Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie

Využití upotřebených kuchyňských olejů pro pohon silničních vozidel

Diplomová práce

Autor: Bc. Filip Šmídek

Obor studia: Technologie odpadů

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Hönig, Ph.D. et Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Využití upotřebených kuchyňských olejů pro pohon silničních vozidel" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11.4. 2022 _____

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat doc. Ing. Vladimírovi Hönigovi, Ph.D. et Ph.D. za ochotu, rady a odborné vedení při zpracovávání této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Jenčíkovi za pomoc a rady, poskytnuté během laboratorních měření.

Využití upotřebených kuchyňských olejů pro pohon silničních vozidel

Souhrn

Ve snaze omezit svoji závislost na strategických surovinách jako ropa a nutnosti snížení produkce skleníkových plynů z rostoucího odvětví dopravy, bylo lidstvo nuceno hledat cesty, jak těchto cílů dosáhnout. Jednou z těchto cest je zavádění biopaliv. Objevil se však problém, kterým byla konkurence s potravinářským sektorem, proto s postupem času se začala věnovat větší pozornost používání odpadů jako vstupních surovin. V současnosti je podíl biosložky ve standardním fosilní naftě 7 %, ale s rostoucími požadavky na snížení uhlíkatých emisí z dopravy, lze očekávat postupné navyšování tohoto podílu.

Cílem této práce je stanovení mezí využitelnosti upotřebených kuchyňských tuků pro pohon vozidel. V první fázi se nachází obecný úvod do dané problematiky biopaliv a legislativy, kterou jsou ovlivňovány. Dále se této části nachází souhrn různých principů a vlivů, které hrají roli při produkci biopaliv a vlastností těchto pohonných hmot, které umožní proniknout do tématu. V experimentální části práce se nachází výsledky měření vlastních připravených bionaft z upotřebených kuchyňských olejů, které byly vyrobeny transesterifikací, a to z odděleně sbíraného slunečnicového a řepkového oleje, spolu s jejich směsmi v poměrech 10, 30 a 50 % přimíchávaných do fosilní nafty, která odpovídala normě ČSN EN 590 zimní třídy f. Ukázalo se, že všechny připravené směsi bionafty s fosilní naftou měli, spolu s čistou bionaftou z upotřebeného řepkového oleje, dobré nízkoteplotní vlastnosti, protože bod CFPP byl nižší než -20 °C. Vážným nedostatkem všech vzorků vlastních biopaliv a jejich směsí se ukázala nízká oxidační stabilita, která zdaleka nedosahuje požadavkům normy ČSN EN 590, která požaduje, aby tato hodnota byla alespoň 20 hodin.

Z výsledků experimentální části vyplývá, že v případě, kdy by se podařilo nízkou oxidační stabilitu bionafty vylepšit, nebo omezit její dlouhodobé skladování, bylo by možné používat až 30 % podíl biosložky vyrobené z upotřebených kuchyňských olejů ve směsích se standardní motorovou naftou, které by plnily ostatní normy na kvalitu stanovenou normou ČSN EN 590 pro zimní motorovou nafty třídy f.

Klíčová slova: biopaliva, životní prostředí, odpad, cirkulární ekonomika, odpadní tuky

Use of used cooking oils for the propulsion of road vehicles

Summary

In an effort to reduce its dependence on strategic raw materials such as oil and the need to reduce greenhouse gas emissions from the growing transportation sector, humanity has been forced to find ways to achieve these goals. One of these ways is the introduction of biofuels. However, there has been a problem with competition with the food sector, so over time more attention has been paid to the use of waste as a feedstock. At present, the share of the biodiesel in standard fossil diesel is 7 %, but with growing demands to reduce carbon emissions from transport, a gradual increase in this share can be expected.

The aim of this work is to determine the limits of usability of used kitchen oils for vehicle propulsion. In the first phase, there is a general introduction to the issue of biofuels and the legislation by which they are affected. Furthermore, this section contains a summary of the various principles and influences that play a role in the production of biofuels and the properties of these fuels that will introduce the topic. In the experimental part of the work is the results of measurements of own prepared biodiesel from used cooking oils, which were produced by transesterification, from separately collected sunflower and rapeseed oil, together with their mixtures in ratios of 10, 30 and 50 % mixed into fossil diesel, which corresponded to standard ČSN EN 590 winter class f.

All prepared biodiesel blends with fossil diesel, together with pure biodiesel from spent rapeseed oil, were shown to have good low temperature properties because the CFPP point was below -20 ° C. A serious shortcoming of all samples of own biofuels and their mixtures proved to be low oxidative stability, which falls far short of the requirements of the ČSN EN 590 standard, which requires this value to be at least 20 hours.

The results of the experimental part show that if the low oxidative stability of biodiesel could be improved or its long-term storage reduced, it would be possible to use up to 30 % of bio-components made from used cooking oils in blends with standard diesel, which would fulfill other quality standards specified by the ČSN EN 590 standard for winter diesel fuels of class f.

Keywords: biofuels, environment, waste, circular economy, waste fats

Obsah

1 Úvod **7**

2 Vědecká hypotéza a cíle práce **8**

3 Přehled současné situace **9**

3.1 Ropa – Vymezení pojmu **9**

3.2 Paliva – Vymezení pojmu **9**

3.3 Vymezení pojmu v oblasti alternativních paliv **9**

3.3.1 Alternativní paliva 9

3.3.2 Biopaliva 10

3.4 Strategie EU **12**

3.4.1 Pařížská dohoda 12

3.4.2 Green deal 13

3.4.3 Strategie EU pro 2020, 2030, 2050 14

3.5 Strategie ČR **17**

3.5.1 Národní akční plán čisté mobility 17

3.5.2 Koncepce veřejné dopravy 20

3.5.3 Akční plán pro biomasu 22

3.6 Shromažďování odpadních kuchyňských olejů **25**

3.6.1 Japonsko 25

3.6.2 Spojené státy 26

3.6.3 Evropa 26

3.6.4 Čína 26

4 Bionafta z odpadních olejů a tuků **29**

4.1 Methylestery z odpadních olejů a tuků **29**

4.1.1 Základní reakční mechanismy při produkci biodieselu 29

4.1.2 První vedlejší reakce: Saponifikace 29

4.1.3 Druhá vedlejší reakce: Hydrolýza 29

4.1.4 Esterifikace 29

4.1.5 Různé možnosti katalýzy 30

4.1.6 Faktory ovlivňující průběh katalýzy 31

4.1.7 FAME dle ČSN EN 14214+A2 34

4.1.8 Vlastnosti bionafty z kuchyňských odpadních olejů 34

4.1.9 Produkce pyrolýzou 35

4.1.10 Změna vlastností palivových směsí s rostoucím podílem biosložky 36

4.1.11 Sledované parametry pro naftu a bionaftu 37

4.2 Hydrogenovaný rostlinný olej **40**

4.2.1 Vlastnosti HVO 40

4.2.2 Výroba a suroviny ... 41
4.2.3 Mechanismus hydrogenace HVO ... 42

5 Metodika (experimentální část) ... 44
5.1 Výroba vzorků methylesterů odpadních olejů ... 44
5.2 Měření parametrů vyrobených biopaliv a jeho směsí ... 45
5.2.1 Destilační křivka ... 45
5.2.2 Hustota [při 15 °C, kg.m3-1] ... 46
5.2.3 Ztráta filtrovatelnosti CFPP (°C) ... 46
5.2.4 Oxidační stabilita ... 46
5.2.5 Kinematická viskozita ... 47
5.2.6 Bod vzplanutí ... 47
5.2.7 Cetanový index ... 47
5.2.8 Parametry paliva ... 48

6 Výsledky měření ... 49
6.1 Destilační křivka ... 50
6.2 Cetanový index ... 51
6.3 Hustota ... 51
6.4 Cold filter plugging point - (CFFP) ... 52
6.5 Oxidační stabilita ... 52
6.6 Kinematická viskozita ... 53
6.7 Obsah vody ... 53
6.8 Bod vzplanutí ... 54

7 Diskuze ... 55

8 Závěr ... 59

9 Literatura ... 60
9.1 Seznam obrázků ... 63
9.2 Seznam tabulek ... 65

1 Úvod

Doprava je jedním z nejdůležitějších pilířů moderní společnosti, bez kterého není možné její fungování. S tím, že dochází ke stálému růstu lidské populace a obchodu a s tím spojeného nárůstu vozidel zapojených do těchto systémů, více se projevují i negativní vlivy tohoto odvětví, a to zejména v oblasti poškozování životního prostředí a zvyšování závislosti na ropě. V rámci této diplomové práce „Využití upotřebených kuchyňských olejů pro pohon silničních vozidel“ do jisté míry navazuji na téma své bakalářské práce, která se zabývala biopalivy druhé generace a odpady, které je možné pro produkci těchto paliv použít. V této práci se blíže zaměřuji zejména na problematiku využití odpadních olejů pro produkci bionafty.

Tato paliva mají potenciál snižování produkce emisí, ačkoliv existují případy, kdy se v ohledu ekologie ukázala biopaliva, jako neefektivní s negativní energetickou bilancí, ale tento problém nastává zejména v případě plodin přímo pěstovaných za tímto účelem.

Toto téma jsem si vybral, protože jej považuji za aktuální a důležité. Produkce biopaliv omezuje spotřebu ropy, a tím umožnuje snižovat závislost na této strategické surovině. Zároveň upotřebení použitých kuchyňských olejů představuje jednu z cest, jak užitečně využít odpad, kterého se vyprodukuje značné množství, v rámci cirkulární ekonomiky, spolu s potencionální možností tvorby nových pracovních míst.

Práce obsahuje záznam experimentu zabývajícího se měřením vlastností methylesterů odpadních kuchyňský olejů, přičemž došlo k potvrzení, či vyvrácení hypotéz ohledně potencionálních negativních vlastností, které mohou mít spojitost s daným druhem paliva a vstupní suroviny. Dále dochází ke srovnání vlastností slunečnicového a řepkového oleje. Tyto výsledky jsou hodnoceny proti ČSN EN 590 normě, kterou musí paliva splňovat, aby bylo možné jejich legální použití a prodej.

Práce, kromě vlastního výzkumu, čerpá z norem, podle kterých byla prováděna měření vzorků vyrobených pro tento experiment. Další významné podklady tvoří směrnice a úmluvy Evropské unie, spolu s dokumenty zabývajícími se strategií v oblasti dopravy a paliv pro ČR a EU. Důležitým zdrojem jsou také vědecké časopisy. Všechny tyto zdroje hrají důležitou roli, pro zasazení této práce do kontextu.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotézy:

1. Bionafta z upotřebeného kuchyňského oleje má bez příslušných aditiv sníženou oxidační stabilitu neodpovídající normě.
2. Bionafta z upotřebeného kuchyňského oleje má CFPP při teplotách vyšších než 0 °C.

Cílem diplomové práce je stanovení mezí využitelnosti upotřebených kuchyňských olejů pro aplikace ve spalovacích motorech a experimentálně vyhodnotit parametry směsných paliv.

3 Přehled současné situace

Tato kapitola se zabývá zejména legislativou a strategií Evropské unie a České republiky, shromažďování vstupního odpadního oleje spolu s vymezením některých pojmů v oblastech důležitých pro tuto práci.

3.1 Ropa – Vymezení pojmu

Ropa v surovém stavu je tmavá, lepkavá tekutina, která je tvořena komplexními směsmi uhlovodíků s různorodou molekulovou hmotností spolu s dalšími organickými látkami. Vzhledem k její velmi dlouhé době vzniku se jedná o neobnovitelnou surovinu, která se běžně nachází pod zemským povrchem. Surová ropa obsahuje uhlík, vodík a nekovové prvky jako je síra. Je vysoce hořlavá a při spalování uvolňuje energii. Ke vzniku ropy došlo přeměnou zbytků prehistorických řas a zooplanktonu, který se usadil na dně moře nebo jiných těles vody, kde byl tento materiál pohřben pod vrstvou sedimentů bez přístupu vzduchu, za vzrůstající teploty a tlaku. Za těchto podmínek se začala tvořit ropa. (Kumar et al. 2011)

3.2 Paliva – Vymezení pojmu

Za paliva jsou považované látky, při jejichž spalování dochází k produkci tepla a energie. Energie je následně uvolňována jako chemická nebo tepelná. Tepelná energie, která se v procesu uvolnila může být použita pro mnoho účelů, například vaření, či průmyslovou výrobu V jiných případech dochází k přeměně energie tepelné na mechanickou, například při spalování benzínu v motorech. Výraz palivo je často používán pro pohonné hmoty, kde zahrnuje zejména ty, které se používají k pohonu motorů. V naprosté většině případů se jedná o směsi uhlovodíků v plynném či kapalném skupenství. (Toppr 2019)

3.3 Vymezení pojmu v oblasti alternativních paliv

Tato kapitola se zabývá vymezením pojmů v oblasti biopaliv.

3.3.1 Alternativní paliva

Zásoby fosilních paliv jsou na naší planetě omezené, rovněž jsou tato konvenční paliva zdrojem skleníkových plynů, proto je nutné hledat jiná alternativní paliva a zdroje energie. V současnosti je po celém světě vyvíjeno značné úsilí o nalezení těchto alternativních paliv, která by byla schopna plnit naše současné a budoucí požadavky na energii, bez toho, aby zesilovala vliv účinků globálního oteplování. V současnosti již proběhly srovnávací studie různých alternativních paliv, jako je ethanol, rostlinné oleje, glycerol, biomasa, bionafta, diethylether, vodík a další, spolu s jejich dopady na životní prostředí. Aby tato paliva bylo možné účinně využívat, jakožto alternativa ke konvenčním palivům, je nutné, aby byly srovnatelné jejich vlastnosti charakterizující použití materiálu jako paliva, zejména vlastnosti zapalování a spalování. V současnosti jsou zkoumány různé látky a jejich přírodní zdroje jakožto potencionální alternativy pro fosilní paliva, zejména ta z ropy. Kritéria pro jejich použití závisí do značné míry na tom, jak se látka srovnává se standardními fosilními palivy s ohledem na

požadované vlastnosti. Aktuálně jsou velmi oblíbené různé oleje, buď čisté, nebo jako příměsi do konvenčních fosilních paliv. (Sangeeta et al. 2014)

3.3.2 Biopaliva

Biopaliva mají díky svojí relativně pozitivní uhlíkové bilanci, v porovnání s fosilními palivy, ~~mají~~ značný potenciál, udržitelnost a schopnost napomoci hospodářskému růstu průmyslových zemí, díky možnosti jejich produkce z místně dostupných obnovitelných zdrojů. Stručně je možné tato biopaliva klasifikovat následovně:

1. Biopaliva-první generace jsou produkovány z potravinové biomasy
2. Biopaliva-druhé generace jsou vyráběny z široké škály surovin. Od lignocelulózové biomasy po komunální pevné odpady.
3. Biopaliva-třetí generace jsou v současnosti spojována s biomasou z řas, ale mohou být do jisté míry spojovány s využitím CO2 jako suroviny.

Škálování procesů druhé a třetí generace biopaliv je závislé na solidní ekonomice, která je přímo závislá na optimalizovaném využívání uhlíku, která závisí na produkci paliv a i vysoce hodnotných vedlejších produktů. (Lee & Lavoie 2013)

3.3.2.1 Biopaliva 1. generace

Biopaliva první generace jsou reprezentována zejména ethanolem a bionaftou a jsou vesměs produkovány z potravinářské biomasy. Ethanol jako takový je ve většině případu produkován fermentací C6 cukrů (zejména glukózy) s využití klasických, nebo geneticky modifikovaných kmenů kvasinek, jako je *Saccharomyces cerevisiae*. Bioethanol první generace je produkován zejména za využití cukrové třtiny nebo kukuřice. Další suroviny, o kterých se uvažuje jsou zastoupeny ječmenem, odpadem z brambor a cukrovou řepou. Cukrová třtina je běžnou surovinou používanou při produkci bioethanolu, zejména v Brazílii. Proces pro produkci bioethanolu z cukrové řepy je relativně jednoduchý. Cukrová třtina je drcena ve vodě, aby došlo k odstranění sacharózy, která se buď čistí za vzniku cukru, nebo je z ní produkován ethanol. Ačkoli je to pro producenty velmi výhodné, nárůst ceny cukru představuje pro podnikání s bioetanolem problém. V srpnu 2012 cena surového cukru se blížila 0,20 USD za libru, zatímco cena ethanolu byla 2,59 USD za galon (0,68 USD/L). Výroba 1 litru ethanolu ze surového cukru by měl stát kolem 0,30 USD až 0,35 USD, a proto byla trhem upřednostňována produkce surového cukru místo ethanolu. Dalším významným zdrojem cukrů pro produkci bioethanolu je dříve zmíněná kukuřice, ta však vyžaduje předběžnou hydrolýzu škrobu. Ta může být prováděna enzymem a-amylázou, která je obecně relativně levná, na 1 l vyrobeného bioethanolu připadá cena tohoto enzymu asi kolem 0,01 USD. Další výhodou využívání kukuřice jsou vedlejší produkty, jako je postdestilační vyhořelé zrno, které je možné využít jako krmivo pro zvířata a představuje bonus k ekonomické bilanci. Bionafta je další nejvýznamnější biopalivo, které je v průmyslovém měřítku produkováno. Oproti ethanolu je produkce bionafty spíše chemický, nežli biologický proces. V procesu je sice využíváná biomasa ve formě rostlin a semen, proces je však založen na extrakci olejů a jejich přeměnou na bionaftu přerušením vazeb, které spojují dlouhé řetězce mastných kyselin na glycerol a jeho nahrazením v procesu zvaném transesterifikace. (Lee & Lavoie 2013)

Význam těchto biopaliv postupně narůstal, například jen kolem roku 2007 tvořil biodiesel kolem 1,5 % celkově využitých paliv v dopravě. Avšak vzhledem k faktu, že biopaliva první generace jsou produkována zejména z potravinářských plodin, začalo se ukazovat, že jejich energetická bilance není optimální. Vzhledem k náročnějšímu pěstování těchto plodin, například nutnosti přísunu hnojiv a někdy i fosilních paliv, může dojít k tomu, že v některých případech je výsledná energie životního cyklu tohoto biopaliva záporná, tj., že energie ve formě hnojiv a paliv vložená do procesu, byla vyšší než energie výstupní. Rovněž také dochází ke konkurenci s plodinami, které byly určené pro trh s potravinami a krmivy pro zvířata. Díky tomu je nutná kultivace nových ploch, se kterým je spojeno odlesňování, při kterém dochází k uvolňování emisí do ovzduší (Sims et al. 2008)

3.3.2.2 Biopaliva 2. gen.

Druhou generaci biopaliv je možné rozdělit do skupin na základě vstupních surovin a způsobu jejich produkce, která může probíhat buď termochemickou, nebo biochemickou cestou. Jakožto základní surovinu je možné použít biomasu obsahující lignocelulózu. Ta může být obsažena v různých zemědělských a lesnických zbytcích, nebo v plodinách přímo pěstovaných za tímto účelem. Od biomasy pěstované za účelem produkce biopaliv druhé generace se očekává vyšší energetický obsah biopaliva na hektar (GJ/ha/r) oproti plodinám běžně užívaným pro produkci první generace. Jako výhoda se také jeví menší náročnost na podmínky a kvalitu půdy. Díky tomu bude možné pěstovat biomasu pro produkci biopaliv druhé generace i na půdách, kde by plodiny pro produkci první generace biopaliv nebylo možné pěstovat, jejich výnos bude sice stále nižší než na kvalitní půdě, ale stále bude efektivní. (Sims et al. 2008)

3.3.2.3 Biopaliva 3. gen.

Obecně přijímaná definice třetí generace biopaliv je, že jsou založena na biomase z řas, která má oproti klasické lignocelulózové biomase značný růstový výnos. Výroba biopaliv z řas je obvykle závislá na obsahu lipidů v mikroorganismech. Druhy jako například *Chlorella* jsou využívány pro jejich vysoký obsahu lipidů kolem 60 až 70 % a jejich vysokou produktivitu kolem 7,4 g/l/d pro *Chlorella protothecoides*. S řasovou biomasou jsou spojené výzvy, například geografické a technické. Za optimálních podmínek řasy typicky produkují 1 až 7 g/l/d biomasy. S tím je spojena potřeba značných objemů vody v průmyslovém měřítku, což představuje zásadní problém pro země jako Kanada, kde je teplota během významné části roku nižší než 0℃. Vysoký obsah vody je také problém při extrakci lipidů z biomasy řas, která vyžaduje odvodnění, buď centrifugací nebo filtrací před extrakcí lipidů. Lipidy získané z řas mohou být zpracovány transesterifikací na bionaftou nebo mohou být podrobeny hydrogenolýze za účelem produkce petroleje vhodného pro použití jako leteckého paliva. (Lee & Lavoie 2013)

3.4 Strategie EU

Tato kapitola se zabývá strategií Evropské unie, která se opírá zejména o Pařížskou dohodu, Zelenou dohodu tzv. Green deal a různé varianty směrnice o obnovitelných zdrojích.

3.4.1 Pařížská dohoda

Hlavním cílem této úmluvy je z dlouhodobého hlediska přispět k udržení nárůstu průměrné globální teploty pod hranicí alespoň 2 °C ve srovnání s obdobím před časy průmyslové revoluce a usilovat o udržení oteplení nejméně do 1,5 °C.
V navázání na předchozí cíl

a) Je touto dohodou uloženo všem smluvním stranám povinnosti stanovit si vnitrostátní redukční příspěvky (nationallly determined contributions, dále pouze „NDC“) a tyto NDC plnit. Toto představuje významný rozdíl od platného Protokolu, který vztahuje tyto redukční závazky výhradně na rozvinuté státy. NDC mají být obnovovány v pětiletých intervalech, přičemž v dalším období by mělo dojít k navýšení tohoto příspěvku. Významnou součástí těchto NDC by měly být informace zaměřené na transparentnost a možnosti srovnání těchto předložených NDC. Díky tomu by mělo být možné posoudit do jaké míry přispívají ke snižování globálních emisí GHC. NDC mají být soustředěny ve veřejném registru spravovaném sekretariátem Rámcové úmluvy.
b) Je doporučeno smluvním stranám zachovávat a zvyšovat propady a zásobníky GHG a provádět opatření s cílem snižovat emise v důsledku odlesňování a degradace lesů.
c) Zakotvuje základní zásady pro mechanismus na podporu implementování mitigačních a adaptačních opatření, podobně jako flexibilní mechanismy podle Protokolu. Mechanismus mohou smluvní strany využívat dobrovolně za podmínek, které mají následně být upřesněny rozhodnutím smluvních stran dohody.
d) Stanovuje globální cíl adaptace k posílení adaptační kapacity, odolnosti a snížení zranitelnosti vůči změně klimatu. Rovněž smluvní strany mají povinnost podílet se na implementaci adaptačních opatření, přípravě a dalších souvisejících opatření a politik. Rovněž by se měla předkládat periodická sdělení k adaptaci, která mají být soustředěna do veřejně přístupného registru.
e) Dohoda vymezuje okruhy spolupráce při řešení škod a ztrát způsobených negativními dopady, způsobenými změnami klimatu.
f) Dochází k potvrzení povinností rozvinutých států, které mají dle Dohody poskytovat finanční prostředky na mitigační a adaptační opatření v rozvojových státech podle zásad Rámcové úmluvy. Tato opatření mohou dobrovolně finančně podpořit i ostatní státy. Dohoda tedy také připouští, že i rozvojové státy se po hospodářské stránce vyvíjí a že některé z nich jsou schopny se na financování ochrany také podílet. Hospodářsky vyspělé státy mají povinnost každé dva roky předkládat indikativní informace o poskytnutých financích.
g) Stanovuje, že finanční mechanismy Rámcových úmluv GEF, GCF budou sloužit potřebám Pařížské dohody.
h) Ukládá smluvním stranám povinnost zajistit vhodná opatření v oblasti vzdělávání přístupu veřejnosti k informacím v oblasti ochrany klimatu stejně jako zapojení veřejnosti do řešení této problematiky.

i) Upravuje rámcový postup pro zabezpečení rozvoje a přenosu technologií a systému k budování kapacit v zájmu účinné ochrany klimatu, včetně institucionálního zajištění. V rámci technologií a také při budování kapacit Dohoda počítá s propojením existujících systémů při Rámcové úmluvě a Protokolu.
j) Dochází k vymezení základních prvků pro zajištění transparentnosti plnění smluvních závazků, které jsou tvořeny jako u Rámcové úmluvy, např. národní sdělení, dvouleté zprávy a další nástroje. Je důležité, že v uvedeném systému, jehož pravidla budou upřesněna v následujících rozhodnutí smluvních stran Dohody, které s budou uplatňovat vůči všem smluvním členům. Bude se také přihlížet k ekonomické a sociální situaci nejméně rozvinutých a malých ostrovních rozvojových států. Systém transparentnosti se také vztahuje na zjišťování stavu podpory rozvojových států z hlediska poskytování a také přijímání.
k) ke stavu plnění a provádění Dohody je zavedeno periodické hodnocení, které má za cíl zjistit, jak jsou naplňovány cíle Dohody. Předmětem této „inventarizace“ mají být závazky všech smluvních stran v rámci všech oblastí, které jsou Dohodou upravovány. Bude takto pokrývána nejen mitigace, ale zároveň také adaptace v oblastech financování, technologií, budování kapacit a transparentnosti plnění závazků.
l) Ustavuje Výbor, který má poslání kontroly plnění závazků a provádí formulaci základní zásady činnosti tohoto orgánu. Také se předpokládá, že smluvní strany Dohody přijmou ještě více podrobná pravidla jeho fungování.
m) Dohoda zakotvuje okruh institucí pro fungování dohody, tento okruh představuje nejvyšší rozhodovací orgán, podpůrné orgány a sekretariát. Také řeší vztah k dosavadním institucím, které působí při Rámcové úmluvě. Ty mají sloužit potřebám dohody, pokud smluvní strany Dohody ji v konkrétním případě schválí.
n) Vstup dohody v platnost má být 30. den po uložení ratifikačních listin s nejméně 545 stranami Rámcové úmluvy, jejichž celkové GHG emise představují 55 % globálních emisí GHG. „Celkovými emisemi GHG“ se rozumí nejaktuálnější množství emisí GHG sdělených v den nebo den před přijetím smluvními stranami rámcové úmluvy.
o) Dohoda rovněž ustanovuje postup při změnách Dohody, přijetí a změně příloh, urovnání sporů smluvních stran v souvislosti s výklady a uplatnění Dohody, výhradám k Dohodě, zásadám k odstoupení od dohody a určování jejího depozitáře.
(Ministerstvo životního prostředí 2016)

3.4.2 Green deal

Protože změna klimatu a zhoršování životního prostředí představují existenční hrozbu nejen pro Evropu, ale i pro celý svět, vznikla v EU pro překonání těchto výzev Evropská zelená dohoda, která má přeměnit ekonomiku unie v moderní a konkurenceschopnou, zatímco zajistí:

- Dosažení nulových čistých emisí skleníkových plynů do roku 2050.
- Hospodářský růst bude oddělen od využívání zdrojů
- Nemá dojít k opomenutí žádného jedince ani regionu

Zelená dohoda pro Evropu také obsahuje body zabývající se následky po pandemii COVID-19. Na realizaci těchto cílů bude vyčleněno asi 1,8 bilionu eur, které jsou v rámci programů NextGenerationEU a sedmiletého rozpočtu EU asi jedna třetina z celkových investic.

Evropskou komisí byl přijat soubor návrhů, který má uzpůsobit politiky EU v oblasti klimatu, energetiky, dopravy, zdanění, způsobem, aby se mohly podílet na snižování čistých emisí skleníkových plynů do roku 2030 alespoň o 55 % v porovnání s rokem 1990.
(Evropská komise 2019)

3.4.2.1 Přechod na čistou energii.

Produkcí a využíváním energie vzniká více než 75 % emisí skleníkových plynů v EU, proto má být dekarbonizováno. V rámci tohoto procesu chce Evropská komise:

1. Zajistit bezpečné a cenově dostupné dodávky energie v EU.
2. Vytvoření plně integrovaného, propojeného a digitalizovaného trhu v rámci EU.
3. Rozvoj energetického odvětví z velké míry založeného na obnovitelných zdrojích energie.

Komise chce proto vybudovat propojené energetické soustavy a lépe integrované sítě na podporu obnovitelných zdrojů energie, podporovat inovativní technologie, spolu se zavedením moderní infrastruktury. Zlepšení energetické účinnosti a ekodesignu. Dekarbonizace odvětví zemního plynu a podpora integrace mezi sektory. Posílení postavení spotřebitelů a asistence členským státům při řešení energetické chudoby. Dále má jít o propagaci evropských energetických standardů a technologií ve světě.
(Evropská komise 2019)

3.4.2.2 Zefektivnění dopravy

Doprava přispívá asi 5 % k HDO EU a v Evropě v ní najde zaměstnání přes 10 milionů lidí a má zásadní význam pro evropské podniky a globální dodavatelské řetězce. Cenou však je hluk, emise skleníkových plynů a dalších znečišťujících látek atp. V současnosti představují emise dopravy asi 25% podíl z celkových emisí skleníkových plynů v EU a jejich objem v posledních letech roste. EU si dala za cíl stát se do roku 2050 prvním kontinentem, který he klimaticky neutrální, což si žádá značně ambiciózní změny v odvětví dopravy, které mají dosáhnout 90% snížení emisí skleníkových plynů způsobených dopravou do roku 2050.
(Evropská komise 2019)

3.4.3 Strategie EU pro 2020, 2030, 2050

Strategie pro roky 2020/30/50 je zakotvena zejména ve směrnici o obnovitelných zdrojích (renewable energy directive = RED) a její aktualizace a úpravy, které mají adresovat změnu situace a problémy, které se při praktické aplikaci objevily.

3.4.3.1 2020 – Směrnice RED

Strategie Evropské unie je založena na rozhodnutím Komise 2009/548/ES ze dne 30. června 2009, kde se stanovil vzor pro akční plány pro energii z obnovitelných zdrojů v rámci členských států EU, směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES přičemž závaznost dané formy dokumentu je provedena z nutnosti vzájemné porovnatelnosti akčních plánů a navržených hodnot mezi jednotlivými členskými státy. Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů určuje

pro Evropskou unii jako celek cíl 20% podílu energie z obnovitelných zdrojů a cíl podílu 10 % energie z obnovitelných zdrojů v dopravě pro rok 2020. Pro Českou republiku samotnou byl Evropskou komisí stanoven minimálně 13 % podíl energie z OZE na hrubé konečné spotřebě energie. Plnění tohoto cíle mělo zajistit minimálně 10% podíl obnovitelných zdrojů v dopravě, (Ministerstvo průmyslu a obchodu 2015).

Tato směrnice (dále pouze „směrnice RED“) údajně dosáhla v rámci dopravy v roce 2017 zhruba 7 % celkové spotřeby energie využitím obnovitelných zdrojů. Většina této energie z obnovitelných zdrojů použitých v dopravě pocházela z první generace biopaliv a do určité míry došlo k uplatnění elektřiny, která byla vyrobena z bioplynu a jiných alternativ. Směrnice RED zároveň stanovila kritéria jako udržitelnost a omezení skleníkových plynů, která jsou závazná pro biopaliva a biokapaliny. V případě, že tato kritéria nejsou splňována, není je možné zahrnout do národních a unijních cílů v oblasti obnovitelných zdrojů a režimu veřejné podpory. Tato nařízení rovněž obsahují vymezení půd, kde nemohou být pěstovány zdroje pro produkci biopaliv a biokapalin. V těchto půdách jsou zahrnuty zejména půdy s vysokou biologickou rozmanitostí, nebo s vysokým obsahem uhlíku. Dále stanovuje požadavky na minimální úsporu emisí skleníkových plynů, které má být pomocí biopaliv a biokapalin dosaženo. Toto opatření v rámci směrnice RED sice omezilo přímé dopady využívání půdy při produkci biopaliv a biokapalin, avšak nabyla nastavena tak, aby řešila ty nepřímé (Evropská komise 2019). Vstup této směrnice v platnost rovněž znamenal zrušení směrnic 2001/77/ES ze dne 27. září 2001 o podpoře elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektřinou a 2003/30/ES ze dne 8. května 2003 o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě. (Evropský parlament, Rada Evropské unie 2009)

3.4.3.2 2030 RED II (Směrnice o obnovitelných zdrojích energie 2018/2001 / EU)

Tato směrnice Evropské unie o energii z obnovitelných zdrojů (dále RED II) vstoupila v platnost 24.12.2018. Směrnice si dává za cíl podpořit cíle pro energii z obnovitelných zdrojů v celé EU pro další desetiletí. Tento cíl je nastaven na alespoň 32 % a mají jej všechny členské státy dosáhnout společně. V rámci směrnice je rovněž obsaženo několik opatření, která mají podpořit energie, která vychází obnovitelných zdrojů a její využívání v rámci odvětví elektřiny, vytápění, chlazení a dopravy s všeobecnou snahou snížení emisí skleníkových plynů, zlepšení energetické bezpečnosti, vytváření pracovních míst, růstu a posílení postavení Evropy v oblasti technologií v rámci energie z obnovitelných zdrojů. Dalším účelem směrnice je rovněž posílení unijního rámce udržitelnosti bioenergie, zajištění spolehlivé úspory skleníkových plynů a omezování nepřímých dopadů na životní prostředí. Dále obsahuje přístup v rámci řešení emisí, které jsou způsobeny nepřímou změnou ve využívání půdy související s produkcí biopaliv, biokapalin a paliv z biomasy. Za tímto účelem byly směrnicí stanoveny vnitrostátní limity pro biopaliva, biokapaliny a paliva z biomasy vyrobená z potravinářských nebo krmných plodin, u kterých bylo prokázáno rozšíření oblasti produkce na půdy s velkými zásobami uhlíku, které do roku 2030 mají klesnout na nulu. Tyto limity mají ovlivňovat množství uvedených paliv, které bude možné zohlednit do celkového národního podílu obnovitelných zdrojů a podílu obnovitelných zdrojů v dopravě. Ve směrnici je ale obsažena výjimka z těchto limitů pro biopaliva, biokapaliny nebo paliva z biomasy,

které jsou spojeny s pouze s nízkým rizikem nepřímé změny ve využívání půdy. (Evropská komise 2019)

3.4.3.2.1 využití půdy a jeho nepřímé změny v souvislosti s produkcí biopaliv.
Jako nepřímé dopady jsou hodnoceny případy, kdy se půda, která byla dříve využívána pro produkci potravin a krmiv, začne používat pro produkci biopaliv. Díky této změně je možné, že pro uspokojení poptávky po krmivech a potravinách, bude nutné zintenzivnit současnou produkci, nebo přeměnit půdu na jiném místě (tj. nepřímá změna ve využívání půdy).
V případě, že dojde k těmto změnám, může potenciálně dojít k výraznému navýšení emisí skleníkových plynů, zejména pokud přeměněná půda obsahuje vyšší zásoby uhlíku, například je-li půda les, rašeliniště, nebo jiná podobná půda. Kolem roku 2020 bylo očekáváno, že naprostá většina produkce biopaliv bude pocházet z půd, které byla původně určeny pro uspokojení tržní poptávky trhu po potravinách a krmivech. Problém nepřímé změny ve využívání půdy je, že tato změna není měřitelná a také ji není možné sledovat. Z tohoto důvodu jsou vytvářeny různé modely, které sice mají své nedostatky, ale jsou dostatečně přesné pro poskytnutí decentně přesného odhadu. Na tento typ změn reaguje směrnice zabývající se nepřímými změnami ve využívání půdy Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/1513 ze dne 9. září 2015, kterou se mění směrnice 98/70/ES o jakosti benzinu a motorové nafty a směrnice 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů (Evropská komise 2019).

3.4.3.2.2 Přístup směrnice RED II k řešení nepřímých změn ve využívání půdy.
Ke snižování dopadů nepřímých změn cíleněji přistupuje směrnice RED II v oblasti konvenčních paliv, biokapalin, paliv z biomasy (souhrnný název, který byl zavedený směrnicí RED II pro plynná a pevná paliva z biomasy). Vzhledem k tomu, že přesnost měření emisí nepřímých změn ve využívání půdy není dostatečné, je nemožné je zahrnout do metodiky výpočtu emisí skleníkových plynů v EU. Díky tomu přetrvává přístup omezující množství konvenčních biopaliv, paliv z biomasy a biokapalin v dopravě. Jejich limity jsou zahrnuty do vnitrostátních stropů, které odpovídají úrovním pro členské státy pro rok 2020. Pro konečnou spotřebu energie v silniční a železniční dopravě jsou tyto vnitrostátní limity do určité míry flexibilní a mohou být navýšeny o 1 %, ale maximální navýšení této konečné spotřeby energie, je pro rok 2020 určeno 7 %. Pro členské státy je rovněž možné se stanovit nižší limity pro biopaliva, paliva z biomasy a biokapaliny v případech, kdy u nich hrozí nepřímé změny ve využívání půdy. Je rovněž možné konvenční biopaliva a paliva z biomasy započítat k 14% podílu energie z obnovitelných zdrojů (pokud se členské státy rozhodly počítat s biopalivy) v odvětví dopravy. Pokud se členské státy rozhodly s biopalivy nepočítat, je možné tento podíl snížit až o 7 % (Evropská komise 2019).

3.4.3.3 2050 - Revize směrnice RED II

Zelená dohoda pro Evropu stanovuje cíl dosáhnout do roku 2050 klimatické neutrality. Způsob, kterým by tohoto cíle mělo být dosaženo má přispět k evropskému hospodářství, růstu a zaměstnanosti. Jak bylo potvrzeno Evropskou radou v prosinci 2020, vyžaduje tento cíl snížit emise skleníkových plynů o 55 % do roku 2030. To vyžaduje následně navýšit podíl obnovitelných zdrojů energie v integrovaném energetickém systému. Dříve zmíněný, současný

cíl EU je dosažení do roku 2030 alespoň 32% podílu energie z obnovitelných zdrojů, který je stanoven ve směrnici o obnovitelných zdrojích energie (směrnice RED II), není dostačující a je nutné jej dle plánu pro dosažení cíle v oblasti klimatu zvýšit na 38-40 %. Pro dosažení těchto vyšších cílů je zároveň nutné přidat další doprovodná opatření v různých odvětvích v rámci integrace energetického systému, vodíkové strategie a strategie pro energii z obnovitelných mořských zdrojů a strategií v oblasti biologické rozmanitosti. Celkovým cílem této revize směrnice RED II je dosažení vyššího využívání energie z obnovitelných zdrojů do roku 2030 a také podpoření lepší integrace energetického systému a přispění cílů v oblasti klimatu a životního prostředí, spolu s ochranou biologické rozmanitosti, a tím řešit mezigenerační otázky spojené s globálním oteplováním a ztrátou biologické rozmanitosti. Tato revize směrnice RED II je zásadního významu pro dosažení vyššího cíle jak v oblasti klimatu, tak při ochraně našeho životního prostředí a zdraví, snížení naší energetické závislosti a dalšímu přispění k vedoucímu postavení EU v oblastech technologií, průmyslu a přispění k vytváření pracovních míst a hospodářskému růstu. (Evropský parlament, Rada evropské unie. 2021)

3.5 Strategie ČR

Tato část práce se zabývá strategií České republiky, která se opírá o Národní akční plán čisté mobility, Koncepci veřejné dopravy pro roky 2020-2025 a Akční plán pro biomasu.

3.5.1 Národní akční plán čisté mobility

Národní akční plán čisté mobility (dále NAP CM) pro období 2015-2018 s výhledem do roku 2030 je založen na požadavcích směrnice 2014/94/EU o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva na přijetí příslušného vnitrostátního rámce politiky pro rozvoj trhu alternativních paliv v odvětví dopravy a příslušné infrastruktury. Hlavními zájmy NAP CM je hlavně elektromobilita, CNG, LNG a do určité míry také technologie palivových článků na bázi vodíku. Vzhledem k vazbě NAP CM na směrnici 2014/94/EU se tento dokument zabývá hlavně alternativními palivy, u kterých tato směrnice definuje národní cíle pro rozvoj infrastruktury, hlavně v oblasti plnících a dobíjecích stanic. Tyto cíle NAP CM jsou nastaveny tak, aby došlo k podpoření zejména těch technologií, které jsou v současnosti na prahu plného komerčního využití. V návaznosti na směrnici 2014/94/EU bude NAP CM každé tři roky aktualizován. Zároveň je u tohoto dokumentu předpokládána návaznost na základní strategické dokumenty ČR zabývající se oblastmi energetiky, dopravy a životního prostředí jako jsou: Státní energetická koncepce, Dopravní politika ČR pro období 2014-2020 s výhledem do roku 2050, Státní politika životního prostředí ČR 2012- 2020 a Strategie regionálního rozvoje ČR 2014-2020, Národní program snižování emisí za účelem plnění těchto zavázaných cílů v oblastech energetiky, dopravní politiky a enviromentu v rámci ČR. Těmito cíli je snížení negativních dopadů dopravy na životní prostředí, zejména pokud jde o emise látek, které znečišťují ovzduší a emisí skleníkových plynů, nebo také snížení závislosti na kapalných palivech, diverzifikace zdrojového mixu a vyšší energetická účinnost v dopravě. Při vytváření NAP CM se vycházelo ze závazků současných a předpokládaných budoucích České republiky vůči Evropské unii v oblasti snižování emisí skleníkových plynů a příslušných cílů Strategie Evropa 2020 zejména v rámci dekarbonizace sektoru dopravy. Ve všech těchto směrech NAP CM přispívá i

k naplnění Národního programu reforem ČR 2014 a 2015. (Ministerstvo průmyslu a obchodu 2015)

3.5.1.1 Kapalná biopaliva v rámci NAP CM

V rámci Evropské unie jsou v současnosti biopaliva nejvyužívanějším druhem alternativních paliv s podílem na spotřebě energie v EU 4,4 % v roce 2010. V ČR samotné se na spotřebě energie v dopravě biopaliva podílí cca 4,2 %. Dle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů, by podíl této energie měl dosahovat v každém členském státě alespoň 10 % konečné spotřeby energie v dopravě v roce 2020. Dále je dle směrnice Evropského parlamentu a Rady 64 98/70/ES o kvalitě paliv, která byla v roce 2009 revidována, vznesen požadavek, na základě, kterého musí dodavatelé pohonných hmot postupně snižovat emise skleníkových plynů, vyprodukovaných v celém životním cyklu, z jimi dodaných pohonných hmot o 6 % do roku 2020 ve srovnání se základní normou pro fosilní pohonné hmoty. Je velmi pravděpodobné, že velká část těchto cílů bude splněna právě biopalivy. V případě, že jsou biopaliva vyráběna udržitelným způsobem, při kterém nedochází vlivem poptávky po biopalivech k ničení vzácných ekosystémů, jako jsou pralesy a mokřady, je možné pomocí biopaliv přispět k podstatnému snížení emisí CO2 z dopravy. Pěstování plodin určených k produkci biopaliv, může také přispět využití dříve nevyužité půdy spolu s tvorbou a udržením pracovních míst v sektoru zemědělství. Biopaliva je možné použít jako náhradu fosilních paliv pro všechny druhy dopravy. Rovněž je možné, díky neustále se rozvíjející technologii, uplatňovat širokou škálu vstupních surovin a spalovat je v jejich čisté formě nebo ve směsi s tradičními fosilními palivy. Mezi tato biopaliva patří bioethanol, biomethanol a další vyšší bioalkoholy. Bionaftu v podobě methylesteru mastných kyselin známe jako FAME. Dále je možné využívat čisté rostlinné oleje, hydrogenačně upravené rostlinné oleje, dimethylether (DME) a další organické sloučeniny. V současnosti biopaliva v Evropské unii dostupné na trhu představují hlavně biopaliva první generace, která jsou vyráběna z potravinářské biomasy. Jejich nízkoprocentní směsi s tradičními fosilními palivy jsou kompatibilní se stávající palivovou infrastrukturou, a i většina vozidel a plavidel je kompatibilní s těmito nízkoprocentními směsmi, které jsou na trhu v současnosti dostupné, například E10, který je směs benzínu s 10% podílem bioethanolu, nebo motorová nafta se 7% podílem bionafty FAME. V ČR jsou biopaliva dostupná také v koncentrovaných formách: čistá bionafta B100. Směsná motorová nafta (SMN) s obsahem 30 % bionafty a 70 % ropné nafty komerčně označovaná B30. E85, 70-85 % ethanolu s 15 % benzínu a přísad. Tato paliva jsou v současnosti často dostupná na čerpacích stanicích. Dále se jako motorová paliva také využívají rostlinné oleje prodávané a nakupované jako potraviny, nebo také rostlinné oleje a tuky. Dle statistik Celní správy se v ČR v roce 2012 prodalo zhruba 6 658 milionů litrů motorových paliv, z toho zhruba 366 milionů představovaly biopaliva. Z toho byla 63 milionů litrů čistá bionafta, 209 milionů litrů bionafty určené jako příměs do motorové nafty a 83 milionů litrů alkoholu. Pro E85 a bionaftu v současnosti již existuje rozsáhlá infrastruktura. Tato paliva jsou nyní již běžně dostupná u velké části čerpacích stanic. Protože takové objemy prodaného paliva zjevně neodpovídají malému počtu vozidel, která jsou schválená pro použití těchto paliv, je zřejmé, že tato koncentrovaná biopaliva jsou používána ve stávajícím vozovém parku jako náhrada za klasická ropná paliva („drop-in fuels“). Spalování ethanolu i bionafty

zpravidla výrazně snižuje emise částic i skleníkových plynů, určitou nevýhodu představuje mírné navýšení emisí oxidů, dopady těchto paliv závisí na konstrukčních parametrech, seřízení, technickém stavu a provozních podmínkách motoru, proto se studie opírající o měření malého počtu motorů svými výsledky liší. Některá biopaliva, například hydrogenačně upravené rostlinné oleje, je možné s tradičními pohonnými hmotami smíchat v jakémkoliv poměru a jsou kompatibilní se stávající infrastrukturou čerpacích stanic, silničními vozidly, plavidly, lokomotivami a letadly. V současnosti je na vlády členských států EU vznášen Evropskou komisí požadavek, aby došlo k podpoře pokročilých biopaliv, která jsou vyráběna z nepotravinářské biomasy a odpadů. Mezi tyto odpady patří například sláma, řasy, biomethan a glycerol. Výroba těchto biopaliv není spojena s poptávkou po půdě, tudíž je eliminováno riziko vzniku emisí z nepřímé změny ve využívání půdy tzv. ILUC emise. V současnosti se tato paliva nacházejí ve stádiu výzkumu a vývoje, nebo ve stádiu předkomerčním. V návaznosti na směrnici evropského parlamentu a rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009, o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů, dochází k přípravě aktualizace Národního akčního plánu České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů schváleného v srpnu 2012. Tento národní akční plán stanoví cíle pro podíly energie z OZE pro jednotlivé členské státy v roce 2020 v oblastech:

1. Vytápění a chlazení.
2. Výroba elektřiny.
3. Doprava

Vzhledem k tomu, že je možné biopaliva využívat jako přídavek do tradičních fosilních paliv, není nutná výstavba nové čerpací infrastruktury. Z tohoto důvodu se biopalivy NAP CM zabývá pouze okrajově, a to zejména požadavky na podporu výzkumu a vývoje, spolu s podporou pilotních projektů výroby pokročilých biopaliv, respektive podporou pilotních projektů výroby pokročilých biopaliv. Detailněji se těmito palivy zabývá aktualizovaná verze Národního akčního plánu ČR pro energii z obnovitelných zdrojů. (Ministerstvo průmyslu a obchodu 2015)

3.5.1.2 Strategické cíle

Jedním z hlavních cílů v oblasti alternativních paliv je v současnosti výzkum a vývoj. Čerpání a realizace projektů spolufinancovaných z dotačních programů ČR je pro příjemce po administrativní stránce náročnější než v rámci programů EU. Pro žadatele ze soukromé sféry je podpora programů EU je vyšší, co se alokované částky i v % podpory týče, v porovnání s programy ČR. Pro nové programové období v ČR je důležitá podpora spolupráce akademické a soukromé sféry. Jedno z řešení by mohlo být vytvoření samostatné technologické platformy elektromobilita a pokud o její vytvoření bude mezi zúčastněnými subjekty zájem a není možné tuto problematiku dostatečně efektivně řešit v rámci již existujících platforem. V rámci strategického cíle podpory výzkumu a vývoje v oblasti alternativních paliv jsou navržena následující opatření:

1) Aktivní přístup k vývoji v oblasti elektromobility a dalších alternativních paliv (CNG/LNG a pokročilá biopaliva).
2) Výzkum a vývoj v oblasti technologií vozidel s pohonem na elektřinu, dobíjecí infrastruktury a vazby elektromobility na distribuční soustavu / oblast Smart Grids.

3) Začlenění problematiky alternativních paliv v dopravě do studijních programů na VŠ a SŠ.
4) Posílení spolupráce mezi VŠ, výzkumnými organizacemi a průmyslem v oblasti rozvoje elektromobility v ČR a dalších moderních vývojových trendů v oblasti alternativních paliv.
5) Výzkum dopadu nových paliv a technologií na emise v reálném provozu během běžného používání, včetně emisí dosud nelimitovaných či nesledovaných rizikových látek, a dopadu těchto emisí na lidské zdraví. (Ministerstvo průmyslu a obchodu 2015)

3.5.2 Koncepce veřejné dopravy

Státní energetická koncepce zdůrazňuje stále větší potřebu dekarbonizace průmyslu a dopravy s ohledem na snižování tzv. uhlíkové stopy, která plyne z průmyslu a dopravy v České republice. Na tuto koncepci navazuje tzv. Národní akční plán čisté mobility zabývající se energetikou v dopravě (k tomuto plánu se připravuje aktualizovaná verze zabývající se celkově dopravu v a ne pouze silniční). Spotřeba energie se daří v mnoha oblastech víceméně snižovat, ale v dopravě se stále zvyšuje. Veřejná doprava je sice právem vnímána jako doprava ekologická, ale její ekologičnost ustupuje do pozadí v případě pohonu vozidel se spalovacími motory, zejména na železnici, kde jsou v průměru používány pohonné agregáty výrazně staršího data výroby než v případě oblasti dopravy silniční. Imperativem této koncepce jsou proto úsporné pohony ve všech oborech dopravy, což není nahodilý cíl. Jakožto fyzický způsob přemístění se v České republice doprava podílí na 27 % konečné spotřeby, což představuje vyšší podíl než průmysl. V produkci CO2 předstihuje průmysl více jak dvojnásobně. Kolem 2/3 spotřebované energie v dopravě se mění na ztrátové teplo spalovacích motorů, a to v množství na úrovni dvojnásobku tepla dodávaného teplárnami v ČR k vytápění budov. Spotřeba energie v dopravě neustále roste, zhruba o 3,4 % ročně, přesto že se ČR v rámci vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu zavázala snižovat v období 2020 až 2030 konečnou spotřebu o 0,8 % ročně. 98 % energie pro dopravu v ČR je tvořeno uhlíkovými palivy a vinou toho představuje doprava ve městech dominantního znečišťovatele ovzduší. Přitom však pouhá 2 % elektrické energie zajišťují v dopravě 18 % dopravních výkonů. To je doloženo významně, takřka řádově nižší energetickou a emisní náročností veřejné hromadné dopravy ve srovnání s individuální automobilovou dopravou. Pokud se tedy Česká republika zavázala k tomu, aby snižovala spotřebu energie, produkci oxidu uhličitého a emisí zdraví škodlivých látek, musí v budoucnu překonat současný trend nárůstu v uvedených oblastech, který je zaznamenáván zejména v oblasti dopravy. Tohoto cíle by mohlo být dosaženo motivací obyvatelstva k náhradě individuální automobilové dopravy energeticky i emisně méně náročnou veřejnou hromadnou dopravou, hlavně kolejovou, tak i nahrazením spalovacích motorů bezemisními elektrickými trakčními pohony. Jedním z možných nástrojů k dosažení tohoto cíle může být podpora užívání veřejné dopravy nikoliv jako protihráče ostatním možnostem přemístění, ale spíše jako jejich atraktivního partnera. Vzhledem k rozsáhlým dieselovým železničním sítím, například na severovýchodě Čech i vysokému stupni využití dieselových pohonů v rámci silniční dopravy, lze předpokládat, že uvedený úkol řešený v objektivně krátké době, povede k vysokým nákladům na vozidla využívající alternativní pohony, pokud nedojde k výrazné akceleraci elektrizačních programů, které jsou často brzděny

diskusí o konzervaci stavu elektrizací na dlouhou dobu a ambicemi na vyšší standard infrastruktury. Vysokého podílu elektrických výkonů je dosaženo zejména díky vysoké míry elektrifikace MHD. Železnice je elektrifikována z pouhých 34 % délky přesto, že je na ní realizována většina přepravních výkonů. V rámci elektrifikace zaostává ČR za průměrem EU, kde je průměrná elektrifikace železniční sítě kolem 53 %, a i za sousedními státy. Rovněž stojí za zmínku, že dieselové vozy v České republice jsou v průměru relativně vysokého věku a pokud by došlo k jejich náhradě dalšími dieselovými vozidly, došlo by k prodloužení závislosti na ropě nejméně o dalších 30 let, neboť drážní vozidla mají ve většině případů takto dlouhou účetní odpisovou dobu. Proto bude nutné, aby v nových zadáních na zajištění veřejných služeb v přepravě cestujících byl obsažen požadavek na nová vozidla, který by bral v potaz jiné pohony, například vícezdrojová vozidla, bateriová, vodíková a podobné, neboť dieselový pohon bude pravděpodobně v konfliktu s cíli energetické koncepce státu. Elektrizace železnic pravděpodobně nebude schopna řešit tento problém včas. Tyto druhy vozidel však nejsou v současnosti široce rozšířeny, i když existují příklady jejich vhodného nasazení. Proto by nemělo být nasazení těchto vozidel argument proti elektrizaci souvislých úseků sítě. V této souvislosti je tedy vhodné zmínit také změny v právních předpisech týkajících se čistých vozidel v rámci silniční dopravy, kde v rámci unijní směrnice o čistých vozidlech vzniká na národní úrovni zákon o podpoře nízkoemisních vozidel prostřednictvím veřejných zakázek a zajišťování veřejných služeb v přepravě cestujících. Tento zákon se bude vztahovat na smlouvy uzavřené ode dne předpokládaného nabytí účinnosti zákona dne 2. srpna 2021 do 31. prosince 2030. Limity nízkoemisních vozidel podle těchto předpisů jsou striktní: 41 % v období do 31. prosince 2025 a 60 % po tomto datu. Poloviny podílů musí být dosaženo prostřednictvím vozidel bezemisních, tedy bez spalovacího motoru nebo se spalovacím motorem, který vypouští nejvýše vymezené hodnoty škodlivin. (Ministerstvo dopravy 2020)

3.5.2.1 Proměny přístupu k dopravě na evropské úrovni

V rámci proměny přístupu k dopravě na evropské úrovni, představila Evropská komise v roce 2019 svoji iniciativu tzv. „Zelené dohody pro Evropu“. Jedná se o souhrn iniciativ, které by měly zajistit do roku 2050 klimaticky neutrální ekonomiku Evropské unie. Dohoda pokrývá všechny sektory ekonomiky, hlavně pak dopravu, energetiku, zemědělství, výstavbu budov a průmysl obecně. Dopravy se týká hlavně část Urychlení přechodu k udržitelné a inteligentní mobilitě. Dokument je možné brát jako vrchol aktivit posledních let, kde byla Komisí zdůrazňována potřeba dekarbonizace a digitalizace dopravy. V oblasti urychlení přechodu k udržitelné a inteligentní mobilitě je v plánu komise se zaměřit na všechny druhy dopravy, zejména s důrazem na vyšší udržitelnost. Cíl je nabídnout uživatelům cenově dostupnější, dosažitelnější, zdravější a čistší alternativní prostředky, něž ty, na které jsou v současnosti zvyklí. Jedním z příkladů je vyšší využití železniční dopravy v multimodální dopravě. V této souvislosti má Komise připravit iniciativu pro lepší řízení a navýšení kapacity železnic. V rámci digitalizace dopravy je plánem Komise zaměření na automatizovanou a propojenou multimodální mobilitu spolu s inteligentními systémy řízení dopravy a řešeními pro mobilitu jako službu. Podrobnější rozpracování těchto cílů lze očekávat ve „Strategii pro udržitelnou a inteligentní mobilitu“, která byla představena koncem roku 2020 a má představovat dopravní politiku unie pro dalších 10 let. Zároveň hodlá Komise finančně podporovat vybudování

infrastruktury pro alternativní paliva, aby došlo k přechodu na vozidla s nulovými nebo nízkými emisemi, Komise proto uvažuje o legislativních možnostech pro podporu výroby a užívání alternativních paliv ve všech druzích dopravy. (Ministerstvo dopravy 2020)

3.5.2.2 Přizpůsobení vozidel novým potřebám

Z předchozích odstavců plyne, že v budoucnosti bude důležité, aby objednavatelé veřejné dopravy posoudili způsobilost vozidlového parku ve veřejné dopravě ve vztahu k novým potřebám a technologickým trendům, jmenovitě zavádění alternativních pohonů v rámci požadavků na dekarbonizaci a snižování zdravotně škodlivých emisí. Rovněž není možné opomenout požadavky na zvýšení energetické efektivity vozidel, také je důležité klást vysoké nároky na spolehlivost těchto vozidel při jejich nasazení do provozu. Rovněž pořizování nových vozidel pro veřejnou dopravu musí odpovídat současným standardům a zároveň přispět k naplnění opatření uvedených v Aktualizaci Národního programu snižování emisí. Požadavky objednatelů na tato nová, nebo nově vybavená vozidla musí být provedena nákladově efektivním způsobem a musí být zajištěn promítnutím do výše kompenzace. Rovný přístup k těmto vozidlům při nákupu musí být zajištěn všem dopravcům. Dále v případě elektrizace tratě je důležité nahradit diesely elektrickými vozidly ve správný čas, s tím je spojena důležitost provázanosti plánování dopravní infrastruktury a dopravní obslužnosti. Rovněž pořizování nových vozidel by mělo být spojeno s potřebou převodů vozidel po skončení smluv o veřejných službách na nového provozovatele, neboť trvání těchto smluv je obvykle 10-15 let, odpisová doba vozidel železnice je v naprosté většině případů 30 let. Proto je důležité aby při výběrovém řízení či sjednávání smlouvy bylo s požadavky na nová vozidla také posouzeno, zda tato vozidla budou moci na dané infrastruktuře dosloužit, či zda je možné tato vozidla přesunout na nové dopravní výkony tak, aby vozidla byla schopná využívat maximálních parametrů infrastruktury. (Ministerstvo dopravy 2020)

3.5.3 Akční plán pro biomasu

Celková spotřeba biomasy na výrobu tepla a elektrické energie mimo domácnosti v roce 2010 činila 3,22 milionu tun, z toho 2 miliony tun pro produkci tepla a 1,2 milionu tun pro produkci elektrické energie. Z provedené analýzy APB vyplývá, že kolem roku 2020, bude tato spotřeba o zhruba 1 milion tun ročně vyšší, což představuje energetický potenciál 15 PJ (penta joule). Tato predikce spotřeby biomasy je založená podle současných podmínek na trhu. Rovněž existují předpoklady, že v případě omezení spotřeby hnědého uhlí v lokálních zdrojích (zejména domácnosti), mohlo by dojít k nárůstu spotřeby biomasy ze současných 48 PJ/rok až na 82 PJ/rok. Celková spotřeba by výhledově do roku 2030 mohla dosáhnout 130-140 PJ/rok. Vzhledem k tomuto očekávanému zvýšení spotřeby bude nutné zajistit podmínky pro zajištění disponibilního potenciálu biomasy, což znamená čerpání zatím nepříliš využívaného energetického potencionálu zemědělských odpadů z rostlinné a živočišné výroby a užívání biologicky tříděného komunálního odpadu. Tříděné komunální odpady budou pravděpodobně nejlépe uplatněny v teplárnách a lokálních výtopnách vybavenými roštovými odpady, nebo při spolu spalování s biomasou či tuhými fosilními palivy. Na základě těchto faktorů lze tedy v budoucnu předpokládat významný tlak na disponibilní biomasu ze strany tepláren, domácností a lokálních energetických zdrojů. Tento tlak pak pravděpodobně může růst díky

zájmu sousedních zemí, jako jsou Německo, Polsko, Rakousko, případně jiné země o dovoz biomasy z České republiky, tím může dojít k nežádoucímu růstu cen dané biomasy. (Ministerstvo zemědělství 2012)

3.5.3.1 Kapalná biopaliva a plynná biopaliva

Potřeba biomasy pro produkci kapalných biopaliv v souladu s požadavky evropské směrnice do roku 2020 činí 26 PJ. Bioplyn zaujímá odlišnou pozici, protože může být použit jako substitut jak uhlí, tak motorových paliv, rozvoj jeho využívání je však závislý do značné míry na podmínkách podpory výroby tepla z bioplynu, a proto není možné uvádět přesnou predikci spotřeby biomasy do roku 2020. Je předpokládáno, že bioplyn bude mít výraznou roli zejména při decentralizované výrobě elektřiny a tepla, v menším míře pak při použití jakožto paliva pro dopravní prostředky. (Ministerstvo zemědělství 2012)

3.5.3.2 Spotřeba biomasy do roku 2020 z pohledu Národního akčního plánu ČR pro energii z obnovitelných zdrojů

Založen na směrnici 2009/28/ES Evropské komise o podílu obnovitelných zdrojů energie na její konečné spotřebě byl v roce 2020 Ministerstvem obchodu a průmyslu ČR navržen další rozvoj cíle využívání obnovitelných zdrojů do roku 2020 s podrobnějším rozpracováním dosažení národního cíle 13,5 %. Jehož plnění má být zajištěno Národním akčním plánem ČR pro energii z obnovitelných zdrojů (dále NAP OZE), který zároveň určuje jednotlivé podíly daných druhů obnovitelných zdrojů. Plnění cílů stanovených NAP OZE předpokládá vedle efektivního využívání obnovitelných zdrojů energie i systém cílených, adekvátních a časově flexibilních podpor. Požadavky efektivního využití platí hlavně pro biomasu, kdy v případech jejího málo účinného využití pro výrobu elektřiny může dojít k převisu poptávky a s tím spojený růst cen, který je nežádoucí. Z tohoto hlediska je tedy žádoucí, aby došlo při energetickém využití biomasy na kombinovanou produkci elektřiny a tepla a tím dosáhnout zajištění celkové účinnosti přeměny biomasy na elektrickou energii spolu s teplem s účinností v rozmezí 75-80 %. Na tyto efektivní způsoby využití biomasy je žádoucí prioritně zaměřit systémy podpor. Podobně je třeba se zaměřit na energetickou efektivnost využití biomasy a uplatnit jej i pro bioplynové stanice. Systémy podpor vyžadují kromě výroby elektrické energie i dostatečnou výrobu tepla, aby celkový stupeň energetického využití bioplynu dosáhl minimálně 50 %. Dodržování těchto principů umožní dosáhnout cílů v rámci obnovitelných zdrojů energie, kterým dojde k propojení požadované vysoké míry efektivity pěstování a produkce biomasy s vysokou mírou energetické přeměny do formy elektřiny a tepla. V rámci těchto souvislostí je třeba upozornit na rostoucí tlak na výrazné omezení provozních podpor pro obnovitelné zdroje energie, protože představují zátěž pro konkurenceschopnost průmyslové výroby ČR. Tento fakt, který je spolu s požadavkem na dostatečné využití tepla, aby došlo k celkovému energetickému využití bioplynu nejméně 50 %, bude vyžadovat pečlivější a náročnější projektovou přípravu záměrů a počtů zařízení, která tyto hodnoty plní, nelze tedy s největší pravděpodobností očekávat hodnoty v souladu s predikcí NAP OZE. (Ministerstvo zemědělství 2012)

3.5.3.3 Podpory pro biomasu

Celkově se dělí na nepřímé a přímé podpory. Nepřímé se zabývají zejména strukturováním ekonomických nástrojů, které se vztahují na podporu energie z obnovitelných zdrojů. Přímé se zabývají zejména zaměřením se na jednotlivé fáze cyklu biomasy, tj. její produkce a přeměny a výstavbu zařízení pro její využití.
Přímé podpory jsou zastoupeny:

a) Podpora produkce biomasy: Takové podpory, které jsou dosažitelné v rámci agrárních dotací, zejména pokud se jedná o platby na plochu zemědělské půdy (nejedná se o cílenou podporu pěstování dané biomasy).
b) Podpora transformace biomasy (výroba biopaliv mimo bioplyn) Nenárokové dotace z programů jednotlivých resortů.
c) Podpora výstavby zařízení pro výrobu elektřiny - BPS: Nenárokové dotace z programů jednotlivých resortů.
d) Podpora výstavby zařízení na užití biomasy pro výroby tepla – (kotelny, výtopny), resp. kogeneraci (teplárny): Nenárokové dotace z programů jednotlivých resortů

Jednotlivé podpory jsou cílené na různé články Ekonomicko-finančních aspektů produkce a využití biomasy v rámci palivového cyklu. Podpory z programů MZe, MPO a MŽP jsou zejména charakteru jednorázové investiční podpory. Podpory podle zákona č. 180/2005 Sb. jsou zaměřeny na podporu provozování zařízení a jejich výše je navázána na výši produkce. Naopak podpora určená prvovýrobcům biomasy v rámci plateb na plochu je zaměřená hlavně na zvýšení konkurenceschopnosti zemědělských podnikatelů a nebere ohled na druh a výši produkce. (Ministerstvo zemědělství 2012)

3.5.3.4 Doporučení a závěry pro biopaliva

Akční plán pro biomasu zmiňuje alternativy k bionaftě ve formě FAME, produkce kterých se po roce 2020 může stát alternativními palivy pro vznětové motory. Prosadit se může dimethyleher, který však stále nedosahuje vlastností motorové nafty (nižší hustota, výhřevnost, mazací schopnost). Dalším možným substitutem běžné nafty je v budoucnosti také BtL z anglického Biomass to liquid. Postoj plánu k obnovitelným náhradám automobilových benzinů a nafty je u alternativ, u kterých pokud jsou perspektivní, pokračuje vývoj, který by měl vyústit v ekologicky a ekonomicky nejvýhodnější variantu. (Ministerstvo zemědělství 2012)

3.5.3.5 Závěry a doporučení pro výzkum

Závěry a doporučení pro další výzkum a vývoj, jsou v rámci výzkumu a vývoje alternativních paliv následující:

1. Podpora a další rozvoj výzkumu v oblasti využití alternativních paliv majících původ ve fytomase.
2. Podpora výzkumu v oblasti využívání biomasy na lignoceluózu bohaté substráty pro následnou produkci bioethanolu. Jako nadějný se jeví výzkum se zaměřením na produkci kvasinek schopných přeměňovat na bioethanol vyšší cukry jako je xylóza nebo

arabinóza, nebo transformovat lignocelulózové vstupy na biobutanol, který se jeví jako perspektivnější pro palivové využití než ethanol.

3. Podpora výzkumu, vývoje a demonstrací u vybraných komponent BPS, jako jsou míchadla a ostatní části technologie bioplynu. U výroben methanu podporovat perspektivní technologie úprav bioplynu na biomethan.
4. Monitorovat další vývoj v technologii rychlé pyrolýzy a rafinace bioleje por možné reálné energetické využití, i jako motorové palivo.
5. Vyhledávat možnosti společných výzkumných záměrů s institucemi ze zahraničí (společnými žádostmi o granty)
6. Také se za perspektivní zdá sledovat výzkum technologií jako fluidní zplyňování biomasy (za účelem palivové variability). – hořákové zplyňování černého výluhu z produkce celuózy (jako vhodný plyn pro syntézní reakci). – vysokoteplotní palivové články typu SOFC jako alternativu k současné době převažujícímu spalování bioplynu v plynovém motoru za účelem produkce tepla a elektřiny.
7. Zajištění účasti českého zástupce v příslušné pracovní skupině IEA s ohledem na umožnění přístupu k informacím o nových technologiích a ověření jejich potenciálu.
8. Podpora výzkumu nových nepotravinářských plodin pro produkci alt. Paliv.
9. Umožnění rozvoje a zpřístupnění projektu ReStEP, jako aplikaci, která slouží k analýze potenciálu OZE v celé zdrojové škále pro vybrané území, na webových stránkách SFŽP pro širokou veřejnost. (Ministerstvo zemědělství 2012)

3.6 Shromažďování odpadních kuchyňských olejů

Recyklace a sběr odpadních kuchyňských olejů, je značně závislá na vládě a nařízeních, která existuje v daných oblastech, proto je po světě značně rozdílná. Sběr těchto olejů potencionálně přináší ekonomické výhody, při použití jakožto suroviny pro produkci biopaliv a omezení rizik od daných olejů pro přírodu a lidskou populaci při jejich vypouštění. Tato podkapitola se bude povrchově zabývat těmito systémy.

3.6.1 Japonsko

V Japonsku se vyprodukuje kolem 0,1-0,5 milionu tun odpadních kuchyňských olejů za rok, přičemž před rokem 1997 byly „likvidovány“ vylitím do kanalizace, ale zvýšení povědomí o životním prostředí vedlo ke spolupráci mezi lidmi a vládou a sbírky těchto olejů začaly celostátně a část měst po celé zemi začala používat naftu vyprodukovanou z odpadních kuchyňských pro pohon vozidel na svoz odpadu. V Japonsku je možné odpadní kuchyňské tuky předat pouze licencovaným podnikům, nebo subjektů produkujícím biopaliva. Japonský recyklační model počítá s dotacemi, které pomáhají snižovat náklady při produkci biopaliv, posílit cenovou konkurenceschopnost proti ilegálním subjektům a zvýšit míru návratnosti odpadních olejů. Také jsou prominuty transakční daně, pro spotřebitele využívající 100 % biopaliva ve vozidlech. (Goh et al. 2020)

3.6.2 Spojené státy

Ve Spojených státech ovlivňuje recyklaci kuchyňský olejů zákon o likvidaci odpadu z roku 1960 a o prevenci znečištění z roku 1990 a o energetice z roku 2005, všechny tyto zákony zpřísnily kontroly. V USA je velmi vysoká míra recyklace, dosahující téměř 100 % díky tomu, že za bionaftu z odpadních kuchyňských tuků je možné obdržet dotaci 0,50 USD na galon (galon = cca 3,8 l) Zodpovědné restaurace a jídelny, které produkují kuchyňský odpad jsou povinné platit společnostem zabývajícím se recyklací odpadu za zpracování odpadů. Za účelem získání potřebného povolení pro správné ukládání odpadu jsou to společnosti recyklující odpadní oleje povinni platit obchodní poplatky stanovené vládou USA. Podniky využívající bionaftu mohou dostávat mírné cenové dotace a využívat daňové výhody. Pokud jde o míru recyklace a zisky generované podniky vyrábějící bionaftu, americké a japonské modely zaznamenaly vysokou úroveň míry recyklace díky přísné kontrole a mechanismu odměňování. (Goh et al. 2020)

3.6.3 Evropa

Evropský trh je známý jako největší trh s bionaftou na světě a třetí největší trh s biopalivy. Průmysl produkuje daně z příjmu pro státy v EU a snižuje závislosti zemí na dovozu ropy. Od roku 2016 je ve všech zemích EU dohromady vyprodukováno zhruba 1 660 000 tun za rok, z toho 854 000 tun v domácnostech a 806 00 tun/rok v profesionálním sektoru. Míra návratnosti je zhruba 5,6 % pro domácnosti a 86 % pro profesionální sektor. V zemích jako Belgie, Švédsko, Rakousko a Nizozemsko se prokázalo, že sběr v domácnosti může být vysoce efektivní. Zhruba 25 % bionafty vyprodukované v EU pochází z odpadních kuchyňských olejů, což představuje asi 1,4 % celkové spotřeby v dopravě. Značný vliv na tento stav má mít aktualizace směrnice RED omezující změny ve využívání půdy. (Goh et al. 2020)

3.6.3.1 Současné kroky ke sběru odpadních olejů v ČR

V České republice je sběr této suroviny ošetřován zejména zákonem č. 541/2020 Sb. o odpadech. Je možné interpretovat, že odpadní kuchyňské tuky jsou vymezeny dle § 11 v rámci biologicky rozložitelného odpadu, zahrnuty pod potravinový a kuchyňský odpad z domácností, kanceláří, restaurací, velkoobchodu, jídelen, stravovacích nebo maloobchodních zařízení a srovnatelný odpad ze zařízení potravinářského průmyslu. Do kategorie biologicky rozložitelného odpadu například dále patří odpady ze zahrad a veřejné zeleně. V rámci sběru kuchyňských olejů je § 59 nařízeno obcím určit místa pro oddělené shromažďování komunálního odpadu. Celkově musí obce zařídit sběrná místa pro oddělené soustřeďování komunálního odpadu, a to při nejmenším nebezpečného odpadu, papíru, plastů, skla, kovů, biologického odpadu, jedlých olejů a tuků. (Parlament České republiky 2020)

3.6.4 Čína

V Číně se odhaduje, že ročně dojde k vyprodukování asi 5 milionů tun odpadních kuchyňských olejů. Vláda nabízí různé podpory, které mají podpořit sběr a potlačit ilegální recyklaci, přičemž legální sběr a odpadních olejů by se pro produkující subjekty měl stát dosažitelným. (Goh et al. 2020)

3.6.4.1 Návrhy systémů sběru olejů v Číně

Pro spolehlivou produkci biopaliv (vlastně čehokoliv) je nutné mít stálý a udržitelný zásobovací řetězec, který zajistí přísun potřebných surovin. Zhang et al. (2014) se takovým systémem zabýval (pro prostředí Číny, ale pravděpodobně lze částečně aplikovat na EU trhu). Vytvořil dynamický model, ve kterém porovnával motivační efekty. Nejprve zkoumal motivační efekt čtyř různých dotačních režimů na dodávky odpadního kuchyňského oleje pro produkci biopaliv a prodej kuchyňských odpadů a ropné rafinované produkty. Model také zvažuje dopady preferenčního daňového zacházení, dotací na suroviny, odbyt a investiční dotace na zisky podniků zabývající se produkcí biopaliv a recyklací jedlého oleje. Došel k závěru, že dotace na ceny surovin a prodej hotových výrobků zvýší zisk pro podniky zabývající se produkcí biopaliv i recyklací daných kuchyňských olejů. Investiční dotace, které jsou v prostředí Číny relativně běžné snižují finální zisk producenta biopaliv. Při změnách na daném modelu, došel k závěru, že:

1) Reforma hodnocení práce úředníků, je důležité, aby kritéria hodnocení nebyla pouze soustředěna na efektivitu, ale i podporu provozu. Dotace vstupního materiálu a ceny produktu by měly být zváženy v rámci operační podpory.
2) Upřednostnit dotace na dodávky surovin a prodej produktů. Na základě modelu by dotační politiky měla být zvážena tak, aby nedocházelo ke ztrátám jak pro producenta biopaliva, tak pro recyklátory. To by mělo motivovat recyklační podniky k prodeji recyklátu olejů producentům biopaliv, než malým lisovnám olejů a ilegálním potravinářským závodům. Ve výsledku se však ukazuje, že dotace výrobků a recyklátu řeší potíže zásobovacího řetězce jen částečně.
3) Investiční dotace poskytovat opatrně. Investiční dotační politika je diskutabilní, neboť snižuje zisky z produkce biopaliv. Z tohoto důvodu by investiční dotace pro nové podniky měly být poskytovány pouze umírněně. V podnicích, kde již dotace fungují by mělo být posíleno řízení produkčních operací.
4) Preferenční daně nejsou optimální. Existuje pro ně kritická hodnota pro sazbu daňového zvýhodnění, dojde-li k jejímu překročení, má ze všech dotačních režimů větší dopad na zisky, než ostatní tři dotační režimy.

3.6.4.2 Ochota ke sběru odpadních olejů v Číně

Liu et al. (2018) se zabýval výše zmíněným problémem prodeje odpadního oleje ilegálním, a dalším alternativním subjektům namísto jeho prodeje subjektům, které se zabývají produkcí biopaliv. Někdy docházelo i k „likvidaci“ odpadu v kanalizaci. Na základě dat z dotazníků, které byly zasílány restauracím došel k následujícím doporučením:

1) Tvorba ekonomických pobídek: Vzhledem k selhání principu „kdo znečišťuje platí“ a výhodnějším cenám výkupu odpadního oleje ilegálními subjekty, zvažoval Liu et al. (2018), několik mechanismů, například tvorba autorizovaných sběratelů odpadních olejů, kteří by nabízely platby vyšší než v případě ilegálních subjektů. Dále, dle dotazníku, by restaurace uvítaly ekonomické pobídky jako dotace a daňová zvýhodnění.

2) Posílení závazných předpisů: Optimální by bylo posílení zákonů, které by mohlo ovlivnit chování zejména menších restaurací. V současnosti cena za porušování zákonů není dost vysoká na to, aby donutila některé subjekty vyvarovat se ekonomickému a morálnímu risku. Proto navrhuje zvýšení intenzity trestů vůči restauracím, které prodávají olej ilegálním subjektům, nebo jej „likvidují“ vylitím do kanalizace. To by mohlo znamenat navýšení pokut a snížení podnikových kreditů, což by mělo vliv na možnosti získání úvěrů od bank a komplikace ohledně živnostenské licence. Vláda by rovněž mohla požadovat po subjektech najmutí specializovaných pracovníků pro nakládání s oleji.
3) Návrhy různých metod pro správu různých typů restaurace: Asi v 67 % malých restaurací nebyly instalovány separátory oleje, a to zejména díky vysokým nákladům na jejich instalaci, nedostatečnému prostoru spolu s malým objemem produkce, kvůli kterému by se nutně nemusel vyplatit. S ohledem na tento fakt by vláda měla povzbudit a financovat instalaci separátorů, rovněž by se mělo omezit množství restaurací s malým produkčním objemem a posílit nad nimi dohled.
4) Posílení dohledu a vzdělávání: Asi 19 % respondentů uvedlo, že likvidace odpadního oleje nebyla nikdy kontrolována. Polovina uvedla, že prodávali olej pro vlastní prospěch, proto by měl na tuto činnost být posílen dohled. Rovněž více než polovina respondentů uvedla, že měla velmi omezené znalosti ohledně nakládání s odpadním olejem. Za pozitivní pro změnu nakládání s tímto olejem rovněž označili návštěvu zařízení, zabývajícím se produkcí biopaliva. Dále školení a vydávání materiálu na dané téma bylo rovněž vítáno.

4 Bionafta z odpadních olejů a tuků

Tato část práce se blíže zabývá teorií biodieslů z odpadních materiálů, jmenovitě palivy na bázi methylesterů a hydrogenovanými rostlinnými oleji.

4.1 Methylestery z odpadních olejů a tuků

Bionafta jako taková se skládá ze směsí methyesterů mastných kyselin (FAME), které se získávají transesterifikační reakcí triglyceridů katalyzovanými kyselinami, zásadami, enzymy, nebo za použití superkritických tekutin počínaje rostlinnými oleji, tuky, řasy a všechny druhy vhodných surovin a odpadních produktů, včetně recyklovaného smažícího oleje. K výrobě bionafty lze tedy použít jakýkoli zdroj mastných kyselin, výhody použití biodieselu jakožto paliva jsou četné. Například jejich dopad na životní prostředí je nízký, protože představuje obnovitelný a snadno rozložitelný zdroj energie. V současnosti se preferují jako vstupní suroviny odpadové a je zde snaha nepoužívat suroviny potravinářské. Tyto odpadní suroviny stále musí splňovat kvalitativní standardy jako základní předpoklady pro komerční využití. Likvidace odpadních rostlinných olejů je důležitá zejména proto, že jsou často nesprávně likvidovány a následně ovlivňují a zvyšují náklady na čištění odpadních vod a přispívají k jejich znečištění. Bionaftu je možné vyrábět z rostlinných olejů prostřednictvím Transesterifikace, reakcí, která přeměňuje triglyceridy na mastné kyseliny nebo ethylestery za použití alkoholu s nízkou molekulovou hmotností. Tato reakce může být provedena v různých podmínkách a s různými typy homogenní a heterogenních katalyzátorů. (Carlucci et al. 2019)

4.1.1 Základní reakční mechanismy při produkci biodieselu

Jednou z hlavních složek rostlinných jsou výše zmíněné triglyceridy, které při transesterifikační reakci reagují s alkoholem v přítomnosti zásaditého katalyzátoru přeměňují triglyceridy na diglyceridy, monoglyceridy a glycerol. (Viz. Obr.4.1) (Gnanaprakasam et al. 2013)

4.1.2 První vedlejší reakce: Saponifikace

V případě, že rostlinný olej obsahuje volnou mastnou kyselinu, bude reagovat s homogenním zásaditým katalyzátorem při vzniku mýdla a vody, jak je vidět v Obr. 4.1. Hlavní nevýhodou této reakce je zvýšená spotřeba katalyzátoru a potíže při separačním procesu a s tím spojené vyšší výrobní náklady. Rovněž vzniklá voda způsobuje inhibici reakce. (Gnanaprakasam et al. 2013)

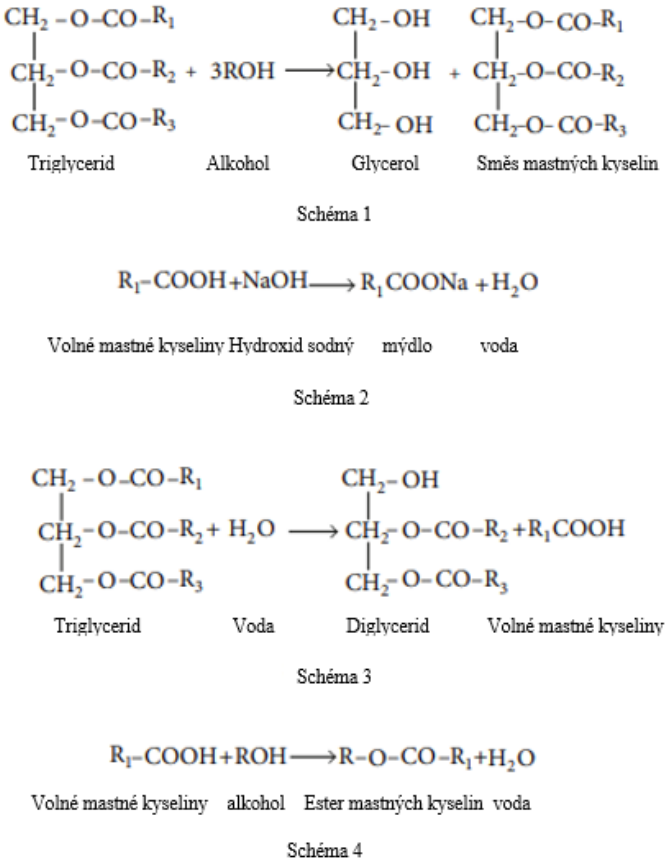
4.1.3 Druhá vedlejší reakce: Hydrolýza

Voda pochází buď z rostlinného oleje, nebo vzniká při zmýdelnění, Při reakci dojde k hydrolýze triglyceridů a dojde ke vzniku více mastných kyselin, viz. Obr. 4.1. (Gnanaprakasam et al. 2013)

4.1.4 Esterifikace

Aby došlo k eliminaci saponifikační reakce, která probíhá při reakci volných mastných kyselin se zásaditým katalyzátorem, je možné rostlinný olej předem upravit kyselým katalyzátorem,

který esterifikuje volnou mastnou kyselinu za vzniku esterů viz. Obr.4.1. Tato reakce je vhodná zejména v případech, kdy olej obsahuje vysoké množství volných mastných kyselin, ale tato reakce je pomalejší než transesterifikace za použití zásaditých katalyzátorů. (Gnanaprakasam et al. 2013)



Obrázek 4.1: základní reakční mechanismy ve výrobním procesu bionafty
Autor: Gnanaprakasam, A., Sivakumar, V. M., Surendhar, A., Thirumarimurugan, M., & Kannadasan, T. 2013. Recent strategy of biodiesel production from waste cooking oil and process influencing parameters: a review. Journal of Energy, 2013:1-10

4.1.5 Různé možnosti katalýzy

Základní katalýza jej pravděpodobně nejrozšířenější přístup k průmyslové produkci bionafty. Výhody využívání této katalýzy se týkají zejména krátkých reakčních časů, mírných provozních teplot a snadného získávání glycerolu za použití cenově výhodných katalyzátorů. Hlavní nevýhody jsou způsobeny saponifikační reakcí, ta má za následek nižší výtěžky a promývání bionafty způsobuje nadměrnou ztrátu produktu díky tvorbě emulzí. Saponifikační reakce je způsobena vysokým obsahem volných mastných kyselin. Reakce je také podmíněna obsahem vody ve vzorku, který lze snížit prostřednictvím předúpravy jako je zahřátí vstupního oleje. Výhodou použití homogenní kyselé katalýzy je určitá „necitlivost“ vůči vysoké hladině volných mastných kyselin a současně umožnuje průběh esterifikační i transesterifikační reakce mastných kyselin což ve výsledku vede ke zlepšenému výtěžku bionafty. Kyselá katalýza je podstatně účinnější než zásaditá v případech kdy je použit rostlinný olej, který obsahuje více

než 1 % volných mastných kyselin. Transesterifikační proces katalyzovaný Brønstedovými kyselinami, jako je například kyselina sírová umožňuje velmi vysoké výtěžky alkylesterů, avšak nevýhodou jsou delší reakční doby a vyšší teploty. Ačkoliv byly relativně intenzivně zkoumány možnosti použití kyseliny sírové jakožto katalyzátoru při produkci bionafty, oblast transesterifikace vysoce znečištěného výchozího materiálu jako jsou odpadní kuchyňské oleje je relativně málo prozkoumána. Nye a spolupracovníci zjistili, že je možné vyrábět bionaftu z použitého oleje na smažení za použití 0,1% H_2SO_4 jako katalyzátoru, metanolu použitého jako rozpouštědlo s poměrem methanol olej 3,6:1 při 25 °C, v tomto případě byl produkt získán s výtěžkem 72 % při reakční době 40 hodin. Canakci a Van Gerpen experimentovali s transesterifikací potravinářského sójového oleje katalyzovaného s kyselinou sírovou s molárním poměrem metanol olej 6:1 reakční teplotu 60 °C s množstvím katalyzátoru 3 % při reakci trvající 48 hodin. Kyselý katalyzátor vyžadoval koncentraci vody nižší než 0,5 % k získání 88% výtěžků bionafty. Guana a Kusakabe vyvinuli syntézu bionafty z odpadního olejového kalu s vysokým obsahem volných mastných kyselin při použití H_2SO_4 a $Fe_2(SO_4)_3$ jako katalyzátorů, přičemž výnos této metody pro oba katalyzátory se za vhodných podmínek pohybuje kolem 86 %. Koncentrace H_2SO_4 byla v tomto případě navýšena na 3 % a poměr methanol/olej na 10:1. Rychlost reakce byla navýšena vyšší reakční teplotou 100 °C. Tato metoda vyžaduje předběžnou extrakci oleje z kalu, z důvodu obsahu vody za pomoci hexanu. (Carlucci et al. 2019)

4.1.6 Faktory ovlivňující průběh katalýzy

Faktory, které ovlivňují katalýzu při produkci bionafty jsou rozmanité a jsou uvedeny v této podkapitole.

4.1.6.1 Obsah vody

Obsah vody v odpadním kuchyňské oleji urychlí průběh hydrolytické reakce a zároveň sníží množství vytvářejícího esteru. Obsah vody by neměl překračovat 0,5 % pro získání 90% výtěžku bionafty a kritičtější pro reakci katalyzovanou kyselinou než pro reakci, která je katalyzována zásadou. V případě že se používají kyselé katalyzátory pro esterifikaci volných mastných kyselin pro produkci esterů, vzniká voda jako vedlejší produkt. Voda přirozeně inhibuje kyselou katalázu, a rovněž její přítomnost v produktu sníží účinnost motorů. Ve většině případů se odpadní kuchyňský olej předehřívá na 120 °C pro odpaření vodních molekul, které následně mohou být odstraněny využitím bezvodého síranu sodného (Na_2SO_4), nebo rovněž bezvodého síranu hořečnatého. Některé enzymy však vyžadují určité množství vody, aby byly aktivní, což je množství menší než jednovrstvé množství vodních molekul kolem molekuly enzymu. Pokud však přítomná voda v základní materiálu překračuje tento limit, dojde ke snížení přeměny materiálu deaktivací enzymu lipázy. (Gnanaprakasam et al. 2013)

4.1.6.2 Volné mastné kyseliny

Odpadní kuchyňské oleje obsahují vysoké množství volných mastných kyselin v porovnání s čistými oleji na vaření. Proto povede tento vyšší obsah mastných kyselin k tvorbě mýdla a

vody. Také v případě, že obsah volných mastných kyselin překročí 3 %, transesterifikační reakce neproběhne ani v případě, je-li použit homogenní zásaditý katalyzátor. Tento problém je možné vyřešit použitím heterogenních katalyzátorů, nebo předpřípravou s kyselým homogenním, nebo heterogenním katalyzátorem pro přeměnu esterifikací volných mastných kyselin, na estery volných mastných kyselin, ve většině případů je rychlost této reakce nízká s vysokým nárokem na podmínky. Mýdla, která vzniknou při neutralizaci volných mastných kyselin je možné převést zpět na volné mastné kyseliny, přidáním kyseliny fosforečné do dekantovaného glycerolu a směsi mýdla získané z finálního produktu. (Gnanaprakasam et al. 2013)

4.1.6.3 Druh použitého alkoholu

Ve většině případů je preferovaným alkoholem pro produkci bionaft methanol, zejména díky tomu, že jeho oddělení z finálního produktu je jednodušší než v případě jiných, použitelných alkoholů. Výnos bionafty z odpadních kuchyňských olejů získané při použití methanolu je vyšší v porovnání s ostatními alkoholy, jako je ethanol s butanolem a v porovnání s nimi je i viskozita výsledného produktu nižší. Methanol je zároveň levnější, ale v porovnání s ethanolem je toxičtější. Pokud je pro produkci použit ethanol, nebo isopropanol, dojde ke vzniku azeotropu s vodou, což následně představuje překážku při separaci vody od alkoholu při destilačním procesu. Někdy je přidáván i-butanol, nebo t-butanol jako rozpouštědlo do směsi, za účelem omezení inhibice lipázy methanolem, nebo glycerolem. Ve většině enzymatických reakcí je preferenčně používán ethanol, místo butanolu. (Gnanaprakasam et al. 2013)

4.1.6.4 Poměr alkoholu ku odpadnímu kuchyňskému oleji

Pro vyprodukování tří molů alkyl esterů, je zapotřebí tří molů alkoholu a jednoho molu triglyceridu. Poměr alkoholu ku oleji má vždy pozitivní efekt pro přeměnu na biopaliva. Podle Le Chatelierova principu, se rychlost tvorby produktu zvyšuje s navyšováním koncentrace reaktantu. Proto, je-li koncentrace alkoholu navyšována, rychlost formování produktu se bude rovněž zvyšovat. Další navyšování poměru alkoholu ku oleji tedy sice povede ke zvýšení rychlosti formování výsledného produktu, ale zároveň zkomplikuje získávání glycerolu a nezreagovaného methanolu, a s tím je spojené navýšení ceny výsledné bionafty, díky nutné úpravě finálního produktu. V dříve provedených experimentech, zabývajících se poměry alkoholů s oleji při transesterifikaci, při kterých byl transesterifikován slunečnicový olej za použití methanolu, spolu s NaOH jako katalyzátorem bylo dosaženo nejvyššího výnosu 99,5 % methylesterů při molárním poměru 6:1. Pro srovnání, při jiných experimentech, které se zabývali transesterifikací odpadního řepkového oleje, došlo při poměru 1:1 olej, methanol, k výnosu 49,5 %. (Gnanaprakasam et al. 2013)

4.1.6.5 Druh katalyzátoru.

V posledních letech byly testovány různé druhy katalyzátorů (homogenní, heterogenní, enzymatické) při produkci alkyl esterů a došlo se k závěru, že ze zkoumaných zásaditých katalyzátorů (NaOH, KOH, methoxidu sodného a methoxidu draselného), je umožňuje NaOH nejrychlejší reakci. V rámci jiného výzkumu bylo zjištěno, že KOH umožnuje nejvyšší výnos

je-li použit. V některých případech byla výzkumníky použita koncentrovaná kyselina sírová, ta potencionálně umožňuje výnos až 99 %, při přítomnosti pouhého 1 molárního %., ale vyžaduje dlouhou reakční dobu a zároveň má vysoké nároky na podmínky. V případě, že má základní materiál vyšší obsah volných mastných kyselin, jsou pro esterifikační reakci použity kyselé (homogenní, heterogenní) katalyzátory. Kyselé katalyzátory mohou být použity pro jak esterifikační, tak transesterifikační reakce. Jednou z hlavních nevýhod používání homogenních katalyzátorů je náročnost jejich oddělování od finálního produktu a vytváření mýdla. Pro překonání tohoto problému, většina vědců používá katalyzátory heterogenní, které nejsou ovlivněny volnými mastnými kyselinami a vlhkostí v základním materiálu. Enzymové katalyzátory jsou reakčně nejpomalejší. Mohou být použity pro esterifikační i transesterifikační reakce. Zároveň jejich oddělení od finálního produktu je snadnější a jejich příprava je značně náročná. (Gnanaprakasam et al. 2013)

4.1.6.6 Koncentrace katalyzátoru

Při absenci katalyzátoru vyžaduje přeměna odpadních kuchyňských olejů na biopaliva vysoké teploty. Spolu s rostoucí koncentrací katalyzátoru se rovněž zvyšuje výnos produktu, což je způsobeno zvýšením rychlosti reakce, avšak v případě nadměrné koncentrace katalyzátoru míra přeměny klesá, což je pravděpodobně způsobeno zvyšující se viskozitou reakční směsi. Mnoho vědců zkoumalo změny ve výnosu finálního produktu a znovuzískání katalyzátorů, při změnách v koncentraci daných katalyzátorů. Například při použití fosforečnanu vanadičito-měďnatého (CUVOP), bylo zjištěno, že 1,5% koncentrace je nejúčinnější pro produkci bionafty ze sojového oleje. Navýšení koncentrace enzymů rovněž zvyšuje procentní konverzi. Po překroční určité hranice dojde k seskupení enzymů, dochází ke snížení aktivní plochy dostupné na substrátu. V jiném případě, kdy byly zkoumány heterogenní katalyzátory skládající se ze směsí CaO^- a ZrO_2^-, v různých molárních poměrech Ca a Zr, bylo zjištěno že zvyšováním poměru Ca/Zr dochází k navýšení výnosu biodieselu, ale zároveň se snižovala stabilita těchto katalyzátorů. Proto optimální koncentrace katalyzátorů se bude lišit v závislosti na typu vstupního materiálu a katalyzátorů. (Gnanaprakasam et al. 2013)

4.1.6.7 Rychlost míchání

Míchání reaktantů je velmi důležité k dokončení transesterifikační reakce a zároveň k navýšení výnosu finálního produktu. Míchání zvyšuje intenzitu srážek mezi částicemi a difuzi jednoho reaktantu do druhého, rovněž důkladné míchání katalyzátoru s reaktantem zkracuje reakční dobu a zvyšuje konverzi. Od určitých rychlostí již nedochází k výraznému nárůstu výtěžků, proto je nutné rychlost míchání upravit na základě různých fyzikálních vlastností. (Gnanaprakasam et al. 2013)

4.1.6.8 Teplota

Teplota má výrazný vliv na transesterifikační reakci. Pokud dojde ke zvýšení reakční teploty, zpravidla se zvýší rychlost reakce a ve většině případů i výnos. Teplota by neměla přesáhnout varný bod alkoholu, aby nedošlo k jeho vypařování, ale pokud je reakční teplota udržována pod 50 °C, dojde pak ke zvýšení vizkozity výsledného biopaliva. V některých případech je odpadní

kuchyňský olej předehřátý na 120 °C za účelem odstranění vodních částic v základním materiálu a následně je ochlazen na 60 °C. Pro enzymatické reakce se rychlost konverze zvyšuje v rozpětí teplot 30-55 °C. (Gnanaprakasam et al. 2013)

4.1.6.9 Ph

Ph není důležitým faktorem pokud jsou používány zásadité nebo kyselé katalyzátory v reakci. V případě, že je používána lipáza, je nutné pH vzít v potaz, protože při nižších pH může docházet k jejímu rozkladu. Při výzkumu produkce bionafty z dávivce černého, byla jako katalyzátor používána imobilizovaná *Pseudomonas fluorescence* a při zkoumání efektů pH se došlo k závěru, že optimální pH je 7 pro produkci bionafty. (Gnanaprakasam et al. 2013)

4.1.7 FAME dle ČSN EN 14214+A2

FAME, jak je uvedeno v tabulce 4.1 by měla dle této normy mít hustotu v rozmezí 860-900 kg/m^3, cetanové číslo minimálně 51, viskozitu při 40 °C od 3,5 mm^2/s do 5 m^2/s. Bod vzplanutí vyšší než 101 °C a obsah vody méně než 500 ppm, oxidační stabilitu minimálně 8 h při 110 °C, filtrovatelnost CFPP maximálně -20 °C. (Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2019)

Tabulka 4.1: Vlastnosti FAME dle normy ČSN EN 14214
Zdroj dat: ČSN EN 14214+A2. 2019. Kapalné ropné výrobky - Methylestery mastných kyselin (FAME) pro vznětové motory a topné oleje - Technické požadavky a metody zkoušení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha

FAME dle ČSN EN 14214+A2 (656507)	
parametr	**hodnota**
hustota při 15°C(kg/m^3) - min	860
hustota při 15°C(kg/m^3) - max	900
cetanový index min	46
viskozita při 40°C(mm2/s) - min	3.5
viskozita při 40°C(mm2/s) - max	5
bod vzplanutí °C	>101
obsah vody - (mg.kg^{-1} = ppm)	<500
ox. Stabilita - (h)	8
Filtrovatelnost CFPP	max -20°C

4.1.8 Vlastnosti bionafty z kuchyňských odpadních olejů

V případě použití odpadních kuchyňských olejů, je důležité určit vlastnosti daného oleje, před jeho použitím při produkci biopaliva. Změny ve vlastnostech odpadních kuchyňských olejů jsou způsobeny způsoby jejich využití a faktory, mezi které patří kontinuální, nebo přerušované smažení, doba smažení a opětovné použití oleje, spolu s typem jídel, která jsou smažena, což má spojitost s tvorbou polymerů, dimerů, oxidovaných triglyceridů a volných mastných kyselin. Proto je důležité zjistit, zda odpadní olej má vysoké číslo kyselosti, které má vliv na výnos a účinnost produkce bionafty. (Goh et al. 2020)
Během smažení dochází v rostlinném oleji k různým fyzikálním a chemickým změnám a dochází ke vzniku neznámých a nežádoucích sloučenin. Část z těchto sloučenin jsou polymery, které se během transestrerifikační reakce štěpí, za vzniku monomerů a dimerních esterů mastných kyselin. Oligomery, k jejichž vzniku při smažení dochází, zvyšují molekulovou hmotnost a snižují těkavost oleje. Estery mastných kyselin, které byly získány z odpadních

olejů ze smažení, tedy ovlivňují vlastnosti paliva, jako je zvýšení viskozity a zhoršení charakteristik hoření a navýšení Conradsonovo uhlíkatých zbytků (látky zhruba jako koks). (Enweremadu & Mbarawa 2009)

Jak je vidět v tabulce 4.2, FAME z odpadního oleje po smažení, kterým se zabývali Enweremadu & Mbarawa (2009) má v rámci vybraných parametrů hustotu při 15 °C 890 kg/m^3, cetanové číslo 54,5, kinematickou viskozitu 4,23 mm^2/s při 40 °C a bod vzplanutí 171 °C. FAME z odpadního kuchyňského oleje, se kterým zabýval Math et al. (2010), měl hustotu při 15 °C 897 kg/m^3, cetanové číslo 49, kinematickou viskozitu při 15 °C 5,3 mm^2/s a Bod vzplanutí při 195 °C.

Tabulka 4.2: Vlastnosti FAME z různých druhů odpadních kuchyňských olejů.
Zdroj dat: Enweremadu, C.C. Mbarawa, MM. 2009. Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil--A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 13:2205-2224; Math MC. Kumar SP. Chetty SV. 2010. Technologies for biodiesel production from used cooking oil — A review. Energy for Sustainable Development. 14(4):339-345

		FAME - odpadní olej po smažení (Enweremadu & Mbarawa 2009)	FAME - odpadní kuchyňský olej (M.C. Math et al 2010)
Hustota při 15 °C	**[kg.m3-1]**	890	897
Cetanové číslo [-]	-	54.5	49
CFPP (°C)	**°C**	1	x
Kinematická viskozita	**mm2/s**	4.23	5.3
obsah vody	**%**	x	0.04
bod vzpanutí	**°C**	171	195

4.1.9 Produkce pyrolýzou

Alternativní způsob produkce popisuje Trabelsi et al. 2018. Jedná se o proces výroby pyrolytickým zpracováním odpadního kuchyňského oleje v reaktoru s pevným ložem. Zkoumal účinky konečné teploty pyrolýzy v rozmezí 550-800 °C a vlivu rychlosti ohřevu (5 C°/min, 15 C/min, 20 C/min, 25 C/min) na distribuci pyrolýzních produktů, přičemž získal nejvyšší výtěžek paliv 80 hm. % při teplotě 800 °C a rychlosti ohřevu 15 °C za minutu. Ukázalo se, že toto bio-olejové palivo má vysokou kalorickou hodnotu kolem 8843 kg/Kcal, což podporuje možnosti jej použít jako kapalné palivo, ale některé další vlastnosti, jako vysoký index kyselosti kolem 126,8 mg KOH/g vzorku a vysoká viskozita asi 8,95 mm^2/s je třeba upravit. Výsledný bio-olej se ukázal po molekulární stránce jako značně komplexní, což jej umožňuje dále používat jako zdroj dalších chemických produktů a aktivních molekul. Další vedlejší produkty této pyrolytické reakce je možné rovněž dále použít. Syntézní plyn měl údajně výhřevnost až 8 MJ/kg, což jej dělá vhodným zdrojem energie například pro pyrolýzní reaktor. Vzniklý biouhel je možné aplikovat jako hnojivo vzhledem k tomu, že obsahuje železo a organický uhlík. Naměřené parametry, kterými se zabývala i tato práce jsou následující: Hustota při 15°C 899 kg/m^3, kinematická viskozita 8,95 mm^2/s, obsah vody 1,2 % a teplota zážehu 21 °C (viz. Tab. 4.3).

Tabulka 4.3: Vlastnosti biooleje z odpadních kuchyňských tuků získaného pyrolýzou.
Zdroj dat: Trabelsi ABH. Zaafouri K. Baghdadi W. Naoui, S. Ouerghi, A. 2018. Second generation biofuels production from waste cooking oil via pyrolysis process. Renewable energy, 126:888-896

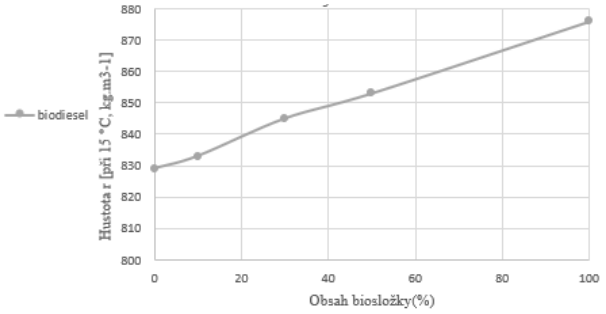
Vlastnosti bio-oleje získaného pyrolýzou		
Hustota při 15 °C	**[kg.m3-1]**	899
Kinematická viskozita	**mm2/s**	8.95
obsah vody	**%**	1.2
bod vzpanutí	**°C**	21

4.1.10 Změna vlastností palivových směsí s rostoucím podílem biosložky

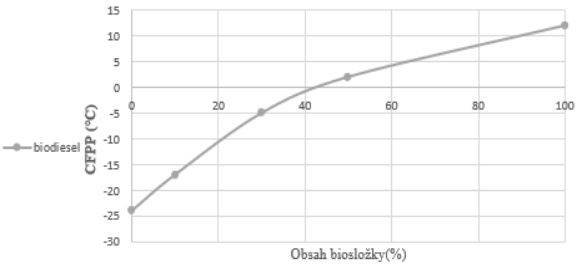
Referenční motorová nafta, která by použita při tomto experimentu, byla dodána společností Repsol S.A. a splňovala všechny požadavky evropské normy EN 590 a na rozdíl od komerčních paliv neobsahuje žádnou biosložku, proto bylo toto palivo použito pro tvorbu směsí s dalšími palivy, včetně FAME. Bionafta byla dodána společností Masol Iberia Biofuel. Tato FAME byla vyrobena z odpadních mastných kyselin, které byly získány z podniků zpracovávajících palmový olej a byla přeměněna na methylestery esterifikační reakcí. Naměřené vlastnosti těchto směsí jsou uvedeny v tabulce 4.4 a graficky vyjádřeny v obrázcích 4.2-4.5. Pokud mají být tyto palivové směsi používány v provozu, musí v Evropě odpovídat všem požadavkům EN 590. Test směsi s FAME byl prováděn se směsmi 5, 10, 15, 20, 30, 50% podílem této biosložky, přičemž 30 a 50% podíly biosložky, jsou v praxi používány u demonstrativních projektů. V případě přimíchávání FAME se doporučují směsi do 20 %, protože v případě navýšení podílu biosložky, dojde k podstatnému zhoršení vlastností při nižších teplotách. Co by mohlo tuto a další potenciální nevýhody neutralizovat, by mohla být tvorba směsí různých druhů biopaliv a tvorba „neutrálních směsí“ což by potencionálně mohlo umožnit přídavky vyšších podílů biosložky. (Rodríguez-Fernández et al. 2019)

Tabulka 4.4: Změny ve vlastnostech palivové směsi s rostoucím podílem biosložky
Zdroj dat: Rodríguez-Fernández J, Hernández JJ, Calle-Asensio A, Ramos Á, Barba J. 2019. Selection of Blends of Diesel Fuel and Advanced Biofuels Based on Their Physical and Thermochemical Properties. Energies. 12:2034

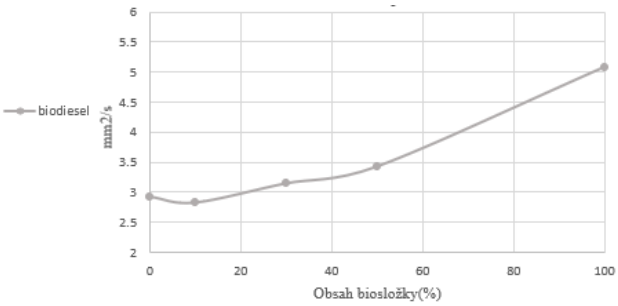
parametr					
poddíl biosložky(%)	0	10	30	50	100
hustota(15 kg/m^3 při 15°C)	829	833	845	853	876
cfpp(°C)	-24	-17	-5	2	12
Kinematická viskozita(mm^2/s při 40°C)	2.92	2.82	3.14	3.42	5.08
obsah vody(ppm)	24	94	136	184	276



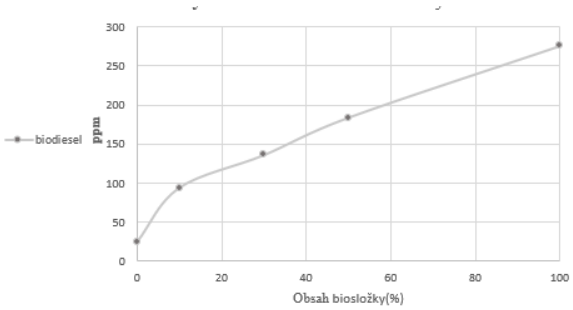
Obrázek 4.2: Změny hustoty palivové směsi s rostoucím podílem biosložky.
Zdroj dat: Rodríguez-Fernández J, Hernández JJ, Calle-Asensio A, Ramos Á, Barba J. 2019. Selection of Blends of Diesel Fuel and Advanced Biofuels Based on Their Physical and Thermochemical Properties. Energies. 12:2034



Obrázek 4.3: Změny CFPP palivové směsi s rostoucím podílem biosložky.
Zdroj dat: Rodríguez-Fernández J, Hernández JJ, Calle-Asensio A, Ramos Á, Barba J. 2019. Selection of Blends of Diesel Fuel and Advanced Biofuels Based on Their Physical and Thermochemical Properties. Energies. 12:2034



Obrázek 4.4 Změny viskozity palivové směsi s rostoucím podílem biosložky
Zdroj dat: Rodríguez-Fernández J, Hernández JJ, Calle-Asensio A, Ramos Á, Barba J. 2019. Selection of Blends of Diesel Fuel and Advanced Biofuels Based on Their Physical and Thermochemical Properties. Energies. 12:2034



Obrázek 4.5 Změna obsahu vody v palivové směsi s rostoucím obsahem biosložky
Zdroj dat: Rodríguez-Fernández J, Hernández JJ, Calle-Asensio A, Ramos Á, Barba J. 2019. Selection of Blends of Diesel Fuel and Advanced Biofuels Based on Their Physical and Thermochemical Properties. Energies. 12:2034

4.1.11 Sledované parametry pro naftu a bionaftu

Tato podkapitola se zabývá parametry, které jsou důležité pro danou problematiku.

4.1.11.1 Hustota

Důležitá hodnota zejména u bezvzduchých spalovacích systémů, protože ovlivňuje účinnost atomizace. Hustota bionafty závisí zejména na jejím obsahu alkylesterů a zbývajícím množství alkoholu, proto je tato vlastnost ovlivněna hlavně výběrem rostlinného oleje. Hodnoty hustoty v rozmezí 850-900 kg/m^3 jsou v mnoha národních normách. (Enweremadu & Mbarawa 2009) Je nutné také brát v potaz, že vstřikovací čerpadlo motoru pracuje objemově, tím pádem množství vstříknutého paliva roste s jeho měrnou hmotností. Proto má hustota paliva vliv na výkon motoru a nárůst spotřeby. V případě, že je hustota příliš nízká, může dojít ke snížení viskozity a ztrátě mazací vrstvičky na pohyblivých částech. Vysoká hustota se také může projevit na zvýšené kouřivosti. (Hönig & Smrčka 2016)

4.1.11.2 Viskozita

Bylo zjištěno, že během smažení dochází k oxidaci a polymeraci triglyceridů, což způsobuje, že se zvyšuje viskozita použitého oleje na smažení. Rozsah transesterifikační reakce, stejně jako experimentální podmínky používané při výrobě bionafty, tedy značně ovlivňují viskozitu. Různé viskozity jsou způsobeny neúplnou reakcí použitých olejů nebo čištěním bionafty, přičemž v alkylesterové fázi zůstává konjugovaný nebo volný glycerol. Přítomnost glyceridů ve skutečnosti mění zjevnou viskozitu alkylesterů, což odhaluje rozsah transesterifikační reakce a čistotu fáze alkylesterů. Viskozita dále řídí charakteristiky vstřikování z naftového vstřikovače. Vysoké hodnoty viskozity vedou ke špatnému rozprašování paliva, nedokonalému spalování a usazování uhlíku na vstřikovači. Proto musí být viskozita bionafty nízká. (Enweremadu & Mbarawa 2009)

4.1.11.3 Bod vzplanutí

Tento parametr je definován jako minimální teplota, při které páry ze vzorku oleje zažehnou za specifických zkušebních podmínek. (Sangeeta et al. 2014)
Bod vzplanutí je parametr, se kterým je potřeba počítat při manipulaci, skladování a bezpečnosti paliv a hořlavých materiálů. Vysoké hodnoty bodu vzplanutí snižují riziko požáru, což z hlediska bezpečnosti pro přepravu představuje výhodu bionafty oproti petroleji. Různé normy specifikují bod vzplanutí nad 100 °C. (Enweremadu & Mbarawa 2009)
Boog et al.(2011) uvádí, že bod vzplanutí může být negativně ovlivněn zbytkovým alkoholem z reakce. Velmi malé množství zbytkového alkoholu přítomného v bionaftě vyvolává významný pokles bodu vzplanutí. Uvádí, že i bionafta, u které se bod vzplanutí může pohybovat kolem 160-170 °C, může klesnout díky zbytkovému methanolu nebo ethanolu na úroveň 71 °C.

4.1.11.4 Cetanové číslo

Definováno jako objem n-cetanu v a směs n-cetanu a α-methylnaftalenu, cetanové číslo udává zpoždění zapalování je mezi začátkem vstřikování a začátkem spalování paliva. Představuje kvalitu vznícení motorové nafty. Paliva s vyšším cetanovým číslem budou mít nižší dobu zpoždění zapalování v porovnání s palivy, která mají nižší cetanové číslo. Cetanové číslo je obecně specifické pro konkrétní používaný motor. (Sangeeta et al. 2014)
Bionafta má vyšší cetanové číslo než standardní motorová nafta, což má za následek vyšší účinnost spalování. To bylo vysvětleno okysličenou povahou bionafty. Různé národní normy specifikují cetanové číslo vyšší než 47. (Enweremadu & Mbarawa 2009)
V praxi se rovněž často používá cetanový index, a to v případě, když není dostupná motorová zkouška, nebo není dostupné dostatečné množství vzorku pro tuto zkoušku. (ČSN EN ISO 4264)
Chhetri et al. (2009), který se zabýval použitelností odpadních kuchyňských olejů, stanovil tento parametr na 61 u bionafty vyrobené z odpadního řepkového oleje.

4.1.11.5 Destilační zkouška

Při zkoumání paliva je tato zkouška vždy prováděna. V případě motorové nafty vždy dochází k destilaci uhlíků při 150-360 °C. Začátek destilace není předepsán a většinou se řídí bodem vzplanutí. Dle normy by mělo být při 250 °C předestilováno méně než 65 % objemu. Při 350 °C by mělo již být předestilováno více než 85 % objemu a 95 % při maximálně 360 °C. Destilační křivka podává obraz o hlavní frakci. (Vlk 2006)

4.1.11.6 Cold filter plugging point (CFPP)

Bod ucpání studeného filtru odráží použitelnost paliva v chladném počasí. Při nízké provozní teplotě může palivo zhoustnout a nemusí správně proudit, což ovlivňuje výkon palivového potrubí, palivových čerpadel a vstřikovačů. CFPP definuje limit filtrovatelnosti paliva a má lepší korelaci než bod zákalu pro bionaftu i naftu. Normálně je specifikován buď bod zákalu nebo CFPP. Obecně jsou hodnoty CFPP, bodu zákalu a bodu tuhnutí bionafty z odpadních

kuchyňských olejů potencionálně způsobeny přítomností některých neznámých sloučenin a tvorbě polymerizovaných esterů při transesterifikaci. (Enweremadu & Mbarawa 2009)

4.1.11.7 Výhřevnost

Spalné teplo představuje přímé měřítko energetického obsahu daného paliva. Je určováno z hlediska množství tepla, které je uvolňováno spalováním jednotkového množství paliva kyslíkem ve standardním bombovém kalorimetru. Každé ropné palivo má dvě hodnoty výhřevnosti, a to hrubou a čistou. Při spalování uhlovodíků je jedním z produktů spalování vodní pára. Hrubá výhřevnost zahrnuje i teplo odevzdané kondenzací vodní páry, zatímco čistá jej nezahrnuje. (Sangeeta et al. 2014)
Bylo zjištěno, že výhřevnost FAME z odpadních kuchyňských olejů se příliš neliší od jejich původního stavu. Proto neexistují žádné standardní specifikace o výhřevnosti bionafty. Obecně se uvádí, že bionafta obsahuje přibližně o 10 % méně energie ve srovnání s naftou na bázi ropy. To ukazuje, že na stejnou vzdálenost cesty by bylo potřeba přibližně o 10 obj. % více bionafty ve srovnání s naftou. Nižší hodnota je způsobena přítomností kyslíku v bionaftě. (Enweremadu & Mbarawa 2009)

4.1.11.8 Uhlíkový zbytek a CCR

Představuje tendenci ukládat uhlík v palivu. Je to důležitý ukazatel pro měření sklonu k tvorbě uhlíkatých usazenin v motorech, které mohou způsobit několik provozních problémů, jako je ucpání trysek, koroze, praskání součástek. Conradsonův uhlíkový zbytek (CCR) pro bionaftu je důležitější než zbytek v minerální naftě, protože vykazuje vysokou korelaci s přítomností volných mastných kyselin, glyceridů, mýdel, polymerů, vyšších nenasycených mastných kyselin a anorganických nečistot. Obsah uhlíkových zbytků exponenciálně roste s procentem bionafty, když je smíchán s minerální naftou. Podle zprávy úroveň obsahu uhlíkových zbytků při procentním podílu bionafty nad 20 obj. % překročila současnou specifikaci bionafty o 0,3 hm.%. (při 10 % destilačního zbytku) nebo 0,05 hm.% (při 50 % destilaci). To je jedna z nevýhod bionafty, protože je považována za náhradní palivo pro motory. Zpráva dospěla k závěru, že je velmi důležité provést zásadní úpravy v motorech poháněných 100% bionaftou, aby se překonaly výše zmíněné provozní problémy. (Enweremadu & Mbarawa 2009)

4.1.11.9 Číslo kyselosti

Reprezentuje obsah volných mastných kyselin ve vzorku paliva. Tato vlastnost je specifikována pro zajištění správného stárnutí paliva a dobrého výrobního procesu. Různé standardy stanovily hodnotu tohoto parametru v rozmezí 0,5–0,8 mg KOH/g. (Enweremadu & Mbarawa 2009)

4.1.11.10 Oxidační stabilita

Oxidační stabilita motorových naft, bionaft a jejich směsí je závislá na počtu a uspořádání dvojných vazeb v uhlovodíkovém řetězci mastných kyselin. Většina olejů rostlinného původu obsahuje dvě a více dvojných vazeb. Tyto nenasycené vazby jsou různého uspořádání, které má vliv na konečnou oxidační stabilitu esterů. Dvojné vazby mohou být izolované, nebo konjugované, a zejména izolované vazby, obsahující jeden methylenový uhlík mohou být při

oxidaci místem napadení. Zde dochází k odtržení vodíku díky nižší vazebné energii uhlík – vodík a vznikne uhlovodíkový radikál. Při vzniku peroxidového radikálu, který reaguje s uhlovodíkem za vzniku hydroperoxidu a uhlíkového radikálu. Tato reakce je řetězového charakteru, tudíž ke spuštění stačí jedna iniciační reakce. Čím nasycenější jsou mastné kyseliny a jejich estery nenasycené, tím vyšší je jejich náchylnost k oxidaci. V momentě, kdy jsou hydroperoxidy vytvořeny, dochází k jejich rozkladu, přičemž interagují za vzniku dalších sekundárních produktů oxidace, jako jsou aldehydy, alkoholy, karboxylové kyseliny s krátkými řetězci a polymery. Negativně mohou na oxidační stabilitu působit kovy a nečistoty z procesů výroby, jako glycerol, volné mastné kyseliny, mýdla, nebo nezreagovaná vstupní surovina. Pozitivně však mohou působit přírodní antioxidanty. Oxidace může být také iniciována světlem. V momentu, kdy teplota dosáhne rozmezí 250-300 °C, nastane termická polymerace mastných kyselin a esterů, která probíhá podle mechanismu Diels-Alderovy reakce, kdy jsou dva řetězce mastných kyselin spojeny di cyklohexenového kruhu. Termická polymerace má rovněž důležitou roli při spalování biopaliva. Zde je směs před vznícením opakovaně ohřívána. Při skladování však této teploty nedosahuje. Malá oxidační stabilita je jednou z negativních vlastností FAME, která způsobuje problémy při skladování (Tomašíková et al.2013).
Loh et al. (2006) zabývající se tématem oxidační stability FAME, stanovil tuto hodnotu na 3,2 h u FAME z použitého palmového oleje.

4.2 Hydrogenovaný rostlinný olej

Hydrogenované rostlinné oleje, v angličtině Hydrotreated vegetable oil (dále jen HVO), je označení pro směsi parafinických uhlovodíků, které neobsahují síru a aromatické látky. Hydrogenace rostlinných olejů je jedna z možných cest produkce vysoce kvalitních a obnovitelných dieselových paliv. HVO je v současnosti označováno „obnovitelná dieselová paliva“, místo „biodiesel“. Toto označení je v současnosti vyhrazen pro methyl estery řepkového oleje (MEŘO, nebo FAME z anglického Fatty acid methyl ester) (Aaotola et al. 2008).

4.2.1 Vlastnosti HVO

V HVO není obsažen kyslík, tendence vytvářet usazeniny ve vstřikovačích paliva jsou nižší než u fosilních paliv a jsou stabilní při skladování (oproti MEŘO). HVO nepředstavují velké riziko pro dodatečnou úpravu výfukových plynů, což je zapříčiněno procesními podmínkami, které způsobují, že množství vznikajícího popelu je takřka nulové. Díky absenci aromatických látek v palivu, vysokému cetanovému číslu, nízké hustotě, dobré výhřevnosti a dobrým vlastnostem za studena se jedná o perspektivní složku pro rafinerii. Rovněž díky absenci kyslíku a minimální hustotě, se HVO chová jako normální motorová nafta. Vlastnosti základních HVO jsou uvedené v tabulce 4.5. Vlastnosti HVO je dále možné přizpůsobit požadavkům místních podmínek, lze těchto úprav dosáhnout například dodatečným katalytickým zpracováním. Úpravou izomerizační jednotky v rafinerii je možné vyrábět dieselové palivo například pro arktické podmínky. Parametr cetanové čísla HVO je vysoký a jeho ostatní parametry HVO jsou srovnatelné s ostatními dieselovými palivy typu plyn na kapalinu (GTL) a biomasa na kapalinu (BTL) produkované Fischer Tropschovou (FT) syntézou (viz. Tabulka.4.5). HVO většinou splňují požadavky na konvenční naftu (např. EN 590). Jejich výhřevnost je kolem 34,4 MJ/l,

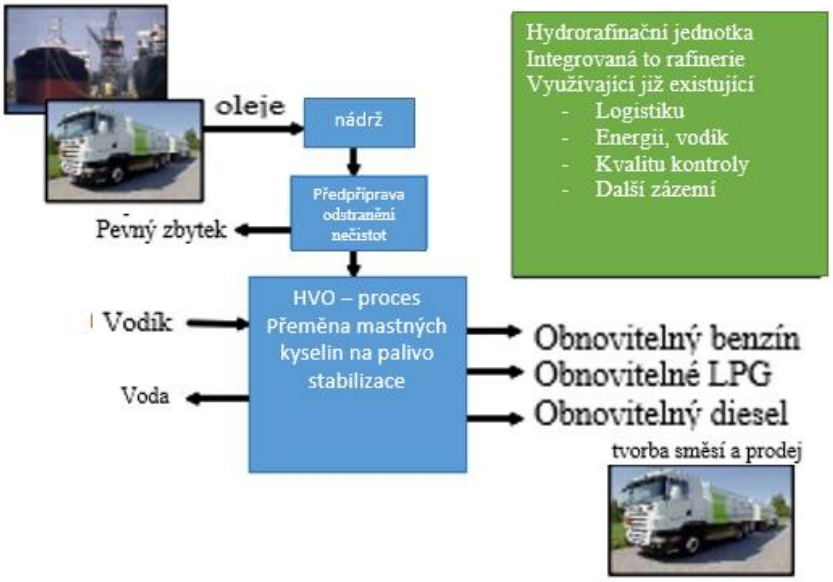
což je hodnota výrazně vyšší než v například ethanolu, která je 21,2 MJ/l. Díky tomu mohou HVO, posíleny také všeobecně vyšší účinností vznětových motorů oproti motorům zážehovým, umožnit urazit vozidlům využívajícím HVO až dvojnásobnou vzdálenost, v porovnání s vozidly využívající paliva na bázi ethanolu, jako například E85 (Aaotola et al. 2008).

Tabulka 4.5: Vlastnosti HVO v porovnání s dalšími palivy
Zdroj dat: Aatola H, Larmi M, Sarjovaara T. 2008 Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine, SAE International Journal of Engines. 1:2500

	HVO	EN590	GTL	FAME
hustota při 15°C(kg/m^3) - min	775	835	770	885
hustota při 15°C(kg/m^3) - max	785	835	785	885
cetanové číslo - min	80	53	73	51
cetanové číslo - max	99	53	81	51
viskozita při 40°C(mm2/s) - min	2.5	3.5	3.2	4.5
viskozita při 40°C(mm2/s) - max	3.5	3.5	4.5	4.5
Výhřevnost, nižší(Mj/kg)	44	42.7	43	37.5
Výhřevnost, nižší(Mj/l)	34.4	35.7	34	33.2
Stabilita při skladování	dobrá	dobrá	dobrá	náročná

4.2.2 Výroba a suroviny

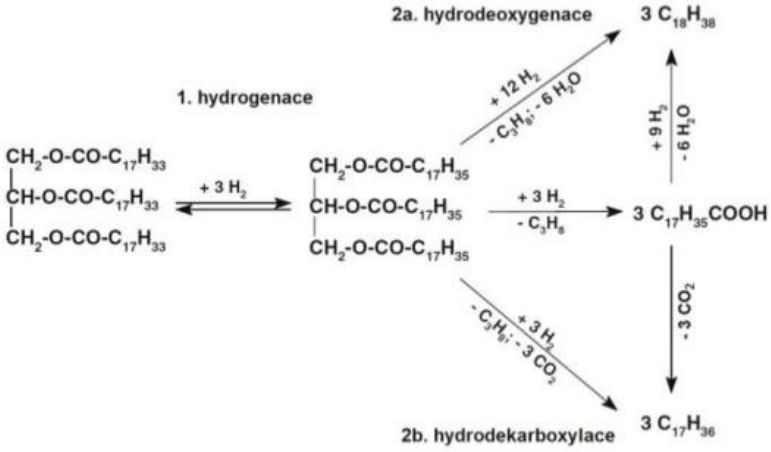
Zatímco kvalita FAME závisí na vlastnostech použitých surovin, což například omezuje použití některých materiálů v chladných oblastech, HVO mohou být produkovány takřka z libovolných rostlinných olejů bez toho, aby došlo k negativním vlivům na kvalitu paliva. Jako vstupní suroviny je možné použít například standardní zemědělské produkty, jako řepkový, slunečnicový, sójový, či palmový olej, avšak zde dochází ke konkurenci s potravinářskou produkcí. Existují však i možnosti využití alternativních surovin, například mohou být použity alternativní nepotravinářské oleje z dávivce, nebo z řas, ale musí jich být zajištěno dostatečné množství, aby mohly nahradit významnou část nafty na bázi fosilních paliv. Stejné platí i odpadních živočišných tucích. Ve výrobním procesu HVO se používá vodík k tomu, aby odstranil kyslík z triglyceridů (rostlinného oleje). Malé produkční jednotky však nebudou pravděpodobně konkurenceschopné, proto bude vhodné, aby byly součástí již existujících rafinérií, když se však bude měřítko produkce zvyšovat, budou samostatné jednotky podstatně konkurenceschopnější. Jednou z výhod HVO je, že chemikálie potřebné pro produkci MEŘO jako methanol, nejsou potřeba. Rovněž produkce HVO neobsahuje glycerol jako vedlejší produkt. Při výrobě HVO vzniká jako jeden z vedlejších produktů LPG, který je možné využít na místě pro plnění požadavků na teplo a energii (schéma viz. Obr. 4.6). První komerční továrna pro produkci HVO byla spuštěna v rámci ropné rafinérie Neste Oil Porvoo ve Finsku, přičemž byla schopna produkovat asi 3 800 barelů denně. Jednalo se o samostatnou jednotku, která však využívala stávající logistiku, laboratoře kontroly kvality a energetickou síť. (Aaotola et al. 2008).



Obrázek 4.6: Vstupy a výstupy HVO - jednotky
Autort: Aatola H, Larmi M, Sarjovaara T. 2008 Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine, SAE International Journal of Engines. 1:2500

4.2.3 Mechanismus hydrogenace HVO

Mechanismus hydrogenace HVO je katalytickou reakcí. Probíhá za využití katalyzátorů, kterými jsou kombinace kovů jako W, Co, Mo a Ni (v některých případech jsou použity katalyzátory na bázi drahých kovů jako Pd a Pt) na nosiči, který většinou bývá aluminou nebo zeolitem. Proces samotný pak probíhá při tlacích do 20 MPa za teplot v rozmezí 300-420 °C ve vodíkové atmosféře. V těchto podmínkách pak dochází k dílčím chemickým reakcím, při kterých dochází k přeměně triglyceridů mastných kyselin na jednoduché uhlovodíkové směsi. Na obr. 4.7 je zobrazené schéma reakce, kde je rostlinný olej reprezentován molekulou trioleinu. V průběhu hydrogenační reakce dojde na začátku k nasycení dvojných vazeb uhlovodíkových řetězců mastných kyselin, na které jsou navazovány molekuly triglyceridů. Tato reakce dále může pokračovat dvěma různými směry. Může se jednat o hydrodeoxygenaci nebo hydrodekarboxylaci. Za průběhu hydrodeoxygenace dochází k rozpadu triglyceridu a vzniká 6 molekul vody s 3 molekulami n-alkanů se stejným počtem uhlíkových atomů, jako jsou mastné kyseliny, které byly vázány v molekulách triglyceridu na počátku reakcí. Díky tomu, že v triglyceridech jsou relativně běžně zastoupeny kyseliny s 18 atomy uhlíku, je běžným produktem hydrodeoxygenace n-oktadekan ($C_{18}H_{38}$). Při hydrodekarboxylační reakci vzniká propan spolu s 3 molekulami oxidu uhličitého a 3 molekuly n-alkanů, jejichž počet uhlíků je o 1 nižší, než v případě původních mastných kyselin, které byly původně vázány v triglyceridu. Hlavním produktem reakce hydroderkarboxylace je n-heptadekan ($C_{17}H_{36}$). V případě, že při přeměně rostlinných olejů probíhá pouze hydrodekarboxylace, je výsledný výtěžek uhlovodíků zhruba o 5 % nižší. Příčinou tohoto poklesu je ztráta uhlíku obsaženého v CO_2. Tato ztráta však není příliš významnou nevýhodou, protože v případě alternativní hydrodeoxygenační cesty je nutný asi čtyřnásobný vstup vodíku. Při hydrogenaci rostlinných olejů dochází k uplatňování obou reakčních mechanismů a rozsah obou reakcí je závislý na katalyzátorech, které byly použity a reakčních podmínkách. (Šimáček et al. 2017).



Obrázek 4.7 Zjednodušené reakční schéma hydrogenace rostlinného olej, který je reprezentován molekulou trioleinu.
Autor: Šimáček P, Vrtiška D, Mužíková Z, Pospíšil M. 2017. Motorová paliva vyráběná hydrogenací rostlinných olejů a živočišných tuků. Chemické Listy 111:206-212

5 Metodika (experimentální část)

Tato část práce se zabývá přípravou vzorků a metodami měření, které byly při vypracování této práce použity.

5.1 Výroba vzorků methylesterů odpadních olejů

Pro měření vzorků směsí bionaft s motorovou naftou byly potřeba vlastní vzorky daných biopaliv, které byly vyrobeny z odpadních kuchyňský olejů, a to řepkového a slunečnicového, které byly schraňovány odděleně. Jejich příprava byla prováděna následovně:

1. Nashromáždění 1 l řepkového a 1 l slunečnicového upotřebeného kuchyňského oleje.
2. Pro výrobu FAME z obou olejů bylo připraveno pro každý 220 ml methanolu, ve kterém došlo k rozpuštění 5 g NaOH, čímž došlo ke vzniku methoxidu sodného.
3. Odpadní oleje byly zahřáty na 55 °C a byla k přidána směs methoxidu sodného z předchozího kroku.
4. Směs byla dále uzavřena a intenzivně 5 minut míchána.
5. V momentě kdy je míchání dokončeno směs byla ponechána 24 hodin stát. (výsledná směs. Viz. Obr. 5.1)
6. Poté co se v klidovém režimu od sebe oddělily fáze glycerolu a bionafty (viz. Obr. 5.2), je bionafta oddělena.
7. Z bionaft vyrobených ze slunečnicového a řepkového olej byly vytvořeny směsi se standardní naftou odpovídající normě ČSN EN 590, s obsahem biosložky 10, 30, 50 obj.%, smíchaných za stejné teploty obou fází (viz. Obr. 5.3), seznam vzorků viz. Tab. 5.1

Obrázek 5.1: Připravená bionafta před ustálením fází. Zdroj: vlastní

Obrázek 5.2: Připravená bionafta po oddělení fází. Zdroj: vlastní

Obrázek 5.3: Připravené směsi
Zdroj: vlastní

Tabulka 5.1 Seznam připravených směsí
Zdroj: vlastní

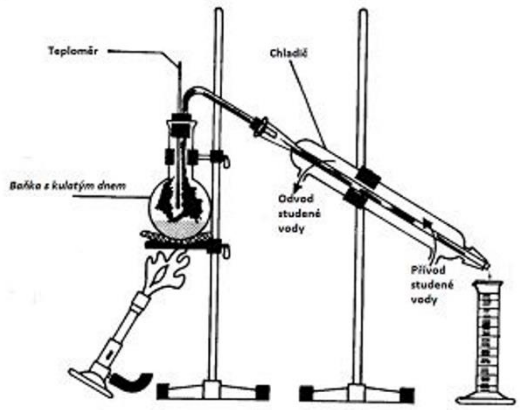
Seznam vzorků	textová zkratka
MN 100 %obj.	MN100
FAME - řepka	FAME(ř)
B10 - FAME(ř)	B10(ř)
B30 - FAME(ř)	B30(ř)
B50 - FAME(ř)	B50(ř)
FAME - slunečnice	FAME(s)
B10 - FAME(s)	B10(s)
B30 - FAME(s)	B30(s)
B50 - FAME(s)	B50(s)

5.2 Měření parametrů vyrobených biopaliv a jeho směsí

Tato kapitola se zabývá způsoby měření parametrů základní motorové nafty, vyprodukovaných bionaft a jejich směsí.

5.2.1 Destilační křivka

Zkouška provedena ČSN EN ISO 3405 Destilace byla provedena manuálně na aparatuře (viz. Obr. 5.4) jejíž součástí byla destilační baňka, teploměr, chladič, kahan a odměrný válec o objemu 100 ml a stojan. Do destilační baňky bylo odměřeno 100 ml vzorku. Ten byl v baňce následně umístěn na stojan a připojen do chladiče. Vzorek byl následně destilován. Páry byly vedeny do chladiče, kde byly kondenzovány a tento kondenzát byl dále veden chladičem do odměrného válce. Měření začíná v momentě, kdy kolonou začne procházet kondenzát, v tento moment zaznamenáme teplotu z teploměru. Dále zapisujeme teploty každých 5 ml kondenzátu převedeného kolonou do odměrného válce. Takto pokračujeme dokud destilace probíhá.



Obrázek 5.4: destilační aparatura
Zdroj: https://www.webchemie.cz/clanky/chemie-jasne.html?start=10

5.2.2 Hustota [při 15 °C, kg.m3-1]

Hustota měřených bionaft, základní motorové nafty a jejich směsí byla měřena pomocí ponorných hustoměrů, a je prováděna dle normy ČSN EN ISO 3675. Ponorné hustoměry jsou zatavené skleněné trubice s rozšířením v baničku, která obsahuje závaží o definované hmotnosti. Na zúžené části se nachází stupnice a měření se provádí při definované hmotnosti, z tohoto důvodu bývá na dně hustoměru zabudovaný rtuťový teploměr. Při měření je hustoměr po ponoření do kapaliny nadnášen vztlakovou silou, která ke rovna objemu vytlačené kapaliny, dle Archimédova zákona. Čím je nižší hustota kapaliny, tím hlouběji se ponoří. Pro přesnější stanovení hustoty, jsou hustoměry zpravidla vyráběny v sadách, přičemž má každý jednotlivý hustoměr stupnici pro úzké stanovení hustoty. Měření ponorným hustoměrem probíhá tak, že odměrný válec se naplní kapalinou, do které se ponoří hustoměr o vhodném rozsahu, přičemž je nutné dávat pozor, aby nedošlo k příliš rychlému ponoření a možnému rozbití hustoměru potencionálně spojeného s únikem rtuti. Při měření se hustoměr nesmí dotýkat stěn nádoby ani jejího dna. Potom, co se hladina uklidní se v úrovni menisku odečte na stupnici hodnota hustoty.

5.2.3 Ztráta filtrovatelnosti CFPP (°C)

CFPP je předepsáno normou ČSN EN 116. Dochází při něm k ochlazování vzorku nafty, přičemž dosáhne-li vzorek určité teploty, tak není dále schopen projít přes filtr, který je součástí zařízení. CFPP je hodnotou ve °C této teploty. Vzorek byl v případě aparátu použitého při experimentu nasáván pomocí pipety přes drátěnou mřížku a v momentě, kdy přes ni již nemohl protéct zpět, vzhledem ke krystalkům parafínu, které se vytvořily, zaznamenáme teplotu ve °C.

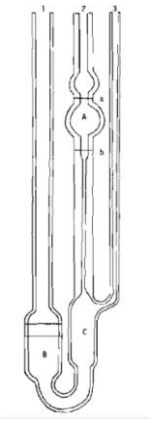
Obrázek 5.5: Filtrační zařízení
Zdroj: vlastní

5.2.4 Oxidační stabilita

Rancimat test (EN 14112) je metoda, která se používá ke stanovení oxidační stability rostlinných olejů a esterů. Tato metoda byla původně používána v potravinářském průmyslu ke stanovení žluklosti olejů a tuků. Vzorky jsou podrobeny stárnutí při konstantní teplotě 110 °C a průtoku vzduchu 10 l/h a vzniklé produkty oxidace se zachytávají v měřící cele spolu destilovanou vodou. V této cele se nepřetržitě monitoruje vodivost. Konec měření nastane v momentě překročení vodivosti 200 $\mu S.cm^{-1}$. Z těchto dat dále dojde k určení indukční periody, což je doba, která uběhne od momentu spuštění, kdy byla oxidace spuštěna do okamžiku, kdy dojde k výraznému nárůstu vodivosti, který je způsoben intenzivní oxidací vzorku. K určení indukční periody se používá výpočet druhé derivace. (Tomášíková et al. 2016)

5.2.5 Kinematická viskozita

Zkouška předepsaná dle ČSN EN ISO 3104. Měření je prováděno při 40 °C, přičemž se zjišťuje doba průtoku určitého objemu vzorku paliva. Přístroj se nazývá Ubbelohdeho viskozimetr (obr. 5.6) a samotné měření je prováděno v kapiláře. Kinematickou viskozitu následně spočítáme jako součin kalibrační konstanty viskozimetru a průměrné doby průtoku.



Obrázek 5.6: Ubbelohdo viskozimetr. Zdroj:https://www.semanticscholar.org/paper/Viscosity-of-potassium-iodide-in-1-propanol-water-Koel/66b4583259a740b6d2f25c60c56363b8fa1eb69c/figure/4

5.2.6 Bod vzplanutí

Test, který byl prováděn dle normy ČSN EN ISO 2592. Do zkušebního kelímku se po risku nalije zkoušený vzorek a následně se zahřívá kahanem a průběžně se přejíždí malým plamenem přes zkušební kelímek. Nejnižší teplota, při které přejetí zkušebním plamenem způsobí zapálení par nad hladinou kapaliny, se počítá jako teplota vzplanutí a je zadána ve °C. Aparatura viz. Obr. 5.7.

Obrázek 5.7: Otevřený kelímek podle Clevelanda
Zdroj: vlastní

5.2.7 Cetanový index

Parametr stanovovaný dle normy ČSN EN ISO 4264, který je používán jakožto náhrada cetanového čísla, zejména proto, že jeho stanovení je podstatně levnější a méně náročné. Jeho výpočet je závislý na naměřených hodnotách nafty, a to hustoty měřené při 15 °C a destilačních bodech T10, T50, T90. To jsou body, ve kterých byly zaznamenány teploty, při kterých bylo předestilováno 10 %, 50 % a 90 % obj. vzorku. V obr. 5.8 jsou uvedeny rovnice, podle kterých je prováděn výpočet.

$$CI = 45{,}2 + 0{,}0892T_{10N} + (0{,}131 + 0{,}901B)T_{50N} + (0{,}0523 - 0{,}42B)T_{90N} + 0{,}00049(T^2_{10N} - T^2_{90N}) + 107B + 60B^2$$

kde:

CI = Cetanový index

$T_{10N} = T_{10} - 215$ — T_{10} = teplota (°C) při které předestiluje 10 % obj. vzorku

$T_{50N} = T_{50} - 260$ — T_{50} = teplota (°C) při které předestiluje 50 % obj. vzorku

$T_{90N} = T_{90} - 310$ — T_{90} = teplota (°C) při které předestiluje 90 % obj. vzorku

$B = \exp(-3{,}5(d_{15} - 0{,}85)) - 1$ — d_{15} = hustota ($g \cdot cm^{-3}$) při 15 °C

Obrázek 5.8: výpočet cetanového indexu
Zdroj: https://docplayer.cz/docs-images/46/12517326/images/page_10.jpg

5.2.8 Parametry paliva

Hlavní parametry, který musí palivo dosahovat na základě normy ČSN EN 590. Parametry, kterých musí paliva a jejich směsi dosahovat jsou uvedeny v tabulce 5.2, jedná o se parametry zimní nafty třídy f.

Tabulka 5.2 Vlastnosti motorové nafty dle ČSN EN 590 Zdroj dat: ČSN EN 590+A1. 2018. Motorová paliva - Motorové nafty - Technické požadavky a metody zkoušení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha

motorová nafta - třída f	
parametr	**hodnota**
hustota při 15°C(kg/m^3) - min	820
hustota při 15°C(kg/m^3) - max	845
cetanový index min	46
viskozita při 40°C(mm2/s) - min	2
viskozita při 40°C(mm2/s) - max	4.5
bod vzplanutí °C	>55
obsah vody - (mg.kg^{-1} = ppm)	<200
ox. Stabilita - (h)	20
Předestilovaný obj. do 250 °C % (V/V)	<65 %
Předestilovaný obj. do 350 °C % (V/V)	min. 85 %
95 % (V/V) předest	max. 360°C
Filtrovatelnost CFPP	max -20°C
Obsah metylesterů mastných kyselin (FAME) % (V/V)	7%

6 Výsledky měření

V experimentální části této práce byly použity vzorky methylesterů mastných kyselin vyrobených z nasbíraných upotřebených kuchyňských olejů (odděleně sbírán řepkový a slunečnicový). Testován byl celý rozsah vzorků na bázi slunečnicových a řepkových methylesterů. Rovněž byly testovány jejich směsi s motorovou naftou, přičemž podíly biosložky ve zkoumaných vzorcích představovaly 10, 30, 50 obj. %. U každého vzorku byla měřena destilační křivka, hustota, cetanový index, CFPP, oxidační stabilita, kinematická viskozita, obsah vody a bod vzplanutí. Destilační křivky jednotlivých vzorků jsou graficky znázorněny v obrázku 6.1. Naměřené hodnoty testovaných parametrů jsou dále uvedeny v tabulkách 6.1-6.9., a změna těchto hodnot v závislosti na přidané biosložce v obrázcích 6.1-6.8. V případě, že hodnoty nevyhovují normám (tab. 5.2.) jsou vyznačeny červenou barvou.

Tabulka 6.1: Naměřené vzorku MN100

MN100		
Hustota při 15 °C	[kg.m3-1]	830
Cetanový index [-]	-	54.6
CFPP (°C)	°C	-28
Oxidační stabilita	h	25.5
Kinematická viskozita	mm2/s	2.84
obsah vody	ppm	156
bod vzpanutí	°C	73
Začátek destilace	°C	172
Předestilovaný obj. do 250 °C	%(V/V)	32.5
Předestilovaný obj. do 350 °C	%(V/V)	90
95 % (V/V)	°C	X
Celkový předestilovaný obj.	%(V/V)	90
T10	°C	207
T50	°C	277
T90	°C	280

Tabulka 6.2: Naměřené hodnoty vzorku B10(ř)

B10 - FAME(ř)		
Hustota při 15 °C	[kg.m3-1]	834
Cetanový index [-]	-	52.7
CFPP (°C)	°C	-27
Oxidační stabilita	h	7.6
Kinematická viskozita	mm2/s	3.42
obsah vody	ppm	169
bod vzpanutí	°C	74
Začátek destilace	°C	161
Předestilovaný obj. do 250 °C	%(V/V)	36.4
Předestilovaný obj. do 350 °C	%(V/V)	90
95 % (V/V)	°C	X
Celkový předestilovaný obj.	%(V/V)	90
T10	°C	203
T50	°C	275
T90	°C	294

Tabulka 6.3: Naměřené hodnoty vzorku B10(s)

B10 - FAME(s)		
Hustota při 15 °C	[kg.m3-1]	834
Cetanový index [-]	-	54.6
CFPP (°C)	°C	-27
Oxidační stabilita	h	5.8
Kinematická viskozita	mm2/s	3.51
obsah vody	ppm	168
bod vzpanutí	°C	70
Začátek destilace	°C	180
Předestilovaný obj. do 250 °C	%(V/V)	35.6
Předestilovaný obj. do 350 °C	%(V/V)	90
95 % (V/V)	°C	X
Celkový předestilovaný obj.	%(V/V)	90
T10	°C	203
T50	°C	280
T90	°C	336

Tabulka 6.4: Naměřené hodnoty vzorku B30(ř)

B30 - FAME(ř)		
Hustota při 15 °C	[kg.m3-1]	843
Cetanový index [-]	-	55.1
CFPP (°C)	°C	-26
Oxidační stabilita	h	8.1
Kinematická viskozita	mm2/s	3.81
obsah vody	ppm	171
bod vzpanutí	°C	75
Začátek destilace	°C	165
Předestilovaný obj. do 250 °C	%(V/V)	25.4
Předestilovaný obj. do 350 °C	%(V/V)	90
95 % (V/V)	°C	X
Celkový předestilovaný obj.	%(V/V)	90
T10	°C	208
T50	°C	308
T90	°C	322

Tabulka 6.5: Naměřené hodnoty vzorku B30(s)

B30 - FAME(s)		
Hustota při 15 °C	[kg.m3-1]	843
Cetanový index [-]	-	52.8
CFPP (°C)	°C	-25
Oxidační stabilita	h	7.3
Kinematická viskozita	mm2/s	3.74
obsah vody	ppm	167
bod vzpanutí	°C	67
Začátek destilace	°C	182
Předestilovaný obj. do 250 °C	%(V/V)	27.9
Předestilovaný obj. do 350 °C	%(V/V)	90
95 % (V/V)	°C	X
Celkový předestilovaný obj.	%(V/V)	90
T10	°C	203
T50	°C	293
T90	°C	342

Tabulka 6.6: Naměřené hodnoty vzorku B50(ř)

B50 - FAME(ř)		
Hustota při 15 °C	[kg.m3-1]	851
Cetanový index [-]	-	55.5
CFPP (°C)	°C	-25
Oxidační stabilita	h	8.6
Kinematická viskozita	mm2/s	4.21
obsah vody	ppm	178
bod vzpanutí	°C	74
Začátek destilace	°C	167
Předestilovaný obj. do 250 °C	%(V/V)	15
Předestilovaný obj. do 350 °C	%(V/V)	90
95 % (V/V)	°C	X
Celkový předestilovaný obj.	%(V/V)	90
T10	°C	228
T50	°C	330
T90	°C	320

Tabulka 6.7: Naměřené hodnoty vzorku B50(s)

B50 - FAME(s)		
Hustota při 15 °C	[kg.m3-1]	853
Cetanový index [-]	-	49.0
CFPP (°C)	°C	-24
Oxidační stabilita	h	7.9
Kinematická viskozita	mm2/s	4.27
obsah vody	ppm	162
bod vzpanutí	°C	66
Začátek destilace	°C	181
Předestilovaný obj. do 250 °C	%(V/V)	14.8
Předestilovaný obj. do 350 °C	%(V/V)	95
95 % (V/V)	°C	280
Celkový předestilovaný obj.	%(V/V)	95
T10	°C	228
T50	°C	310
T90	°C	277

Tabulka 6.8: Naměřené hodnoty vzorku FAME(ř)

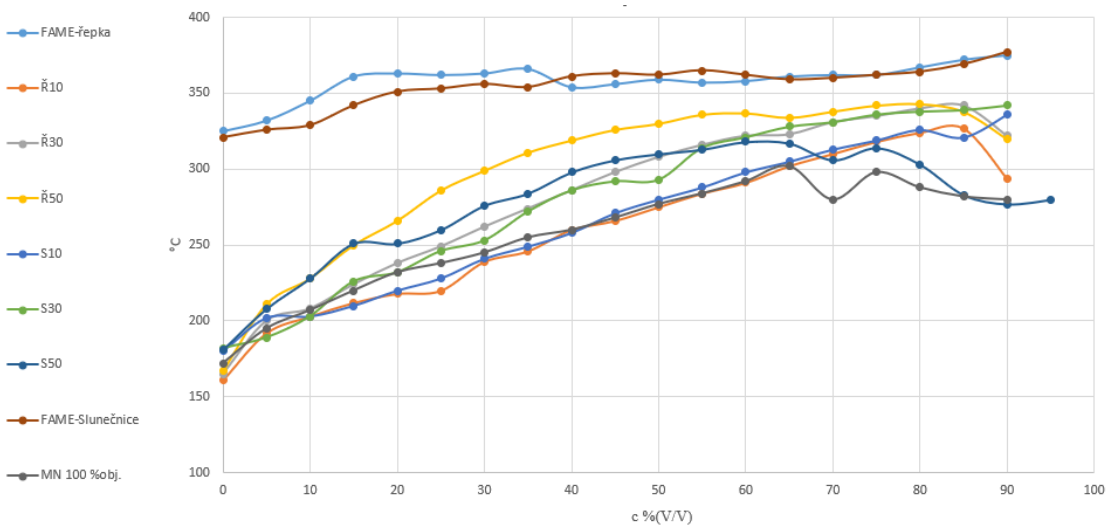
FAME - řepka		
Hustota při 15 °C	[kg.m3-1]	875
Cetanový index [-]	-	65.6
CFPP (°C)	°C	-24
Oxidační stabilita	h	5.3
Kinematická viskozita	mm2/s	5.87
obsah vody	ppm	191
bod vzpanutí	°C	75
Začátek destilace	°C	325
Předestilovaný obj. do 250 °C	%(V/V)	0
Předestilovaný obj. do 350 °C	%(V/V)	12.3
95 % (V/V)	°C	X
Celkový předestilovaný obj.	%(V/V)	90
T10	°C	345
T50	°C	359
T90	°C	375

Tabulka 6.9 Naměřené hodnoty vzorku FAME(s)

FAME - slunečnice		
Hustota při 15 °C	[kg.m3-1]	877
Cetanový index [-]	-	61.5
CFPP (°C)	°C	-15
Oxidační stabilita	h	4.2
Kinematická viskozita	mm2/s	5.82
obsah vody	ppm	198
bod vzpanutí	°C	65
Začátek destilace	°C	321
Předestilovaný obj. do 250 °C	%(V/V)	0
Předestilovaný obj. do 350 °C	%(V/V)	19.4
95 % (V/V)	°C	X
Celkový předestilovaný obj.	%(V/V)	90
T10	°C	329
T50	°C	362
T90	°C	377

6.1 Destilační křivka

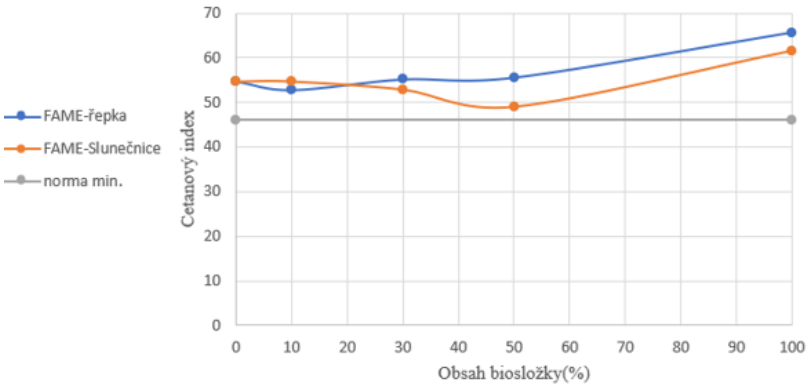
V následujícím obrázku č. 6.1 jsou vidět destilační křivky pro motorovou naftu (dále MN100), připravených FAME a jejich směsí (viz. Tab. 6.1-6.9). Z obrázku je patrné, že destilační křivka vzorků FAME(ř) a FAME(s) začíná na podstatně vyšší teplotě, než ostatní vzorky a z počátku strmě vstoupá do momentu, než je oddestilováno asi 20 obj. % a následně se ustálí. Destilační křivka MN100 začíná v porovnání s ostatními vzorky na podstatně nižší teplotě, následně pokračuje do zhruba 65 oddestilovaných objemových %, přičemž následuje mírný propad a ustálení na konci destilační křivky. Destilační křivky ostatních směsí s postupně se zvyšujícím podílem biosložky B10(ř), B30(ř), B50(ř), B10(s), B30(s), B50(s) jsou podobné svým průběhem čisté motorové naftě, ale s rostoucím obsahem biosložky stoupá i teplota při které probíhá jejich destilace.



Obrázek 6.1 Destilační křivky vzorků

6.2 Cetanový index

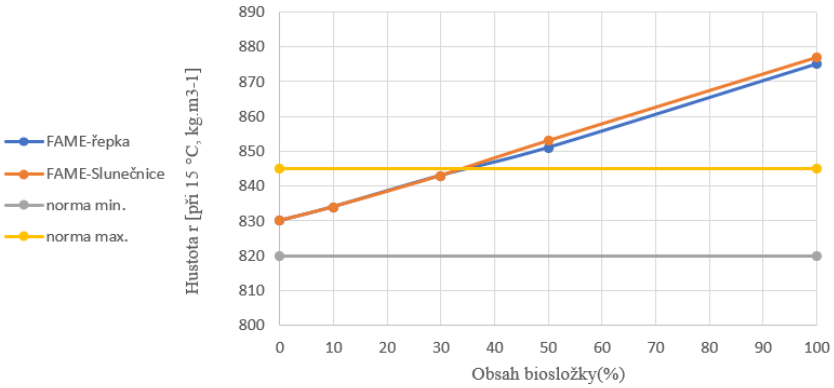
Na obrázku 6.2 (hodnoty samotné jsou uvedeny v tabulkách 6.1-6.9) je uveden průběh změn cetanového indexu se zvyšujícím se podílem FAME z připravených vzorků. B10(ř) má nižší cetanový index než MN100, ale B30(ř) a B50(ř) jej mají vyšší než MN100. Vzorek B10(s) má cetanové číslo o něco vyšší než MN100, ale vzorky B30(s) a B50(s). Vzorky FAME(ř) a FAME(s) mají cetanové číslo vyšší než MN100.



Obrázek 6.2: Změny hodnot cetanového indexu s přibývajícím obsahem biosložky

6.3 Hustota

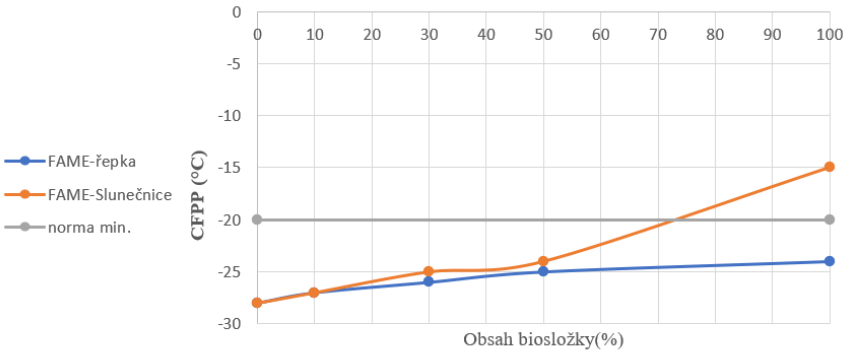
Na obrázku 6.3 (hodnoty samotné jsou uvedeny v tabulkách (6.1-6.9) jsou patrné změny hustoty měřených vzorků, které konstantně stoupají s rostoucím podílem biosložky. Mezi vzorky FAME z odpadních kuchyňských olejů je viditelný rozdíl od vzorků s 50% podílem biopaliva a u čistých vzorků. 10 a 30% podíly vykazují totožné hodnoty.



Obrázek 6.3: Změna hustoty s přibývajícím obsahem biosložky

6.4 Cold filter plugging point - (CFFP)

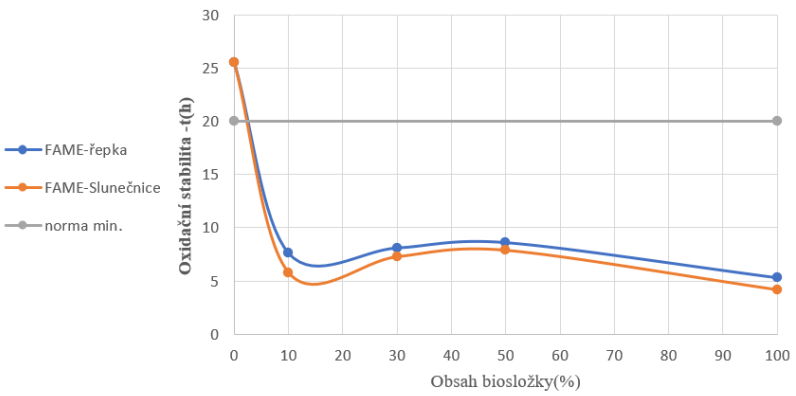
Na obrázku 6.4 (hodnoty samotné jsou uvedeny v tabulkách 6.1-6.9) jsou znázorněny postupné změny naměřených hodnot CFPP s rostoucím podílem biosložky. Rozdíl CFPP MN100 a FAME(ř) jsou 4 °C a změny jsou s rostoucím podílem biosložky dosti pozvolné. V případě FAME(s) je rozdíl CFPP v porovnání s MN100 13 °C, proto jsou změny rostoucím podílem biopaliva výraznější.



Obrázek 6.4: Změny hodnoty CFPP s přibývajícím obsahem biosložky

6.5 Oxidační stabilita

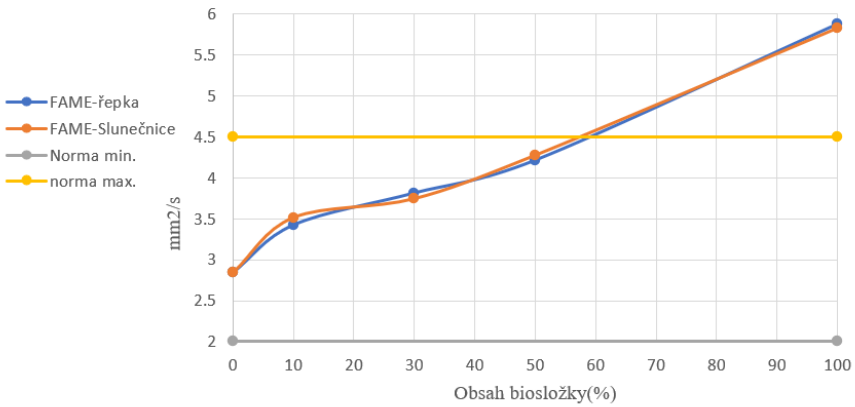
Na obrázku 6.5 (hodnoty samotné jsou uvedeny v tabulkách 6.1-6.9) jsou vidět změny v oxidační stabilitě vzorků s rostoucím podílem biosložky. Zatímco čistá motorová nafta vykazuje oxidační stabilitu 25 hodin a 30 minut, i 10% přídavek obou druhů biosložky způsobí značný propad v této na méně než 10 hodin i u „nejstabilnější“ směsi.



Obrázek 6.5: Změny oxidační stability s přibývajícím obsahem biosložky

6.6 Kinematická viskozita

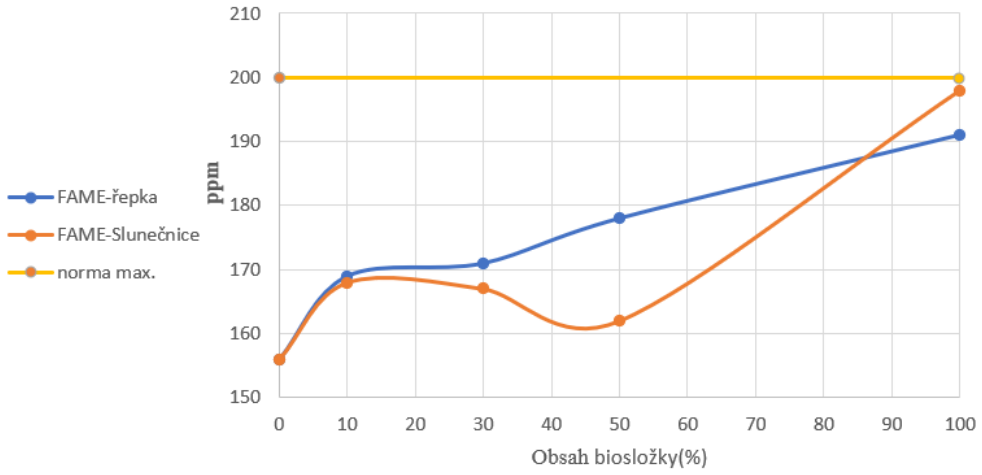
Na obrázku 6.6 (hodnoty samotné jsou uvedeny v tabulkách 6.1-6.9) se ukazuje zvyšování kinematické viskozity s navyšujícím se podílem biosložky v MN100. Kinematická viskozita FAME(ř) a FAME(s) a jejich směsí s MN100 je podobná.



Obrázek 6.6: Změny viskozity s přibývajícím obsahem biosložky

6.7 Obsah vody

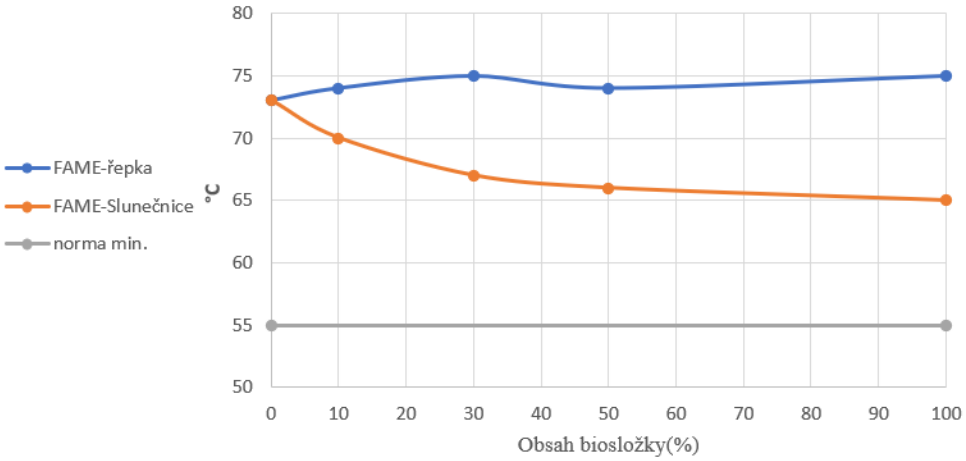
Na obrázku 6.7 (hodnoty samotné jsou uvedeny v tabulkách 6.1-6.9) jsou znázorněny změny v obsahu vody vzorků při navyšování podílů biosložky. Zatímco obsah vody u vzorků FAME(ř) se zvyšuje, tak u vzorků B30(s) a B50(s) dochází k propadu, přesto má čistý FAME(s) v tomto případě vyšší obsah vody než FAME(ř).



Obrázek 6.7: Změna obsahu vody s přibývající biosložkou

6.8 Bod vzplanutí

Na obrázku 6.8 (hodnoty samotné jsou uvedeny v tabulkách 6.1-6.9) jsou uvedeny hodnoty bodů vzplanutí čisté motorové nafty, vlastních vzorků FAME a jejich směsí. Zatím co MN100 má hodnotu bodu vzplanutí 73 °C, FAME(ř) a všechny jeho směsi se pohybují mezi hodnotami 74-75 °C, není zde téměř rozdíl. U FAME(s) jsou rozdíly významnější, zde má čistý vzorek hodnotu bodu vzplanutí 65 °C, tudíž výrazněji ovlivňuje směsi s MN100 jejichž teploty se pohybují mezi 65–70 °C.



Obrázek 6.8: Změna bodu vzplanutí s přibývajícím podílem biosložky

7 Diskuze

Tato kapitola se zabývá naměřenými výsledky vlastních vzorků a jejich srovnání s normami a s dostupnou vědeckou literaturou, za účelem určení optimálních koncentrací přídavků FAME z upotřebených kuchyňských tuků, které budou stále plnit normu ČSN EN 590.

Národní akční plán čisté mobility udává, že v roce 2010 měla alternativní paliva podíl na spotřebě energie 4,4 %, přičemž v ČR samotné tvořil tento podíl 4,2 %. Dodavatelé pohonných hmot dostali za úkol od Evropské unie snížit produkci skleníkových plynů v rámci životního cyklu paliva o 6 % do roku 2020, při čemž se očekávalo, že biopaliva budou mít na tomto snížení emisí hlavní podíl. V ČR se v současnosti používají zejména nízkoprocentní směsi biopaliv, přičemž u směsí motorové nafty s bionaftou se používá podíl 7 % biosložky, což umožňuje těmto palivům používat stávající infrastrukturu. Občas je možné narazit i na paliva s 30 % přídavkem. (Ministerstvo průmyslu a obchodu 2015)

Kromě silničních motorových vozidel, lze dle mého názoru očekávat rozšířené používání biopaliv na železnici, protože dle koncepce veřejné dopravy 2020-2025 je v České republice elektrifikováno asi 34 % procent tratí a v EU 53 % a zejména v ČR jsou používané pohonné agregáty staršího data, což je způsobeno zejména dlouhou odpisovou dobou železničních vozidel, která dosahuje 30-ti let, Toto se týká i nových vozidel. Dopravní sektor ČR představuje dominantního znečišťovatele ovzduší v ČR, přičemž je asi 98 % spotřebované energie tvořeno uhlíkovými palivy. (Ministerstvo dopravy 2020) Lze však očekávat výrazné změny, protože podle Evropské komise (2019) je dopravní sektor EU zodpovědný za asi 25 % vyprodukovaných skleníkových plynů, a v plánu je do roku 2050 snížit produkci emisí v tomto sektoru o 90 %.

Co se významu odpadních kuchyňských olejů týče, je dle Goh et al. (2020), v EU ročně vyprodukováno kolem 1 660 000 tun této suroviny, přičemž z nich vyprodukovaná bionafta představuje podíl až 25 % bionafty vyprodukované v EU, což představuje asi 1,4 % celkové spotřeby energie v dopravním sektoru. Kromě produkce FAME je možné tyto odpadní oleje použít pro výrobu dalších druhů biopaliv, například hydrogenovaných rostlinných olejů (HVO), které představuje velmi perspektivní palivo a rafinérskou složku (Erkkilä et al. 2011), nebo dle. Hassen et al. (2018) vyrobit bio-olej pyrolýzou, což však není úplně optimální palivo, spíše se hodí pro získání dalších produktů pro chemický průmysl.

Pro hustotu motorové nafty je podle ČSN EN 590 povoleno rozmezí 820-845 kg/m^3. Tomuto rozmezí odpovídají vzorky MN100(základní nafta třídy f se kterou byly vytvářeny směsi), B10(ř), B30(ř), B10(s), B30(s). Vzorky B50(ř), B50(s), FAME(ř) a FAME(s) mají již hustotu vyšší. Vyšší hustota, než požaduje norma se může projevit dle Honig & Smrčka (2016) zvýšenou kouřivostí. Hustota vzorků FAME(ř) a FAME(s) se pohybuje v povoleném rozmezí 860 až 900 kg/m3 při 15 °C pro FAME dle normy ČSN EN 14214+A2. Při srovnání parametru hustoty s jinými autory, je hustota čistých vzorků FAME(ř) s 875 kg/m^3 a FAME(s) s 877 kg/m^3 při 15 °C o něco nižší. Enweremadu & Mbarawa (2009), který se zabýval vlastnostmi FAME vyrobeného z odpadního oleje na smažení, uvádí hodnotu pro hustotu 890 kg/m^3 při 15 °C a Hassen et. al (2018), jenž se zabýval produkcí FAME z odpadních kuchyňských olejů uvádí na 897 kg/m3. Tento rozdíl v hustotě by mohl být způsoben, jak uvádí Enweremadu & Mbarawa (2009) zejména rozdíly v obsahu alkylesterů a zbývajícího množství alkoholu, zároveň je tato vlastnost ovlivněna z velké části výběrem rostlinného oleje. Rodríguez-Fernández et al. (2019)

se rovněž zabýval vlastnostmi směsí biopaliv s motorovou naftou naměřil hodnoty hustoty směsí, které jsou téměř totožné s vlastními naměřenými (viz. Obrázky 4.2 a 6.3).
Dalším parametrem, který je normou ČSN EN 590 udáván, je cetanový index, který má dosahovat nejméně hodnoty 46. Všechny vzorky měli cetanový index vyšší než minimální hodnotu udávanou normou. Poněkud zvláštní jsou výsledné hodnoty cetanového indexu u vzorků B30(s) a B50(s), protože obě tyto hodnoty jsou nižší než u vzorku MN100, který měl hodnotu cetanového indexu 54,6 a FAME(s) s hodnotou 61,5 a vzorky B30(s), B50(s) jsou směsí těchto dvou vzorků. Lze tedy předpokládat, že došlo z mé strany k chybě při měření destilačních křivek těchto vzorků, což považuji za pravděpodobnější než chybu při měření hustoty. Naměřený cetanový index pro vzorky FAME(ř) a FAME(s) rovněž odpovídá normě ČSN EN 14214+A2, která požaduje cetanový index pro FAME minimálně 46. Chhetri et al. (2009), stanovil tento parametr na 61 u FAME z odpadního kuchyňského oleje z řepky, přičemž vzorky FAME(ř) FAME(s) měli hodnotu cetanového indexu 65,6 a 61,5. Tento rozdíl mohl být způsoben rozdílným použitím, způsobem smažení, nebo být ovlivněn typem jídla, při jehož přípravě byly dané oleje použity, což jsou faktory, které mohou mít dle Goh et al. (2020) vliv.
CFPP dle normy ČSN EN 590 pro zimní naftu třídy f by mělo minimálně být -20 °C. Až na vzorek FAME(s), který měl tuto hodnotu „pouhých“ -15 °C, měli všechny vzorky hodnotu odpovídající normě. Jak uvádí Enweremadu & Mbarawa (2009), překročení této hodnoty by znamenalo zhoustnutí paliva a zhoršení proudění paliva v motoru. Přesto, že jeden ze vzorků nevyhověl normě ČSN EN 590, došlo k vyvrácení hypotézy, že bionafta z upotřebeného kuchyňského oleje má CFPP při teplotách vyšších než 0 °C. Tyto výsledky ukazují, že slunečnicové a řepkové rostlinné oleje je možné považovat za vhodné suroviny pro produkci FAME do oblastí, kde teploty budou klesat pod 0 °C, protože dle Aaotola et al. (2008) je použití některých materiálů pro produkci FAME nevhodné v chladných oblastech. Toto tvrzení lze dle mého názoru podpořit parametry FAME vyrobeného esterifikací z volných mastných kyselin získaných z průmyslu zpracovávajícího palmový olej, kterým se zabýval Rodríguez-Fernández et al. (2019) kdy hodnota CFPP 100% biopaliva byla 12 °C a další směsi s motorovou naftou byly dále tímto parametrem výrazně ovlivněny (viz obrázek 4.3) na rozdíl od směsí vzorků MN100 s FAME(s) a FAME(ř) jak je možné vidět v obrázku 6.4.
Norma ČSN EN 590 pro motorovou naftu dále požaduje oxidační stabilitu alespoň 20 h, což je hodnota, kterou kromě vzorku MN100, který je motorovou naftou a má hodnotu oxidační stability 25,5 h, nesplnil žádný vzorek, čímž došlo k potvrzení hypotézy, že bionafta z upotřebeného kuchyňského oleje má bez příslušných aditiv sníženou oxidační stabilitu neodpovídající normě. Vzorky FAME(ř) a FAME(s) rovněž propadly ve srovnání s minimálními požadavky s normou pro FAME ČSN EN 14214+A2, která udává oxidační stabilitu na minimálně 8 h. Při měření oxidační stability vzorků dosáhl nejlepšího výsledku vzorek B50(ř) a to 8,6 h. Nejhorší naměřený výsledek byl 4,2 hodiny u vzorku FAME(s). Když se tématem oxidační stability FAME z použitých palmových olejů zabýval Loh et.al (2006), dosáhl hodnoty 3,42 hodiny. Malá oxidační stabilita je jedním z problémů FAME, který představuje komplikace při skladování těchto paliv a jejich směsí. (Tomašíková et al.2013)
Požadavky na viskozitu, které jsou stanovené normou ČSN EN 590 se pohybují v rozmezí 2 - 4,5 mm^2/s, které plní základní vzorek MN100 a všechny vzorky směsí. Čistá biopaliva FAME(ř) a FAME(s) mají však viskozitu vyšší, a to 5,87 a 5,82 mm^2/s, což je vyšší viskozita, než je pro FAME povolena normou ČSN EN 14214+A2. V případě, že by došlo v motoru

k použití paliva s příliš vysokou viskozitou, došlo by k nedokonalému spalování a zanášení vstřikovače. (Enweremadu & Mbarawa 2009). Hodnoty vzorků FAME(ř) a FAME(s) jsou vyšší než v případě Enweremadu & Mbarawa (2009), který u bionafty z odpadního oleje na smažení udává hodnotu viskozity 4,23 mm^2/s, i Math et al. (2010) udávající hodnotu u bionafty odpadního kuchyňského oleje 5,3 mm^2/s. Viskozita mohla být ovlivněna faktory, jako polymerace glyceridů při smažení, nebo neúplnou reakcí použitých olejů (Enweremadu & Mbarawa 2009). Změnami v kinematické viskozitě směsí fosilního paliva s biosložkou se zabýval Rodríguez-Fernández et al. (2019), ačkoli celková viskozita, je díky použití jiného biopaliva menší, jak je možné vidět v obrázcích 4.4 a 6.6, že postupné změny této hodnoty jsou s přibývající biosložkou podobné.

Všechny vzorky splňují maximální hladinu obsahu vody stanovené normou ČSN EN 590 na maximálně 200 ppm. Obsah vody směsí vzorků FAME(ř) a MN100 se pohybuje v rozmezí 156–191 ppm, stoupající s rostoucím podílem biosložky. U směsí FAME(s) s MN100 se rozmezí pohybuje mezi 156–198 ppm, zde však je hodnota u vzorků B30(s) a B50(s) nižší, než v případě B10(s), jak je vidět v obrázku 6.7 Rodríguez-Fernández et al. (2019) v obrázku 4.5 ukazuje podstatně drastičtější změny, zapříčiněné zejména nižším obsahem vody kolem 24 ppm v základní motorové naftě a vyšším obsahem vody v čistém biopalivu o hodnotě 276 ppm. Přítomnost příliš vysokého množství vody v palivu může negativně ovlivnit spalování, pro omezení obsahu vody se upotřebený kuchyňský olej před výrobou FAME předehřívá na 120 °C (Gnanaprakasam et al. 2013)

Bod vzplanutí, který je stanoven normou ČSN EN 590 na minimálně 55 °C úspěšně plní všechny zkoumané vzorky. Vzorek MN100 měl tuto hodnotu 73 °C, FAME(ř) 75 °C a FAME(s) 65 °C a změny hodnot směsí těchto paliv s přibývající biosložkou odpovídají, jak je možné vidět v obrázku 6.8. Dále je nutné zmínit, že vzorky FAME(ř) a FAME(s) neplní minimální bod vzplanutí, který je stanoven pro FAME normou ČSN EN 14214+A2, který ji stanovuje na více než 101 °C. Celkově je teplota vzplanutí vzorků FAME(ř) a FAME(s) výrazně nižší než například 171 °C, které udává Enweremadu & Mbarawa (2009) u bionafty z upotřebeného oleje na smažení, nebo 195 °C u FAME z odpadního kuchyňského oleje, kterým se zabýval Math et al. (2010). Na takto značný propad bodu vzplanutí, může mít vliv nezreagovaný alkohol v palivu. (Boog et al. 2011)

V případě, že by byla adresována špatná oxidační stabilita těchto směsí, nebo nebyla tato paliva skladována delší dobu, lze z naměřených parametrů konstatovat, že nejvyšší obsah vlastní biosložky vyrobené z upotřebených kuchyňských olejů z řepky a slunečnice, tak aby palivové směsi odpovídaly normě ČSN EN 590 je 30 %, tedy vzorky B30(ř) a B30(s), přinejmenším v rámci zkoumaného rozmezí 10, 30, 50, 100 %. Tento podíl je o 10 % více než navrhuje Rodríguez-Fernández et al. (2019), ale to je zapříčiněno zejména špatnými chladovými vlastnostmi biosložky, která byla v tomto případě použita, jak je možné vidět v tabulce 4.4, dále uvádí, že další navyšování podílu biosložky by mohlo být možné, přidáváním jiných typů biopaliv.

Hypotézy:

1. Bionafta z upotřebeného kuchyňského oleje má bez příslušných aditiv sníženou oxidační stabilitu neodpovídající normě: Potvrzeno, všechny vzorky biopaliv a jejich směsi s fosilní naftou měly sníženou oxidační stabilitu, která neodpovídá normě ČSN EN 590

2. Bionafta z upotřebeného kuchyňského oleje má CFPP při teplotách vyšších než 0 °C: Vyvráceno, všechny vzorky měly CFPP nižší než 0°C.

8 Závěr

Odpadní kuchyňské oleje již v současnosti představují důležitou surovinu při produkci bionafty, jen v Evropské unii mají na celkovém vyrobeném objemu podíl 25 %. Jednou z výhod používání této odpadní suroviny je omezení konkurence s potravinovým sektorem a omezení nepřímých změn ve využívání půdy. Ovšem tato paliva na bázi methylesterů mastných kyselin mají své limity.

Potvrdilo se, že bionafta z upotřebeného kuchyňského oleje má bez příslušných aditiv sníženou oxidační stabilitu, která neodpovídala normě ČSN EN 590, u všech vzorků, i těch které obsahovali pouze 10% přídavek vlastních vyrobených biosložek byl zaznamenán výrazný propad tohoto parametru, důležitého zejména při skladování paliv.

Potíže s plněním dalších parametrů, které byly stanoveny normou ČSN EN 590, zejména hustoty a viskozity se manifestovaly hlavně u čistého biopaliva z upotřebených kuchyňských olejů a jejich 50:50 směsí s motorovou naftou, přičemž hodnoty těchto dvou parametrů byly vyšší, než je povoleno normou, což by při praktickém použití znamenalo potíže při spalování v motorech, které nejsou na tyto objemy biopaliva nastavené.

Požadavky normy ČSN EN 590 pro zimní naftu třídy f nebyly splněny pouze vzorkem vlastního připraveného čisté biopaliva z upotřebeného slunečnicového oleje, všechny ostatní vzorky touto zkouškou prošly. I když jeden ze vzorků nesplnil, hodnota CFPP byla stále nižší než 0 °C. Na datech, která byla v průběhu experimentu naměřena je možné vyvrátit hypotézu, že bionafta z upotřebeného kuchyňského oleje má CFPP vyšší než 0°C. Mezi čistými biopalivy a směsmi z řepkových a slunečnicových olejů se však ukázal rozdíl v této chladové vlastnosti na základě materiálu, ze kterého byla bionafta vyrobena, což bylo možné potvrdit dle dat jiných prací, které v některých případech u bionafty z upotřebených kuchyňských olejů udávaly hodnotu CFPP °C vyšší než 0°C.

Všechny vzorky dále splňovaly požadavky normy ČSN EN 590 na cetanový index, což je důležitý parametr jakosti paliva, který rozhoduje o vlastnostech paliva při spalovacím procesu. Normě také odpovídaly body vzplanutí všech vzorků, což představuje pozitivum zejména při skladování paliva.

Na základě naměřených dat bylo možné určit z testovaného rozsahu vzorků hraniční přídavek biopaliva z upotřebeného kuchyňského oleje. Tento podíl biopaliva přimíchaného do fosilní nafty byl určen na 30 %, protože stále plnil všechny normy, až na oxidační stabilitu, kterou by bylo nutné adresovat, nebo přinejmenším zajistit, aby paliva nebyla skladována delší dobu.

Diplomová práce přinesla, dle mého názoru další poznatky k chování palivových směsí v závislosti na obsahu biosložky ve standardní fosilní naftě. Dále přidala další data k vlivu vstupních surovin na kvalitu a vlastnosti FAME.

Výzkum v této oblasti by se dále mohl zabývat vlastnostmi pokročilých biopaliv jako je HVO, nebo palivy na bázi Fischer-Tropschovy syntézy ve směsích FAME vyrobeného z upotřebených kuchyňských olejů nebo jiných surovin, ve snaze maximalizovat podíl biosložky, což by mohlo mít významný efekt při plnění stanovených cílů v oblasti omezování produkce emisí a podílů obnovitelných zdrojů.

9 Literatura

Aatola H, Larmi M, Sarjovaara T. 2008 Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine, SAE International Journal of Engines. **1:**2500

Boog JHF. Silveria ELC. De Caland BL. Tubino M. 2011. Determining the residual alcohol in biodiesel through its flash point. Fuel. **2:**905-907

Carlucci, C, Andresini, M, Degennaro L, Luisi, R. 2019. Benchmarking Acidic and Basic Catalysis for a Robust Production of Biofuel from Waste Cooking Oil. Catalysts, **9**(12):1050

Chhetri AB. Watts, K. Rafiq I. 2008. Waste Cooking Oil as an Alternate Feedstock for Biodiesel Production. Energies. **1**:3-18

Enweremadu, C.C. Mbarawa, MM. 2009. Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil--A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, **13:**2205-2224

Evropská komise. 2019. Doprava a Zelená dohoda. Available from: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/transport-and-green-deal_cs (accessed February 2022).

Evropská komise. 2019. Energetika a Zelená dohoda. Available from: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_cs (accessed February 2022).

Evropská komise. 2019. Zelená dohoda pro Evropu. Available from: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_cs (accessed February 2022).

Evropská komise. 2019. Zpráva komise Evropskému parlamentu, radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů o stavu rozšíření produkce relevantních potravinářských a krmných plodin ve světě. Brusel

Evropský parlament, Rada evropské unie. 2021. Návrh SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY, kterou se mění směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001, nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1999 a směrnice Evropského parlamentu a Rady 98/70/ES, pokud jde o podporu energie z obnovitelných zdrojů, a zrušuje směrnice Rady (EU) 2015/652. Brusel

Evropský parlament, Rada Evropské unie. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. Brusel

Gnanaprakasam, A., Sivakumar, V. M., Surendhar, A., Thirumarimurugan, M., & Kannadasan, T. 2013. Recent strategy of biodiesel production from waste cooking oil and process influencing parameters: a review. Journal of Energy, **2013:**1-10

Goh BHH. Chong CT. Ge Y. Ong HC. Ng J-H. Tian B. Ashokkumar V. Lim S. Seljak T. Józsa V. 2020. Progress in utilisation of waste cooking oil for sustainable biodiesel and biojet fuel production. Energy Conversion and Management. **223:**113296

Hönig V. Smrčka L. 2016. Vliv bioetanolu na parametry motorové nafty. Listy cukrovarnické a řepařské. **132:**29-31

Kumar A, Munjal A, Sawhney R. 2011. Crude oil PAH constitution, degradation pathway and associated bioremediation microflora: an overview. International Journal of Environmental Sciences **7:**1420-1439

Lee R A, Lavoie J M. 2013. From first- to third-generation biofuels: Challenges of producing a commodity from a biomass of increasing complexity Animal Frontiers **3:**6-11

Liu T. Liu Y. Wu S. Xue J. Wu. Li Y. Kang X. 2018. Restaurants' behaviour, awareness, and willingness to submit waste cooking oil for biofuel production in China. journal of Cleaner Production **204:**636–642

Loh SK. Soo-Mooi C. Yuen-May. 2006. Oxidative stability and storage behavior of fatty acid methyl esters derived from palm oil. Journal of the American Oil Chemists Society. **83:**947-952

Math MC. Kumar SP. Chetty SV. 2010. Technologies for biodiesel production from used cooking oil — A review. Energy for Sustainable Development. **14**(4):339-345

Ministerstvo dopravy. 2020. Koncepce veřejné dopravy 2020-2025 s výhledem do roku 2030. Praha

Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2015. Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů. Praha

Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2015. Národní akční plán čisté mobility (NAP CM). Praha

Ministerstvo zemědělství. 2012. Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012-2020. Praha

Ministerstvo životního prostředí. 2016. Pařížská dohoda. Ministerstvo životního prostředí. Available from: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda. (accessed February 2022)

Parlament České republiky. 2020. č. 541/2020 Sb. o odpadech - znění od 01.02.2022. Praha

Goh BHH. Chong CT. Ge Y. Ong HC. Ng J-H. Tian B. Ashokkumar V. Lim S. Seljak T. Józsa V. 2020. Progress in utilisation of waste cooking oil for sustainable biodiesel and biojet fuel production. Energy Conversion and Management. **223**:113296

Rodríguez-Fernández J, Hernández JJ, Calle-Asensio A, Ramos Á, Barba J. 2019. Selection of Blends of Diesel Fuel and Advanced Biofuels Based on Their Physical and Thermochemical Properties. Energies. **12:**2034

Sangeeta, Moka S, Pande M, Monika, Gakhar R, Sharma M, Rani J, Bhaskarwar N. A. 2014. Alternative fuels: An overview of current trends and scope for future. Renewable and Sustainable Energy Reviews. **32**:697-712

Šimáček P, Vrtiška D, Mužíková Z, Pospíšil M. 2017. Motorová paliva vyráběná hydrogenací rostlinných olejů a živočišných tuků. Chemické Listy **111**:206-212

Sims R, Michael T, Saddler J, Mabee W. 2008. From 1st- to 2nd-generation biofuel technologies: An overview of current industry and RD&D activities. International Energy Agency and Organization for Economic Cooperation and Development. Paris

Tomašíková S, Pospíšil M, Šimácek Š. 2013. Stanovení oxidační stability biopaliv testem Rancimat. Paliva. **3:**84-86

Toppr. 2019. Fuel Meaning & Definition - Types of Fuel, Fuel Efficiency. Available from https://www.toppr.com/guides/chemistry/combustion-and-fuel/introduction-to-fuel-and-fuel-efficiency/ (accesed February 2022)

Trabelsi ABH. Zaafouri K. Baghdadi W. Naoui, S. Ouerghi, A. 2018. Second generation biofuels production from waste cooking oil via pyrolysis process. Renewable energy, **126:**888-896

Vlk, F., Paliva a maziva motorových vozidel. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. ISBN 80-239-6461-5, 376 s.

Zhang H. Li L. Zhou P. Hou J. Qi Y. 2014. Subsidy modes, waste cooking oil and biofuel: Policy effectiveness and sustainable supply chains in China. Energy Policy **65:**270-274

Normy

ČSN EN 116. 1999. Motorová nafta a topné oleje pro vytápění domácností. Stanovení filtrovatelnosti CFPP. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha

ČSN EN 590+A1. 2018. Motorová paliva - Motorové nafty - Technické požadavky a metody zkoušení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha

ČSN EN 14214+A2. 2019. Kapalné ropné výrobky - Methylestery mastných kyselin (FAME) pro vznětové motory a topné oleje - Technické požadavky a metody zkoušení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha

ČSN EN ISO 2592. 2018. Ropa a ropné výrobky - Stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření - Metoda otevřeného kelímku podle Clevelanda. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha

ČSN EN ISO 3104. 1997. Ropné výrobky. Průhledné a neprůhledné kapaliny. Stanovení kinematické viskozity a výpočet dynamické viskozity. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha

ČSN EN ISO 3405. 2011. Ropné výrobky. Stanovení destilační křivky při atmosférickém tlaku. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha

ČSN EN ISO 3675. 1999. Ropa a kapalné ropné výrobky. Laboratorní stanovení hustoty. Stanovení hustoměrem. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha

ČSN EN ISO 4264. 2008. Ropné výrobky - Výpočet cetanového indexu paliv na bázi středních destilátů rovnicí o čtyřech neznámých. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha

9.1 Seznam obrázků

Obrázek 4.1: základní reakční mechanismy ve výrobním procesu bionafty……30
Autor: Gnanaprakasam, A., Sivakumar, V. M., Surendhar, A., Thirumarimurugan, M., & Kannadasan, T. 2013. Recent strategy of biodiesel production from waste cooking oil and process influencing parameters: a review. Journal of Energy, 2013:1-10

Obrázek 4.2: Změny hustoty palivové směsi s rostoucím podílem biosložky……..36
Zdroj dat: Rodríguez-Fernández J, Hernández JJ, Calle-Asensio A, Ramos Á, Barba J. 2019. Selection of Blends of Diesel Fuel and Advanced Biofuels Based on Their Physical and Thermochemical Properties. Energies. 12:2034

Obrázek 4.3: Změny CFPP palivové směsi s rostoucím podílem biosložky……36
Zdroj dat: Rodríguez-Fernández J, Hernández JJ, Calle-Asensio A, Ramos Á, Barba J. 2019. Selection of Blends of Diesel Fuel and Advanced Biofuels Based on Their Physical and Thermochemical Properties. Energies. 12:2034

Obrázek 4.4 Změny viskozity palivové směsi s rostoucím podílem biosložky……37
Zdroj dat: Rodríguez-Fernández J, Hernández JJ, Calle-Asensio A, Ramos Á, Barba J. 2019. Selection of Blends of Diesel Fuel and Advanced Biofuels Based on Their Physical and Thermochemical Properties. Energies. 12:2034

Obrázek 4.5 Změna obsahu vody v palivové směsi s rostoucím obsahem biosložky……..…37
Zdroj dat: Rodríguez-Fernández J, Hernández JJ, Calle-Asensio A, Ramos Á, Barba J. 2019. Selection of Blends of Diesel Fuel and Advanced Biofuels Based on Their Physical and Thermochemical Properties. Energies. 12:2034

Obrázek 4.6: Vstupy a výstupy HVO – jednotky……...42
Autor: Aatola H, Larmi M, Sarjovaara T. 2008 Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine, SAE International Journal of Engines. 1:2500

Obrázek 4.7 Zjednodušené reakční schéma hydrogenace rostlinného olej, který je reprezentován molekulou trioleinu……43
Autor: Šimáček P, Vrtiška D, Mužíková Z, Pospíšil M. 2017. Motorová paliva vyráběná hydrogenací rostlinných olejů a živočišných tuků. Chemické Listy 111:206-212

Obrázek 5.1: Připravená bionafta před ustálením fází. ……..……..44
Zdroj: vlastní

Obrázek 5.2: Připravená bionafta po oddělení fází……...44
Zdroj: vlastní

Obrázek 5.3: Připravené směsi. ……..……..45
Zdroj: vlastní

Obrázek 5.4: destilační aparatura……..45
Zdroj: https://www.webchemie.cz/clanky/chemie-jasne.html?start=10

Obrázek 5.5: Filtrační ……..……..46
zařízení Zdroj: vlastní

Obrázek 5.6: Ubbelohdo viskozimetr……47
Zdroj:https://www.semanticscholar.org/paper/Viscosity-of-potassium-iodide-in-1-propanol-water-Koel/66b4583259a740b6d2f25c60c56363b8fa1eb69c/figure/4

Obrázek 5.7: Otevřený kelímek podle Clevelanda ……..…….……47
Zdroj: vlastní

Obrázek 5.8: výpočet cetanového indexu 47
Zdroj: https://docplayer.cz/docs-images/46/12517326/images/page_10.jpg.

Obrázek 6.1 Destilační křivky vzorků……...51

Obrázek 6.2: Změny hodnot cetanového indexu s přibývajícím obsahem biosložky……....51

Obrázek 6.3: Změna hustoty s přibývajícím obsahem biosložky……...52

Obrázek 6.4: Změny hodnoty CFPP s přibývajícím obsahem biosložky……...52

Obrázek 6.5: Změny oxidační stability s přibývajícím obsahem biosložky……...53

Obrázek 6.6: Změny viskozity s přibývajícím obsahem biosložky……53

Obrázek 6.7: Změna obsahu vody s přibývající biosložkou…….……54

Obrázek 6.8: Změna bodu vzplanutí s přibývajícím podílem biosložky…….……..54

9.2 Seznam tabulek

Tabulka 4.1: Vlastnosti FAME dle normy ČSN EN 14214……..34
Zdroj dat: ČSN EN 14214+A2. 2019. Kapalné ropné výrobky - Methylestery mastných kyselin (FAME) pro vznětové motory a topné oleje - Technické požadavky a metody zkoušení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha

Tabulka 4.2: Vlastnosti FAME z různých druhů odpadních kuchyňských olejů…….....35
Zdroj dat: Enweremadu, C.C. Mbarawa, MM. 2009. Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil--A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 13:2205-2224; Math MC. Kumar SP. Chetty SV. 2010. Technologies for biodiesel production from used cooking oil — A review. Energy for Sustainable Development. 14(4):339-345

Tabulka 4.3: Vlastnosti biooleje z odpadních kuchyňských tuků získaného pyrolýzou……....35
Zdroj dat: Trabelsi ABH. Zaafouri K. Baghdadi W. Naoui, S. Ouerghi, A. 2018. Second generation biofuels production from waste cooking oil via pyrolysis process. Renewable energy, 126:888-896

Tabulka 4.4: Změny ve vlastnostech palivové směsi s rostoucím podílem biosložky……..36
Zdroj dat: Rodríguez-Fernández J, Hernández JJ, Calle-Asensio A, Ramos Á, Barba J. 2019. Selection of Blends of Diesel Fuel and Advanced Biofuels Based on Their Physical and Thermochemical Properties. Energies. 12:2034

Tabulka 4.5: Vlastnosti HVO v porovnání s dalšími palivy……..…….…...41
Zdroj dat: Aatola H, Larmi M, Sarjovaara T. 2008 Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine, SAE International Journal of Engines. 1:2500

Tabulka 5.1 Seznam připravených směsí ……..…….…...45
Zdroj: vlastní

Tabulka 5.2 Vlastnosti motorové nafty dle ČSN EN 590……..……...48
Zdroj dat: ČSN EN 590+A1. 2018. Motorová paliva - Motorové nafty - Technické požadavky a metody zkoušení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha

Tabulka 6.1: Naměřené vzorku MN100……....49

Tabulka 6.2: Naměřené hodnoty vzorku B10(ř)…….…...49

Tabulka 6.3: Naměřené hodnoty vzorku B10(s)…….…...49

Tabulka 6.4: Naměřené hodnoty vzorku B30(ř)…….……...49

Tabulka 6.5: Naměřené hodnoty vzorku B30(s)…….……...49

Tabulka 6.6: Naměřené hodnoty vzorku B50(ř)…….……...50

Tabulka 6.7: Naměřené hodnoty vzorku B50(s)…….……...50

Tabulka 6.8: Naměřené hodnoty vzorku FAME(ř)…….…...50

Tabulka 6.9 Naměřené hodnoty vzorku FAME(s)…….……50