kritéria udržitelnosti paliv šetřících skleníkových plynů (Hönig et al., 2015)	13
Tab. 3.2 Porovnání vlastností MEŘO a klasické motorové nafty (Šebor Gustav et al., 2006)	18
Tab. 4.1 Porovnání základních vlastností motorové nafty, benzínu a bioethanolu (Hromádko et al., 2011b)	24
Tab. 4.2 Požadavky EN 15940, EN 590 a ASTM D975 (Zeman et al., 2019).....	27
Tab. 4.3 Srovnání procesu výroby paliva mezi bionaftou a HVO (No, 2014)	29
Tab. 4.4 4 Porovnání vlastností klasické a syntetické motorové nafty (Pospíšil et al., 2012).....	30
Tab. 5.1 Výše podpory podle podporovaných biopaliv (Víceletý program podpory dalšího uplatnění biopaliv v dopravě, 2008)	38
Tab. 5.2 Komponenty výrobních nákladů pro technologii EHF (Piccolo a Bezzo, 2009)	38
Tab. 5.3 Komponenty výrobních nákladů pro výrobu GF (Piccolo a Bezzo, 2009)	39