

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Biopaliva II. generace

Bakalářská práce

Autor práce: Filip Šmídek

Obor studia: Ochrana krajiny a využívání přírodních zdrojů

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

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Biopaliva II. generace" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16.7.2020



Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Vladimíru Hönigovi, Ph.D. et Ph.D. za rady a odbornou pomoc.

Biopaliva II. generace

Souhrn

Tato práce rozebírá téma biopaliv II. generace. V první části se věnuje legislativě zabývající se biopalivy v rámci České republiky a Evropské unie. Pokračuje teoretickým úvodem do problematiky a rozebírá typy využitelných odpadů pro jejich produkci. V druhé části se blíže věnuje produkci, technickým parametrům a srovnání těchto biopaliv s fosilními palivy. Tato část práce se také zabývá produkovanými objemy odpadů na území České republiky, které jsou vhodné pro produkci těchto paliv a problematikou udržitelnosti zmíněných biopaliv. Sběr dat a výzkum byl proveden prostudováním literatury na dané téma. Pro systemizaci dostupných odpadů, vhodných pro produkci II. generace biopaliv, v rámci České republiky byla použita data Českého statistického úřadu. Výsledky ukázaly, že po technické a ekologické stránce jsou v mnoha případech biopaliva II. generace výhodnější než paliva fosilní a některá biopaliva I. generace, ale po ekonomické stránce často stále zaostávají, vzhledem k nárokům na produkci. V některých případech, ale může být jejich praktické využití komplikované. Vzhledem k menší závislosti na pěstovaných plodinách je produkce lépe udržitelná, protože přísun surovin je méně ovlivněn výkyvy zemědělské produkce oproti biopalivům I. generace. Přínosem této práce je zejména systemizace odpadů produkovaných v České republice a použitelných pro produkci biopaliv. Tyto odpady by měly, v případě přednostního použití jako vstupní suroviny, dostačovat pro zásobení několika výrobních zařízení pro produkci paliv.

Klíčová slova: biomasa, biopaliva, cirkulární ekonomika, odpad, životní prostředí

2nd generation biofuels

Summary

This work discusses the topic of 2nd generation biofuels. The first part deals with the legislation dealing with biofuels in the Czech Republic and the European Union. It continues with a theoretical introduction to the issue and discusses the types of usable waste for their production. The second part deals with production, technical parameters and comparison of these biofuels with fossil fuels. This part of the work also deals with the volumes of waste produced in the Czech Republic, which are suitable for the production of these fuels and the issue of sustainability of these biofuels. Data collection and research was carried out by studying the literature on the topic. For the systematization of available waste, suitable for production of 2nd generation of biofuels, in the Czech Republic were used data from the Czech Statistical Office. The results showed that in many cases, 2nd generation biofuels are technically and ecologically somewhat superior to fossil fuels and some first-generation biofuels, but they often still lag behind economically, due to production demands. In some cases, however, their practical use can be complicated. Due to less dependence on cultivated crops, production is more sustainable, because the supply of raw materials is less affected by fluctuations in agricultural production compared to first-generation biofuels. The contribution of this work is mainly the systematization of waste produced in the Czech Republic which are usable for production of the biofuels. These wastes should, in the case of preferential use as feedstock, could be sufficient to supply several biofuel production facilities.

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

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl práce	10
3	Právní rámec EU	11
3.1	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES ze dne 8. května 2003 o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě.....	11
3.2	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů	12
3.3	Směrnice RED II	12
3.3.1	Využívání půdy a jeho nepřímé změny v souvislosti s produkcí biopaliv.....	13
3.3.2	Přístup směrnice RED II k řešení nepřímých změn ve využívání půdy... ..	13
3.4	Zákon o ochraně ovzduší z hlediska biopaliv	13
3.4.1	§ 16 Povinnosti osob.....	14
3.4.2	§ 19 Povinnost zajistit minimální množství biopaliv za kalendářní rok....	14
3.4.3	§ 20 Povinnost snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot .	14
3.4.4	§ 21 Kritéria udržitelnosti biopaliv	15
4	Vymezení pojmů.....	16
4.1	Ropa.....	16
4.2	Paliva.....	16
4.3	Biopaliva I. generace.....	16
4.4	Biopaliva II. generace	17
4.5	Odpady využitelné pro produkci biopaliv	17
4.5.1	Pevné odpady.....	17
4.5.2	Zemědělské zbytky	17
4.5.3	Zbytky z papírnického a celulózového zpracujícího průmyslu	17
4.5.4	Lesní odpady.....	18
4.5.5	Odpadní kuchyňské oleje.....	18
4.5.6	Odpadní kuchyňské oleje v ČR	18
4.5.7	Biologicky rozložitelné odpady	18
4.6	Bioplyn	19
4.7	Lignocelulóza.....	19
4.7.1	Fermentace v pevném stavu (SSF)	19
4.7.2	Chemické složení.....	20
4.8	Methanol	20
4.9	Ethanol.....	20
4.10	Butanol (Butylalkohol)	21
4.11	Tuky a oleje.....	21

4.11.1	Hydrogenace rostlinných olejů	21
4.12	Fischer-Tropschova syntéza	22
4.13	Bio-olej	22
4.14	Cirkulární ekonomika	23
5	Biopaliva	24
5.1	Biobutanol.....	24
5.1.1	Produkce biobutanolu	24
5.1.2	Butanol ve spalovacích motorech	25
5.2	Bio-ethanol.....	26
5.2.1	Výroba bio-ethanolu	27
5.2.2	Výroba lignocelulosového bio-ethanolu	27
5.2.2.1	Kyselá hydrolyza.....	28
5.2.2.2	Enzymatická cesta.....	28
5.2.3	Porovnání bioethanolu s klasickými palivy	28
5.2.4	Bioethanol v zážehových motorech	29
5.2.4.1	Směsi s nízkým obsahem bioethanolu	29
5.2.4.2	Směsi s vysokým obsahem bioethanolu.....	29
5.2.4.3	Palivo E85	29
5.2.4.4	Srovnání paliva E85 s naturalem 95.....	30
5.2.5	Ethanol ve vznětových motorech.....	31
5.3	Bio-olej	32
5.3.1	Výroba bio-olejů	32
5.3.1.1	Konvenční pyrolýza	33
5.3.1.2	Rychlá pyrolýza	33
5.3.2	Suroviny pro výrobu bio-olejů.....	33
5.3.3	Vylepšování bio-olejů.....	34
5.4	Paliva na bázi Fischer-Tropschovy syntézy	34
5.5	Motorová nafta z FT syntézy	35
5.5.1	Suroviny	36
5.5.2	Produkce FT dieselu	36
5.6	Hydrogenované rostlinné oleje.....	37
5.6.1	Vlastnosti	37
5.6.2	Optimalizace motoru pro HVO.....	38
5.6.3	Vliv HVO na emise.....	38
5.6.3.1	Průběh testu.....	39
5.6.3.2	Výsledky	39
5.6.4	Suroviny	39
5.6.5	Mechanismus hydrogenace.....	40

6	Systemizace odpadní biomasy v rámci České republiky	41
6.1	Metodika shromažďování dat	41
6.2	Produkce odpadů v ČR	41
6.2.1	Podnikové odpady	42
6.2.2	Komunální odpad	43
6.3	Zpracování komunálního odpadu	44
6.4	Zpracování celkového objemu odpadů v roce 2018	44
6.5	Využitelné odpady pro produkci biopaliv	45
6.5.1	Využitelné odpady podle ČSÚ	45
6.5.2	Vyprodukované podnikové odpady za rok 2018 pro potencionální produkci bionafty	45
6.5.3	Vyprodukované odpady za rok 2018 pro potencionální produkci bioethanolu	45
6.5.4	Neurčité využitelné odpady za rok 2018	46
6.5.5	Komunální odpad s potencionálním použitím pro produkci biopaliva	46
7	Udržitelnost produkce biopaliv druhé generace	47
7.1	Ekonomické požadavky a důsledky	47
7.2	Potencionální dopady na životní prostředí a bilance skleníkových plynů	47
7.3	Další rizika biopaliv druhé generace	48
7.4	Udržitelnost podle Zah et al. (2010)	48
7.5	Biopaliva II. generace podle Sims et al. (2010)	48
8	Závěr	49
9	Literatura	51
9.1	Seznam obrázků	54
9.2	Seznam tabulek	55

1 Úvod

Doprava, nezbytná součást lidské společnosti, bez které by nebylo možné její fungování. Spolu s růstem lidské populace, důležitost dopravy roste také a s ní i její negativní vlivy. S rostoucím počtem vozidel roste i počet negativních zásahů do životního prostředí a zvyšující se závislost na ropě. Vzhledem k tenčícím se zásobám této strategické suroviny, byl zahájen výzkum její možné náhrady. Výzkum přinesl I. generaci biopaliv. Tato paliva po počátečních neduzích se po technické stránce ukázala, že jsou schopna docela solidně substituovat fosilní paliva, jsou obnovitelným zdrojem a při spalování produkují méně emisí. V současnosti jsou na trhu docela dobře ustanovena, a jsou rovněž přimíchávána v nízkých objemech do konvenčních biopaliv podle směrnic Evropské unie a jejich objemy mají do budoucna růst.

V poslední době se však začalo prokazovat, že biopaliva I. generace nejsou tak „zelená“ jak se původně myslelo. Tato biopaliva jsou ve většině případů produkována z potravinářských plodin. V těchto případech dochází ke konkurenci s potřebami trhu s potravinami, zároveň se ukázalo, že energie, kterou je možné získat z výsledného biopaliva, je často nižší než energie, která je nutná k produkci daného paliva a často vyžaduje vstup fosilních paliv, které mají nahradit. Dalším problémem konvenčních biopaliv je nutnost rozšíření zemědělské půdy a s tím spojené nepřímé změny ve využívání půdy, kdy může docházet při konverzi nové zemědělské půdy k navýšení emisí skleníkových plynů, které může být způsobeno přesunem části zemědělské půdy, na půdu s vyšším obsahem uhlíku. Tyto změny jsou v EU adresovány směrnicí RED II.

Odpovědí na neduhy biopaliv I. generace by mohly být biopaliva II. generace. Produkce těchto paliv je sice technologicky náročnější, ale není technologicky neproveditelná. Tato biopaliva však nejsou založená na vstupu energeticky náročných potravinářských plodin, ale pro jejich produkci je možné využít nepotravinářské plodiny a některé biologicky rozložitelné odpady. Díky těmto vstupním surovinám by produkce biopaliv II. generace měla být snáze udržitelná a v případě odpadů fungující v rámci cirkulární ekonomiky.

2 Cíl práce

Cílem této práce bude stanovit možnosti využívání odpadních materiálů pro výrobu biopaliv pro použití ve spalovacích motorech. Rovněž bude provedeno zhodnocení zdrojů pro produkci biopaliv II. generace z hlediska udržitelnosti a cirkulární ekonomiky a bude provedena systemizace využitelnosti zdrojů. Dalším cílem je rovněž srovnání těchto biopaliv s konvenčními palivy.

3 Právní rámec EU

Tato kapitola věnuje pozornost některým směrnici Evropské unie důležitých z hlediska biopaliv a pohledu zákona na ochranu ovzduší České republiky na totéž téma.

3.1 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES ze dne 8. května 2003 o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě.

Přibližně jedna třetina celkové energie spotřebované v Evropské unii (dále jen EU), je spotřebována odvětvím dopravy, které je v současnosti z velké části závislé na fosilních palivech. Skleníkové emise a celkový dopad na klima tohoto odvětví rostou. Již na počátku 21. století vydala EU směrnici 2003/30/ES, která měla za úkol tyto problémy řešit a vyžadovala po členských státech, aby si stanovily orientační národní cíle pro biopaliva a jiné obnovitelné pohonné hmoty pro odvětví dopravy. Tomuto do jisté míry pomáhal fakt, že motory většiny vozidel v zemích EU byly schopné fungovat s nízkoprocentní příměsí biopaliv. Biopaliva byla rovněž jedním z mála dostupných obnovitelných zdrojů, které umožňovaly zahájení dekarbonizace odvětví dopravy, pro které byl v letech 1990 až 2010 očekáván 50% nárůst emisí CO₂ (Evropská komise 2019).

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES rovněž umožňuje využívání biomasy vhodné k výrobě biopaliv ze zemědělských a lesnických produktů, včetně zbytků a odpadů v lesnictví a z lesnického a potravinářského průmyslu. Dále doporučuje propagaci používání a výzkumu biopaliv a doporučuje státům společenství začlenit technologie na bázi vodíku. Směrnice rovněž určuje, co bude považováno za biopalivo.

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

3.2 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů

Předcházející směrnice EU zabývající se obnovitelnými zdroji energie z roku 2009 (dále pouze „směrnice RED“) podporovala dekarbonizace v odvětví dopravy stanovením 10% závazného cíle, využívání energie z obnovitelných zdrojů do roku 2020 v dopravě. Dle dodaných údajů a odhadů dosáhlo využití energie z obnovitelných zdrojů v dopravě v roce 2017 zhruba 7 % celkové spotřeby energie v daném odvětví. Většina energie z obnovitelných zdrojů pocházela v dopravě z biopaliv I. generace a v omezené míře se uplatnila elektřina z obnovitelných zdrojů, bioplyn a jiné alternativní suroviny. Směrnice RED zároveň stanovovala různá kritéria, například udržitelnost a omezení skleníkových plynů, která jsou závazná pro biopaliva a biokapaliny. Tato kritéria musí dané bioprodukty splňovat, jinak by nebylo možné je zahrnout do národních a unijních cílů v oblasti obnovitelných zdrojů a do režimu veřejné podpory. Obsahem těchto nařízení je také vymezení půd, kde nemohou být pěstovány zdroje pro produkci biopaliv a biokapalin, tyto oblasti zahrnují zejména ty půdy, kde je vysoká biologická rozmanitost, nebo vysoký obsah uhlíku, rovněž stanoví požadavky na minimální úsporu emisí skleníkových plynů, které mají být dosaženy pomocí biopaliv a biokapalin. Tato opatření směrnice RED byla sice schopná omezit přímé dopady využívání půdy při výrobě konvenčních biopaliv a biokapalin, avšak nebyla sestavena pro řešení dopadů nepřímých (Evropská komise 2019). Co je u této směrnice nutné zmínit, že po jejím vstupu v platnost zrušila směrnici 2001/77/ES ze dne 27. září 2001 o podpoře elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektřinou a již dříve zmíněnou 2003/30/ES ze dne 8. května 2003 o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě (Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES).

3.3 Směrnice RED II

Dne 24.12.2018 vstoupila v platnost nová směrnice EU o energii z obnovitelných zdrojů (dále pouze „směrnice RED II“). Tato směrnice udává a má podpořit cíl pro energii z obnovitelných zdrojů v celé EU pro následující desetiletí. Cíl je stanoven na nejméně 32 % do roku 2030 a mají jej členské státy dosáhnout společně. Směrnice rovněž obsahuje celou řadu dalších opatření, které mají podpořit energii pocházející z obnovitelných zdrojů a její využívání v odvětví elektřiny, vytápění, chlazení a dopravy se všeobecným cílem snížení emisí skleníkových plynů, zlepšení energetické bezpečnosti, tvorbě pracovních míst a růstu, a také posílení postavení Evropy v oblasti technologií v rámci energie z obnovitelných zdrojů. Účelem směrnice je rovněž posílení unijního rámce udržitelnosti bioenergie, zajištění spolehlivé úspory skleníkových plynů a omezení nepřímých dopadů na životní prostředí. Dále zavádí přístup k řešení emisí způsobených nepřímou změnou ve využívání půdy související s výrobou biopaliv, biokapalin a paliv z biomasy. Za tímto účelem bude směrnici stanoveno 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, vnitrostátní limity, které do roku 2030 klesnou na nulu. Tyto limity budou ovlivňovat množství uvedených paliv možných zohlednit do celkového národního podílu obnovitelných zdrojů a podílu obnovitelných zdrojů v dopravě. Ve směrnici je však 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).

3.3.1 Využívání půdy a jeho nepřímé změny v souvislosti s produkcí biopaliv.

Jako nepřímé dopady se hodnotí případy, kdy se půda, která byla dříve určena pro produkci potravin a krmiv, začne využívat pro produkci biopaliv, protože poptávka po krmivech a potravinách musí být stále uspokojována, je nutné zintenzivnění současné produkce, nebo konverze půdy na jiném místě (nepřímá změna ve využívání půdy). Tato změna může v některých případech vést k výraznému navýšení emisí skleníkových plynů, a to hlavně v případech, kdy konvertovaná půda obsahuje vyšší zásoby uhlíku (lesy, rašeliniště etc.).

V současnosti se očekává, že kolem roku 2020 bude naprostá většina produkce biopaliv pocházet z půdy, původně určené pro uspokojení poptávky trhu po potravinách a krmivech.

Nepřímá změna ve využívání půdy není měřitelná a rovněž ji nelze sledovat, proto jsou tvořeny modely, které sice mají různé nedostatky, ale jsou dostatečně spolehlivé a umožňují relativně přesný odhad. Na tyto skutečnosti 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 benzínu a motorové nafty a směrnice 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů (Evropská komise 2019).

3.3.2 Přístup směrnice RED II k řešení nepřímých změn ve využívání půdy.

Ke snížení dopadů nepřímých změn přistupuje cíleněji v oblasti konvenčních paliv, biokapalin, paliv z biomasy (souhrnný název zavedený směrnicí RED II pro plynná a pevná paliva z biomasy). Vzhledem k nedostatečné přesnosti měření emisí nepřímých změn ve využívání půdy, není možné je zahrnout do metodiky výpočtů emisí skleníkových plynů v EU. Díky tomu pokračuje v přístupu omezování množství konvenčních biopaliv, paliv z biomasy a biokapalin v dopravě. Jejich limit je zahrnut do vnitrostátních stropů, odpovídajícím úrovním pro členské státy pro rok 2020. Tyto vnitrostátní limity pro konečnou spotřebu energie v silniční a železniční dopravě jsou do jisté míry flexibilní. Mohou být navýšeny o 1 %, ale maximální navýšení konečné spotřeby energie je určeno 7 % pro rok 2020. Rovněž je pro členské státy možné, stanovit si nižší limit pro biopaliva, paliva z biomasy a biokapaliny, v případě, že u nich hrozí nepřímé změny ve využívání půdy. Dále je 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. V případě, že se členské státy rozhodly s biopalivy nepočítat, je možné tento podíl snížit až o 7 % (Evropská komise 2019).

3.4 Zákon o ochraně ovzduší z hlediska biopaliv

V České republice (dále jen ČR) se biopalivy zabývá zákon o ochraně ovzduší. Obsahuje zejména pokyny a povinnosti pro osoby uvádějící motorové benziny nebo motorovou naftu do volného daňového oběhu na daňovém území ČR pro dopravní účely nebo osoba, která dodává na daňové území ČR pro dopravní účely motorové benziny nebo motorovou naftu uvedené do

volného daňového oběhu v jiném členském státě Evropské unie (dále jen dodavatel pohonných hmot) (Zákon č.201/2012 Sb.).

3.4.1 § 16 Povinnosti osob

Zákon o ochraně ovzduší nařizuje dodavatelům pohonných hmot v ČR a Evropské unii (dále jen EU) uvádět pouze paliva splňující požadavky na kvalitu paliv, která byla stanovena provádějícím právním předpisem. Splnění požadavků na kvalitu paliv je prokazováno dokladem, který je stanovený prováděcím právním předpisem, musí dodavatel pohonných hmot předat odběrateli vždy s první dodávkou paliva, nebo při následné změně jeho kvality. Tento doklad musí být dodavatelem pohonných hmot, jejich odběratelem a každým, kdo v daném dodavatelském řetězci podniká, předložen v případě požadavku ze strany kontrolního úřadu. Osoby uvádějící na trh paliva stanovená prováděcím právním předpisem mají povinnost ohlásit údaje stanovené prováděcím právním předpisem ministerstvu do 31. března následujícího roku (Zákon č.201/2012 Sb.).

3.4.2 § 19 Povinnost zajisti minimální množství biopaliv za kalendářní rok

Dodavatelem pohonných hmot musí být zajištěno, aby v pohonných hmotách bylo obsaženo minimální množství biopaliva podle předpisu upravující pohonné hmoty. Pro tyto účely jsou zohledněna pouze biopaliva, která

- a) byla na daňovém území České republiky v režimu podmíněného osvobození od daně vyrobena nebo na daňové území České republiky v režimu podmíněného osvobození od daně dopravena,
- b) splňují kritéria udržitelnosti stanovená prováděcím právním předpisem,
- c) byla na daňovém území České republiky spotřebována,
- d) nebyla opakovaně uvedena do volného daňového oběhu a
- e) nebyla dosud zohledněna pro účely splnění povinnosti uvedené v odstavci 1 ani ke splnění obdobné povinnosti na území jiného členského státu Evropské unie.

Minimální podíly přidaných biopaliv činí.

- A) 4,1 obj.% biopaliva v celkovém množství motorových benzinů.
- B) 6,0 obj. % v celkovém množství motorové nafty.

V případě, že v kalendářním roce dodavatel pohonných hmot překročí dané minimální množství biopaliv, má možnost si převést toto překročení převést do následujícího roku. Toto převedení však může dosahovat 0,2 % z celkového množství přidaného biopaliva. Pokud dodavatel pohonných hmot hodlá tuto možnost uplatnit, musí to písemně sdělit celnímu úřadu. Dodavatel pohonných hmot rovněž má povinnost vést evidenci o množství benzínu a motorové nafty, které jím bylo vyrobené, jím přijaté, nebo uvedené do oběhu. Tuto evidenci musí povinně uzavřít 31. prosince příslušného kalendářního roku (Zákon č.201/2012 Sb.).

3.4.3 § 20 Povinnost snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot

Paragraf 20 zákona o ochraně ovzduší nařizuje dodavatelům pohonných hmot postupně snižovat emise skleníkových plynů na jednotku energie, která je obsažena v pohonné hmotě v úplném životním cyklu tak, aby dosáhla na základní hodnotu fosilních paliv. Tato hodnota

má být postupně snižována, nejdříve o 2 % do 31. prosince 2014, dále o 3,5 % do 31. prosince 2017 a o 6 % do 31. prosince 2020. Toto snížení emisí při práci s fosilními palivy má dodavatel pohonných hmot splnit například uvedením čistého biopaliva nebo směsného paliva podle jiného právního předpisu upravující pohonné hmoty do daňového oběhu na daňovém území České republiky pro použití v dopravě (Zákon č.201/2012 Sb.).

3.4.4 § 21 Kritéria udržitelnosti biopaliv

Biopalivo, které je určené k plnění povinností zajištění minimálního množství biopaliv za kalendářní rok a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot musí splňovat řadu kritérií stanovenou prováděcím právním předpisem. Splnění těchto kritérií má být doloženo prohlášením, které vydáno výrobcem nebo prodejcem daného biopaliva. Toto prohlášení má výrobce, dovozce či prodejce biopaliva, nebo paliva s příměsí může vydat pouze tehdy, je-li držitelem platného certifikátu, nebo jiného právního dokumentu, který byl vydán v souladu s právními předpisy členského státu EU, uděleného autorizovanou osobou a zároveň je schopen doložit v souladu s požadavky zákona o ochraně ovzduší a prováděcího předpisu, že při procesu výroby biopaliva, došlo k využití surovin, která splňovala kritéria udržitelnosti stanovená prováděcím právním předpisem. Splnění těchto kritérií rovněž může být nahrazeno dokladem, který byl vydán v souladu s rozhodnutím Evropské komise vydaným na základě čl.18 odstavce 4 směrnice 2009/28/ES nebo na základě čl. 7c odst. 4 směrnice 2009/30/ES (Zákon č.201/2012 Sb.).

4 Vymezení pojmů

V této části bude věnována pozornost vymezení pojmů, které jsou důležité pro tuto práci.

4.1 Ropa

Surová ropa je tmavá, lepkavá tekutina, obsahující komplexní směsi uhlovodíků s různou molekulovou hmotností a další organické látky. Jedná se o neobnovitelnou surovinu, zejména díky velmi dlouhé době vzniku. Běžně se nachází pod zemským povrchem. Surová ropa obsahuje uhlík a vodík spolu s nekovovými prvky jako je kyslík a síra. Je vysoce hořlavá a při spalování uvolňuje energii. Ropa vznikla zejména z dochovaných zbytků prehistorického zooplanktonu a řas, které se usadily na dně moře nebo jiných vodních ploch. Tyto usazené materiály byly pohřbeny pod vrstvou sedimentů a došlo k zamezení přístupu vzduchu, růstu tepla a tlaku. Za těchto podmínek začala ropa vznikat (Kumar et al. 2011).

4.2 Paliva

Jako paliva jsou definovány látky, které při jejich spalování mohou poskytovat teplo a produkovat energii. Tato energie je následně uvolňována ve formě chemické nebo tepelné, v jiných případech vlivem štěpení nebo fúze jaderné. Uvolněná tepelná energie, která je uvolňována palivem může být použita pro různé účely, například při vaření nebo průmyslové výrobě. V jiných případech dochází k přeměně tepelné energie na mechanickou, například při spalování benzínu v motorech. Výraz palivo je také často používán pro pohonné hmoty. Tento výraz, zahrnuje zejména paliva, která se používají k pohonu motorů. Ve většině případů se jedná o směsi uhlovodíků v kapalném nebo plynném skupenství. (Toppr 2019)

4.3 Biopaliva I. generace

Biopaliva I. generace jsou produkována hlavně ze zemědělských plodin pěstovaných zejména jako potraviny, nebo krmiva pro zvířata. Jejich význam v několik letech narůstal, například bioethanol (produkovaný z řepky olejné, nebo cukrové třtiny), biodiesel a bioplyn I. generace tvořily v roce 2007 1,5 % celkově použitých transportních paliv. Později se však začalo ukazovat, že tato biopaliva nejsou tak „zelená“, jak se tvrdilo. Ukázalo se, že pro produkci plodin pro výrobu biopaliv je nutný značný přísun hnojiv a fosilních paliv. Rovněž celková energie vložená do těchto produkčních cyklů, zejména v případě přímo pěstovaných plodin, převyšuje energii získanou ve finálním biopalivu. Dále dochází ke konkurenci s plodinami určenými pro trh s potravinami nebo krmivy, díky tomu je nutné kultivovat nové plochy a s tím je spojené odlesňování a uvolňování emisí do ovzduší (Sims et al. 2008). Pro produkci Biopaliv I. generace jsou rovněž využívány živočišné tuky a rostlinné oleje, které jsou zpracovávány na bionaftu za využití transesterifikace (Banković-Ilić et al. 2014), dále je možné použití potravinových zbytků, hnoje a celé škály dalších odpadů pro produkci bioplynu (El-Mashad & Zhang 2010).

4.4 Biopaliva II. generace

Tato biopaliva lze základně rozdělit do skupin, na základě vstupních surovin a způsobu jejich produkce, která může být na termochemickém, nebo biochemickém způsobu. Jako základní surovina je možné používat biomasu obsahující lignocelulózu získanou například ze zemědělských, lesních nebo dřevěných zbytků, nebo přímo za tímto účelem pěstované plodiny, například různé trávy nebo stromy. Je vysoce pravděpodobné, že tyto rostliny budou výnosnější v ohledu na energetický obsah biopaliva na hektar (GJ/ha/r) oproti plodinám běžně užívaným pro produkci I. generace. Rovněž za značnou výhodu lze považovat i fakt, že některé plodiny pro produkci biopaliv II. generace jsou méně náročné na podmínky a tím pádem je bude možné pěstovat i na méně kvalitních půdách, na kterých by některé plodiny používané zejména pro produkci biopaliva I. generace nebyly možné efektivně pěstovat, přesto v případě pěstování těchto alternativních plodin na těchto plochách bude výnosnost nižší (Sims et al. 2008).

4.5 Odpady využitelné pro produkci biopaliv

Na spoustu odpadů čeká buď skládkování, nebo energetické využití, to může mít rozsah od pouhého spálení za účelem získání elektrické energie a tepla po produkci biopaliv. Vzhledem k rozmanitému spektru odpadů, které sahá od odpadních olejů a tuků po zbytky z papírnického průmyslu, je z nich možné vyrábět celou řadu biopaliv.

4.5.1 Pevné odpady

Podle Demirbas A. (2011) lze odpady získané z průmyslových a komunálních zdrojů považovat za velmi atraktivní zdroje. Materiál je již často shromážděn a jeho producenti často platí za účelem se ho zbavit. Co se týče komunálního odpadu, ten zahrnuje zbytky potravin, zboží krátkodobé spotřeby a některé anorganické látky.

4.5.2 Zemědělské zbytky

Mezi hlavní zbytky ze zemědělství se řadí stébla, slupky, skořápky ořechů atd. Tyto zbytky je dále možné rozdělit na zbytky z pole, tj. materiál, který zůstane na poli, nebo sadu po sklizni (většinou stonky, stébla, listy a lusky) a zbytky z následného zpracování (slupky, semena, kořeny). Část zbytků se většinou vrátí do výroby (například jako krmivo pro zvířata, zaorání do půdy atd.) a přebytky se využijí, nebo odstraní (Demirbas A. 2011).

4.5.3 Zbytky z papírnického a celulózového zpracujícího průmyslu

Tato průmyslová odvětví vytvářejí obrovská množství odpadu, zahrnující různé biomasové zbytky, včetně kůry, listů, zbytků větví a různých kalů. Nekontaminovanou biomasu není velký problém použít v některých procesech pro výrobu biopaliv a kal z celulózového průmyslu je vhodnou surovinou pro produkci bioplynu, v případě jeho zužitkování odpadá nutnost skládkování a klesá s tím spojené riziko kontaminace vody a půdy (Demirbas A. 2011).

4.5.4 Lesní odpady

Ve většině případů dochází k zužitkování zbytků z těžby (větvě, špičky) a nevhodných stromů, které musely být odstraněny z důvodu nemoci, napadení hmyzem, nebo prořezu (Demirbas A. 2011).

4.5.5 Odpadní kuchyňské oleje

Každý den je potravinářským průmyslem, restauracemi, rychlými občerstveními generováno velké množství odpadního oleje. Jen ve spojených státech se jej vyprodukuje asi 100 milionů galonů (asi 378 500 000 l) každý den. Protože likvidace těchto odpadních olejů představuje značné riziko pro životní prostředí, je jejich přeměna na biopaliva a jiné produkty (např. mýdla) velmi atraktivní možností. Určitou výhodou rovněž představuje také fakt, že odpadní olej, na rozdíl od pěstovaných rostlinných olejů, nekonkuruje potravinám a jeho cena je výrazně nižší. Přesto, že tyto odpadní oleje jsou k nalezení po celém světě, jejich výchozí zdroje lipidů jsou značně odlišné, v závislosti na plodinách pěstovaných v dané části světa (např. kokosový, palmový, řepkový...). Rovněž dochází k použití lipidů získaných ze zvířat, jejichž rozmanitost je také značná, například Írán nedávno vyprodukoval bionaftu získanou z rybího oleje. Tyto oleje je možné transesterifikací přeměnit na bionaftu (Sanjid et al. 2013).

4.5.6 Odpadní kuchyňské oleje v ČR

Tento druh odpadu, určuje zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů (dále jen zákon o odpadech) jako biologicky rozložitelný, ostatní syntetické a minerální oleje jsou kvalifikovány ve vlastní kategorii jako odpadní oleje. Jak předchozí kapitola naznačuje, upotřebené jedlé oleje a tuky jsou velmi kvalitní surovinou, která může být upotřebena při výrobě biopaliv a v dalších průmyslových odvětvích, přesto jich velká část končí v kanalizaci a čistírnách odpadních vod, kde působí nemalé problémy (např. ucpávání potrubí). Proto 1.1.2020 byla zákonem o odpadech a Vyhláškou č. 321/2014 Sb., o rozsahu a způsobu zajištění odděleného soustředování složek komunálních odpadů přikázána povinnost celoročně zajistit místa pro oddělené soustředování jedlých olejů a tuků. Ty dle vyhlášky není možné soustřeďovat s jinými biologicky rozložitelnými odpady a obec je nesmí kompostovat. Rovněž by tato místa měla být občanům zpřístupněna alespoň jednou za týden (Třídění upotřebených jedlých olejů a tuků v obcích 2019).

4.5.7 Biologicky rozložitelné odpady

Tento druh odpadů je kvantitativně velmi významnou skupinou a odpady, které jsou do této skupiny odpadů zahrnuty určuje Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s Ministerstvem zdravotnictví a zemědělství. Biologicky rozložitelným odpadem se podle § 33a rozumí ten odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu, ze zahrad a veřejné zeleně, potravinářský a kuchyňský odpad z domácností, restaurací, stravovacích nebo maloobchodních zařízení a srovnatelný odpad ze zařízení potravinářského průmyslu, (Zákon č. 185/2001 Sb.). Část, která obsahuje rostlinné živiny a organické látky může být přetvořena v kompost a využita jako hnojivo. Tyto biologicky rozložitelné odpady je rovněž také možné anaerobně zpracovat

a využít pro produkci bioplynu, který lze dále zpracovat na elektrickou energii, teplo a motorová paliva. Tyto odpady je nutné odděleně sbírat pro další využití a omezit jejich ukládání na skládky, kde mohou být zdrojem methanu, který je skleníkovým plynem, který může uniknout do ovzduší a rovněž může tento odpad kontaminovat pozemní vody (Biologicky rozložitelné odpady 2019). V případě zpracování těchto odpadů, může podle § 33b zákona o odpadech, provozovatel zařízení ke sběru, výkupu nebo využívání biologicky rozložitelných odpadů, ročně provést zakládku maximálně 10 tun těchto odpadů, a celkově může v tomto zařízení ročně zpracovat max. 150 tun těchto odpadů. Rovněž ty biologické rozložitelné odpady, které není možné zařadit do žádné stanovené skupiny podle prováděcího právního předpisu, a zbytkový odpad ze zařízení pro zpracování, má povinnost předat k využití nebo odstranění oprávněné osobě (Zákon č. 185/2001 Sb.).

4.6 Bioplyn

Termín bioplyn je obvykle používán pro plynné produkty anaerobní metanové fermentace organických látek (někdy též anaerobní digesce, biometanizace nebo biogasifikace). Obecně se za bioplyn považuje plynná směs metanu a oxidu uhličitého, která také v menší míře obsahuje další minoritní složky organického či anorganického charakteru. Pro výrobu bioplynu jsou možnosti využitelných surovin široké. Zcela běžně se používá zbytková biomasa, která z velké části pochází ze zemědělství a jde především o odpady z živočišné výroby a zbytky rostlin. Dále se běžně užívá odpadů z údržby zeleně, čistírenské kaly, cíleně pěstovaná biomasa nepotravinářského původu, komunální odpady, odpady z lesnictví a komunální sféry (Šebor et al. 2006).

4.7 Lignocelulóza

Lignocelulóza je stavebním prvkem ve všech rostlinách a tím pádem je všudypřítomná pro většinu oblastí naší planety a její chemické vlastnosti ji činí substrátem s neobyčejně vysokým potenciálem, jehož odemčení pro komerční využití je komplikováno fyzikálními a chemickými bariérami. Pro překonání těchto bariér je nutné porozumět degradaci lignocelulózy za přírodních podmínek. V přírodních podmínkách se na tomto procesu podílí celá řada mikroorganismů a mechanismů. Pro přístup k potenciálu celulózy a hemicelulózy v lignocelulóзовé matici je v současnosti používána fermentace v pevném stavu (SSF). Rovněž nové aplikace nacházejí využití v mnoha dalších odvětvích, například textilu, biologické kontroly a lékařského výzkumu a další využití se pravděpodobně objeví v blízké budoucnosti (Malherbe et al. 2002).

4.7.1 Fermentace v pevném stavu (SSF)

Fermentace v pevném stavu (SSF) je definována jako proces, který zahrnuje tuhou matici a je prováděn v úplné, nebo částečné nepřítomnosti volné vody. Substrát musí obsahovat vhodnou hladinu vlhkosti, jinak nebude možný požadovaný růst a vývoj mikroorganismů, který může být dále podporován napuštěním živin do substrátu, nebo alternativně může být potravou substrát samotný (Pandey 2003).

4.7.2 Chemické složení

Chemické složení rostlin je značně rozdílné a je závislé na přírodním prostředí a vlivu genetiky (viz. Tabulka 4.1). Hlavními složkami lignocelulóзовých materiálů jsou celulóza, hemicelulóza a lignin. Kromě těchto primárních polymerů, jsou v rostlinách obsaženy další strukturální polymery (např. vosky a proteiny). Celulóza je lineární polymer glukózy spojený prostřednictvím α -1,4-vazeb a je většinou uspořádán v mikrokrystalických strukturách, které jsou za přírodních podmínek velmi obtížně rozpustitelné či hydrolizovatelné. Stupně polymerace dosahují u řetězců celulózy v rozmezí 500 až 25000. Hemicelulóza je heteropolysacharid složený z různých hexóz, pentóz a kyseliny glukoronové. Oproti celulóze je více rozpustná a její polymerační stupně jsou většinou v rozsahu 100 až 200. Lignin je nerozpustný a značně nepravidelný polymer složený z fenylypropanoidových podjednotek (např. p-hydroxyfenyl (typ H), guaiacyl (typ G)). V čem je nejvíce rozdílný oproti celulóze a hemicelulóze je absence řetězců s opakujícími podjednotkami a s tím spojená extrémní obtížnost enzymatické hydrolýzy. (Malherbe et al. 2002).

Tabulka 4.1 Typická kompozice různých lignocelulóзовých materiálů

Zdroj dat: Malherbe S., Cloete T. 2002. Lignocellulose biodegradation: Fundamentals and applications. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 1:105-114.

Materiál	Lignin(%)	Celulóza(%)	Hemicelulóza(%)
Tvrdá dřeva	18-25	45-55	24-40
Měkká dřeva	25-35	45-50	25-35
Trávy	10-30	25-40	25-50

4.8 Methanol

Čirý, bezbarvý a s vodou snadno mísitelný produkt kvašení s odpudivým či alkoholickým zápachem. Jedná se o velmi důležitou komerční chemikálii, používanou jako rozpouštědlo, přísadu do paliva či palivo samotné, nemrznoucí směs a součást značného počtu jiných chemikálií. Je značně toxický, při delší expozici či napití může dojít ke smrti, narušení řeči a pohybu a trvalému oslepnutí. Při dlouhodobé expozici se rovněž mohou objevovat kostní malformace další komplikace s tím spojené. Rovněž existuje podezření na karcinogenitu, to ale nebylo prokázáno (National Center for Biotechnology Information 2020).

4.9 Ethanol

Čirá bezbarvá kapalina pálivé chuti a alkoholového oděru, která se snadno mísí s vodou. Zcela běžně se nachází v emisích z rostlin, sopek, živočišných odpadů a rovněž jako produkt přirozeného kvašení cukrů. Je to důležitá obchodní chemikálie s použitím zahrnující alkoholické nápoje, rozpouštědla, přísady do paliv a jako palivo samotné. Rovněž našel své využití jako přísada do dalších chemikálií a řady léčiv. (National Center for Biotechnology Information 2020)

4.10 Butanol (Butylalkohol)

Ve vodě rozpustný a bezbarvý produkt kvašení, standardně využívaný jako rozpouštědlo v povrchových nátěrech a jako přídatek do vosků, laků, pryskyřic a gum. Také našel své využití při výrobě dalších butylových sloučenin. Oproti ethanolu představuje pro lidi s ním pracující větší riziko, způsobující podráždění kůže, očí a horních cest dýchacích a rovněž existuje podezření na karcinogenitu, které se zatím nepodařilo prokázat (National Center for Biotechnology Information 2020). Rovněž je možné jej užívat jako palivo a některými svými vlastnostmi je vhodnější než ethanol (García et al. 2011).

4.11 Tuky a oleje

Hlavním komponentem rostlinných olejů a živočišných tuků jsou triacylglyceroly. Po chemické stránce jsou triacylglyceroly estery mastných kyselin s glycerolem. Triacylglyceroly rostlinných olejů a živočišných tuků obvykle obsahují několik mastných kyselin a k jednomu glycerolovému hlavnímu řetězci je tedy možné připojit různé mastné kyseliny. Vzhledem k rozdílným chemickým a fyzikálním vlastnostem mastných kyselin, jsou tyto kyseliny navázané na glycerol, pravděpodobně nejdůležitějším faktorem na vlastnostech daných rostlinných olejů a živočišných tuků (Knothe et al. 2005).

4.11.1 Hydrogenace rostlinných olejů

Jedná se o katalytickou reakci, v potravinářském průmyslu je běžně užívána pro ztužování tuků, kde je cílem reakce hydrogenace uhlovodíkových řetězců nasycených mastných kyselin vázaných v molekulách triacylglycerolů. Chemická podstata esterových skupin zůstává zachována, takže v tomto případě získáváme směs triacylglycerolů nasycených mastných kyselin. Tento produkt však není žádaným finálním produktem v případě výroby biopaliv, zde je žádaný výsledný produkt uhlovodíky. Při přeměně rostlinných olejů na uhlovodíky při hydrogenaci, dochází k významnějším chemickým změnám (oproti potravinářskému průmyslu), ke kterým je nutný daleko vyšší reakční teplota a tlak. Pro označení procesu hydrogenační přeměny rostlinných olejů na uhlovodíky se používají různé termíny. Nejčastěji je jako název používaný termín hydrogenace, ale je možné se také setkat s termíny jako hydrokrakování, nebo hydrodeoxygenace. V cizojazyčné literatuře je možné se setkat s podobnou variací názvů (Šimáček et al. 2017).

4.12 Fischer-Tropschova syntéza

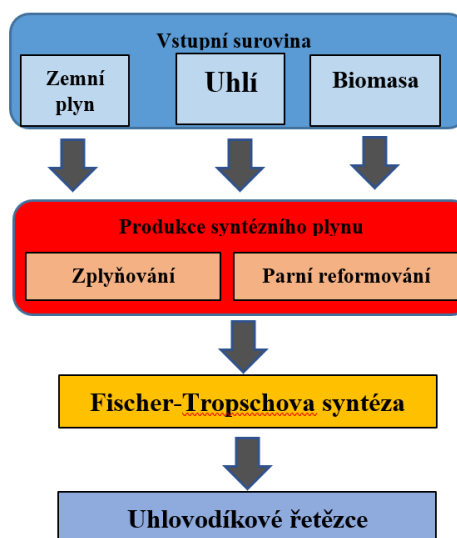
Oproti mnoha současným technologiím pro výrobu syntetických paliv, Fischer-Tropschova (dále jen FT) syntéza není nová technologie, je již používána téměř přes 100 let. Přesto, že ve třicátých letech znamenal přechod z uhlí na ropu, jistý úpadek, byla syntetická ropa vyrobená FT syntézou častá alternativa pro na uhlí bohaté státy v případě, že byli odříznuti od, nebo omezeni na přístupu ke zdrojům surové ropy. Z těchto států se hodí jmenovat Německo a Japonsko, pro které byl přístup k surové ropě za časů 2.světové války značně komplikovaný a Jihoafrickou republiku, která byla v druhé polovině 20. století zasažena sankcemi. Rovněž značná pozornost FT, byla věnována ve Spojených státech v 70-tých letech, při úderu ropné krize, když státy Středního východu značně omezily dovoz ropných produktů, ovšem vývoj zde byl upozaděn ihned po skončení krize (Loseva et al. 2019).

Tato technologie výroby motorových paliv a dalších petrochemikálií, jako například methanol, čpavek (a další), je založená na výrobě syntézního plynu (dále SP). Původně byl tento syntézní plyn produkován z uhlí (Loseva et al. 2019), ale pro výrobu SP je použitelná libovolná lignocelulózová a celulózová biomasa. Je možné použít biomasu získanou ze zemědělských plodin, ale je rovněž možné použít dřevní hmotu a trávu, tyto hmoty se řadí mezi tzv. „suchou biomasu“. Pro produkci SP lze rovněž použít i mokrou biomasu, která zahrnuje odpady ze zemědělské výroby a tuhé komunální odpady. Tyto procesy jsou na rozdíl od zplyňování uhlí teprve ve fázi vývoje a testování (Pospíšil et al. 2012).

FT syntéza je heterogenně katalyzovanou reakcí, která je celkově exotermní a teplo, které vzniká je třeba odvádět. Rovněž vzniká celá řada vedlejších uhlíkatých produktů. Pro proces jsou běžně používané katalyzátory na bázi železa a kobaltu. Základní schéma procesu je uvedené v obr 4.1 (Šebor et al. 2006)

4.13 Bio-olej

Produkt procesu vysokoteplotní pyrolýzy biomasy. Má černou barvu a ve srovnání s ropou podstatně vyšší hustotu ($1,2 \text{ g cm}^{-3}$), ale zároveň má díky vysokému obsahu kyslíku menší energetický obsah. Spalné teplo oleje se pohybuje v rozmezí $16-19 \text{ MJ kg}^{-1}$. Olej je polárního charakteru a není mísitelný s uhlovodíky, je však rozpustný ve vodě. Na rozdíl od ropných produktů prakticky neobsahuje síru (Pospíšil et al. 2012).



Obrázek 4.1 Základní schéma Fischer-Tropschovy syntézy

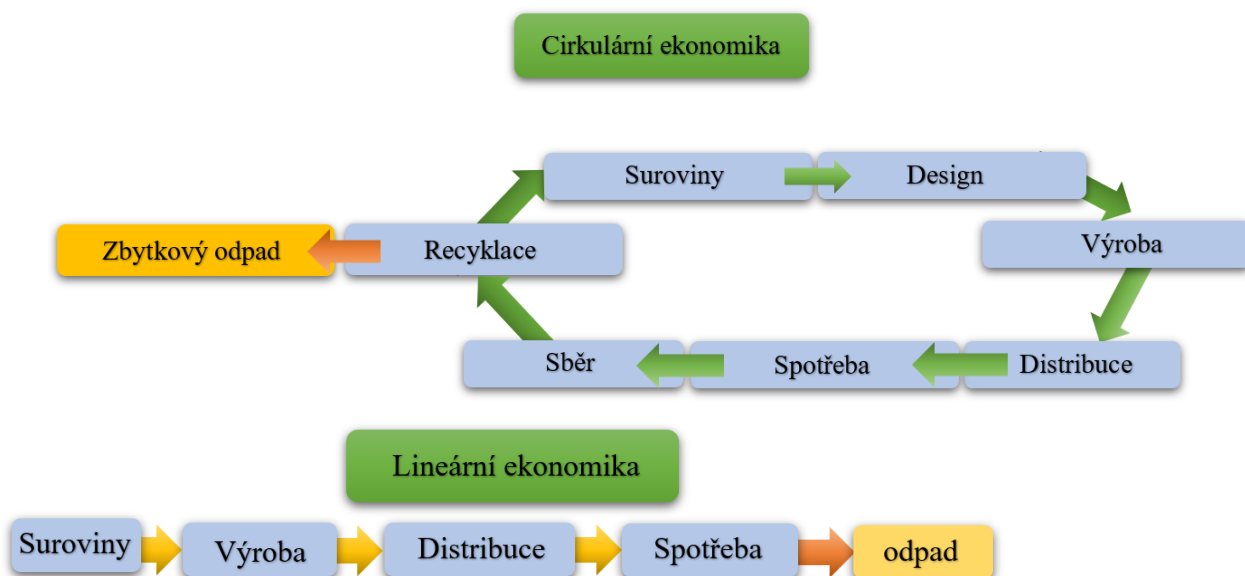
Podle: Liu M. 2010. Fischer-Tropsch Sustainability. Stanford University. Available from: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/liu1/> (accessed April 2020)

4.14 Cirkulární ekonomika

Koncept cirkulární (někdy také oběžné) ekonomiky představuje významný vývoj globální ekonomiky, jako alternativa k lineární ekonomice. Koncept lineární ekonomiky je zejména založený na využívání fosilních zdrojů, jako jsou ropa, uhlí a zemní plyn. Lineární ekonomika se víceméně sestává ze tří kroků.

1. výroba zboží ze základních surovin (tzv. „panenské zdroje“)
2. jejich použití
3. odstranění zboží jako nepoužitelný odpad

Zde se hlavní problém týká zejména fosilních zdrojů, protože jejich zásoby nejsou obnovitelné a díky tomu je koncept lineární ekonomiky neudržitelný, zejména co se týče celosvětové plnění potřeb obyvatelstva. Oproti tomu cirkulární ekonomika solidně zapadá do budoucího řízení globálních zdrojů, protože šetří „panenské zdroje“, optimalizuje jejich výnosy produkcí výrobků, které je možné znovu použít a snaží se o omezení produkce odpadů (Liguori & Faraco 2016). Cirkulární ekonomika spojuje na první pohled dva protiklady, a to ekonomický zisk s ochranou životního prostředí. Přestože zatím není dána zcela určitá definice cirkulární ekonomiky, je často definována jako cyklus, ve kterém neexistuje odpad. Tento ekonomický cyklus je na podobný přírodním ekosystémům, které jsou založené na funkčních cyklech organických živin. Z přírodních cyklů jsou převzaty jejich základní principy a následně jsou aplikovány do ekonomiky. Jedním ze základních principů je uzavírání toků materiálů do funkčních a nekonečných cyklů, tak aby nedocházelo ke ztrátám jejich hodnoty, čerpání energie z obnovitelných a udržitelných zdrojů a tvorba takových produktů a služeb, které omezí negativní dopady na přírodní ekosystémy a lidské zdroje. Základní schémata jsou zobrazena v obrázku 4.2 (Institut cirkulární ekonomiky 2020).



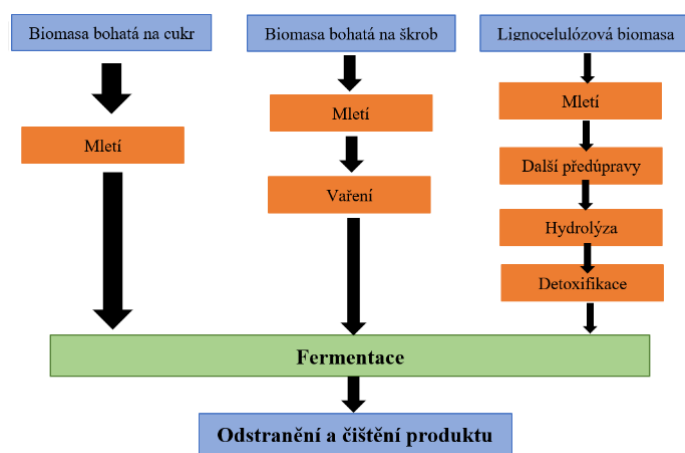
Obrázek 4.2 Porovnání principu cirkulární ekonomiky s ekonomikou lineární
Podle: Institut cirkulární ekonomiky. Cirkulární ekonomika. Available from
<https://incien.org/cirkularni-ekonomika/>. (Accessed: February 2020)

5 Biopaliva

Tato část práce se bude věnovat pozornost několika druhům biopaliv II. generace, jejich technickým parametrům a základním principům produkce.

5.1 Biobutanol

Je čtvrtý člen homologické řady alkoholů (1-butanol). Jeho fyzikálně chemické vlastnosti, při použití jako složky motorových paliv jsou příznivější, v porovnání s ethanolem a methanolem. Stejně jako v případě ethanolu, je možné tento alkohol vyrábět průmyslově fermentací biomasy, což jej činí vhodným kandidátem pro budoucí použití jako palivo v dopravě. (Pospíšil et al. 2012)



Obrázek 5.1 Schéma výroby biobutanolu z biomasy podle: García V, Pääkkilä J, Heikki O, Esa M, Keiski. RL 2011. Challenges in biobutanol production: How to improve the efficiency? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15:964-980.

5.1.1 Produkce biobutanolu

Butanol je možné vyrábět podobně jako ethanol fermentací přímo z kvasitelných jednoduchých cukrů, tzv. ABE procesem (Aceton-Butanol-Ethanol), za působení bakterie *Clostridium acetobutylicum*. Při klasickém ABE procesu je podíl butanolu ve finálním procesu velmi nízký, většinou do 15 obj. %. Ve směsi rovněž vzniká aceton a ethanol. Dosažení vyšších koncentrací je limitováno faktem, že butanol při vyšších koncentracích působí jako inhibitor pro růst a funkci přítomných mikroorganismů což způsobí zastavení procesu fermentace při dosažení určitých koncentrací. S tím je spojené omezení původní technologie ABE, kde je nutné soustavné odstraňování butanolu z výroby. Zásadní změnu v produkci biobutanolu zapříčinilo objevení nových druhů mikroorganismů vhodných pro produkci, zejména těch, které mohou fungovat při vyšších koncentracích butanolu a umožňují maximalizovat výtěžky. Jedná se zejména o organismy *Clostridium tyrobutyricum* a nově vyšlechtěný druh *Clostridium acetobutylicum*, které v návaznosti na sebe ovlivňují produkci. První z těchto mikroorganismů maximalizuje přeměnu glukosy na kyselinu máselnou a druhý ji přeměňuje na butanol. V porovnání s předchozí technologií ABE, eliminuje tato technologie tvorbu nežádoucích produktů, jako jsou kyselina mléčná, propionová, aceton, propan-2-ol, ethanol a další. Základní schémata produkce biobutanolu jsou uvedena v obrázku 5.1 (Pospíšil et al. 2012)

5.1.2 Butanol ve spalovacích motorech

Jednou z hlavních předností, v porovnání s bioethanolem, je možnost přidávání biobutanolu do motorových benzínů v koncentraci až 10 obj. % bez nutnosti úpravy motoru. V porovnání s bioethanolem může biobutanol mít až o 30 % vyšší energetický obsah. Dále palivo s biobutanolem je bezpečnější, díky nižší tenzi par a méně se odpařuje. V porovnání s ethanolem, biobutanol téměř nepohlcuje vodu (nepřechází do vodní vrstvy), tím pádem by mělo být možné transportovat směsi benzínu s biobutanolem stávajícími produktovými potrubními systémy. Biobutanol není, v porovnání s jinými alkoholy běžně přidávanými do paliv, příliš agresivní na konstrukční materiály, zejména plasty. Rovněž, jakožto látka přírodního původu, dobře biologicky odbouratelný a nepředstavuje ohrožení pro půdy a vody. Vlastnosti biobutanolu jsou uvedeny v tabulce č 5.1 (Pospíšil et al. 2012).

K vyhodnocení vlivu butanolu, na parametry benzínu byl proveden test. Při testu bylo použito několik směsí klasického benzínu s butanolem a butanol samotný (BUT 100). Byly použity celkem čtyři směsi. První obsahovala 5 obj. % butanolu (BUT 5), další obsahovaly po 30 (BUT 30), 50 (BUT 50) a 85 obj. % (BUT 85). Zároveň bylo použito palivo E85, spolu s klasickým benzínem pro referenční účely. Podle současných standardů pro měření pohonných hmot a s tím souvisejících požadavků a zkušebních metod, byly provedeny laboratorní analýzy paliv, které jsou předpokladem pro emisní analýzu. Naměřené parametry těchto směsí jsou uvedeny v tabulce č 5.2. Výsledné emise a spotřeba paliva jsou uvedené v tabulce č 5.3 a vycházejí z jízdního cyklu vozidla. Jízdní cyklus, který byl navržen na základě skutečného řízení vozidla a byl definován přednastaveným průběhem točivého momentu a otáček motoru v závislosti na čase (v případě testu 10,5 minuty). Co se týče produkce emisí, jak je vidět v tabulce č 5.3, produkce CO₂ emisí je téměř stejná mezi všemi palivy. Významnější vliv měly přísady butanolu do palivových směsí v případě emisí CO, v jejich případě dochází s větší koncentrací butanolu k jejich výraznému snižování. V případě emisí NO_x však s rostoucí koncentrací butanolu, byly vyšší, což může být spojené s vyšší teplotou spalování. U HC emisí nedošlo k výraznějším změnám. Dále se při testu ukázalo, že vzhledem k rozdílné výhřevnosti, stoupá s vyšším podílem butanolu spotřeba paliva. (Hönig et al.2014).

Tabulka 5.1 porovnání základních parametrů ethanolu, butanolu a konvenčního benzínu

Zdroj dat: Hönig V, Kotek M, Mařík J. 2014 Use of butanol as a fuel for internal combustion engines. Agronomy Research 12:333-340

Parametr	Ethanol	Butanol	Benzín
Vzorec	C ₂ H ₅ OH	C ₄ H ₈ OH	CH _{1,87}
Hustota při 15°C(kg dm ⁻³)	0,79	0,81	0,73
Kinematická viskozita při 20°C(mm ² s ⁻¹)	1,52	3,64	0,4-0,8
Bod varu(°C)	78	118	30-215
výhřevnost(MJ kg ⁻¹)	26,8	32,5	42,9
teplota vypařování(MJ kg ⁻¹)	0,92	0,43	0,36
Tlak par(kPa)	19,3	18,6	60-90
Smíšené oktanové číslo			
RON	106-130	94	95
MON	89-103	80-81	85
Obsah kyslíku(% hmotnost)	34,7	21,6	<2,7

Tabulka 5.2 Naměřené parametry směsi butanolu s benzínem

Zdroj dat: Hömig V, Kotek M, Mařík J. 2014 Use of butanol as a fuel for internal combustion engines. Agronomy Research 12:333-340

Parametr	BUT 5	BUT 30	BUT 50	BUT 85	BUT 100
Hustota při 15°C(kg m ⁻³)	736,16	781,5	786,01	802,95	818,1
začátek destilace(°C)	33	33	35	40	117
Vypařeno při 70°C(hm. %)	28	20	18	*	*
Vypařeno při 100°C(hm. %)	51	44	33	12	*
Vypařeno při 150°C(hm. %)	85	*	*	*	*
Konec destilace(°C)	185	117	117	117	117
Destilační zbytek(hm. %)	1,2	1,8	2,3	3,2	4,5
Tlak par(kPa)	48	41,5	35,5	26	18,5
Index volatility	676	554,5	482,3	**	**
Hustota při 40°C(mm ² s ⁻¹)	0,67	0,86	1,02	1,69	2,43
Bod vzplanutí(°C)	**	**	**	**	41

Tabulka 5.3 Výsledné emise testovaných paliv

Zdroj dat: Hömig V, Kotek M, Mařík J. 2014 Use of butanol as a fuel for internal combustion engines. Agronomy Research 12:333-340

Palivo	Emise	CO	CO ₂	NO _x	HC
B5	celý testovací cyklus(g)	31,81	1,911	3,28	0,185
	Průměr(g hr ⁻¹)	3,03	182	0,31	0,018
B30	celý testovací cyklus(g)	19,19	1,911	4,20	0,15
	Průměr(g hr ⁻¹)	1,81	182	0,40	0,014
B50	celý testovací cyklus(g)	14,74	1,912	11,98	0,209
	Průměr(g hr ⁻¹)	1,4	182	1,14	0,020
B85	celý testovací cyklus(g)	10,47	1,913	13,63	0,212
	Průměr(g hr ⁻¹)	1,00	182	1,30	0,020
B100	celý testovací cyklus(g)	9,56	1,825	12,60	0,186
	Průměr(g hr ⁻¹)	0,91	174	1,2	0,018
E85	celý testovací cyklus(g)	31,85	1,901	4,48	0,296
	Průměr(g hr ⁻¹)	3,03	181	0,43	0,028
Benzín	celý testovací cyklus(g)	34,83	1,924	3,48	0,208
	Průměr(g hr ⁻¹)	3,32	183	0,33	0,020

5.2 Bio-ethanol

Výroba bio-ethanolu I. generace se spoléhá hlavně na potravinářské plodiny, zejména na kukuřici a cukrovou třtinu, ovšem fermentovatelné karbohydráty se vyskytují i v odpadech a nepotravinářských plodinách (Hägerdall et al. 2006). V případě výroby bio-ethanolu II. generace se spoléhá na jiné vstupní suroviny, hlavně zbytky ze zemědělské produkce (ideálně sláma, řepné řízky, zbytky ze zpracování dřeva, organické podíly komunálního odpadu a další.), nebo rychle rostoucí energetické a nepotravinářské plodiny (např. vrba, blahovičnick, atd.). Přestože je výroba bioethanolu z lignocelulosové biomasy poměrně komplikovaná a nepříliš rozšířená, je však technologicky proveditelná a v současné době je předmětem intenzivního výzkumu. Jednou z atraktivních vlastností této technologie produkce je fakt, že výše zmíněné suroviny, z velké části různé druhy odpadů, jsou k dispozici ve velkém množství. Rovněž výsledná energetická bilance lignocelulosového bioethanolu je výhodnější. (Pospíšil et al. 2012) Ačkoliv bioetanol I. generace bude v krátkodobém horizontu na trhu s biopalivy dominovat, je pravděpodobné, že s postupným vývojem ethanolu II. generace, začne tato

technologie z počátku doplňovat produkci I. generace a v následujících 10 až 20 letech začne být dominantní. Pro zajímavost, nedávná studie provedená v kooperaci ministerstva zemědělství USA a ministerstva energetiky USA ukázala, že v USA ročně může být k dispozici přes 1,3 miliardy tun biomasy ze zemědělství a lesnictví, s potencionálem pro přeměnu na biomasu, což by bylo schopné pokrýt přes 30 % spotřeby paliva (Perlack et. al. 2005).

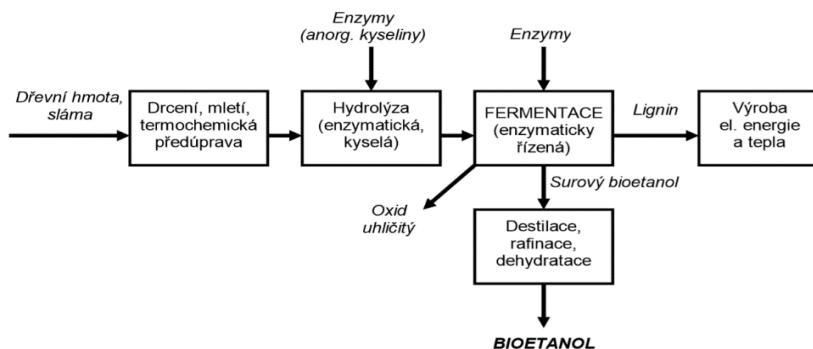
5.2.1 Výroba bio-ethanolu

Výroba ethanolu je založená na procesu fermentace (někdy též. kvašení), tj. působení enzymů mikrobiálních buněk některých druhů kvasinek. Proces je po většinu průběhu veden anaerobně, ale na počátku fermentace je vhodné pro zlepšení nárůstu buněk a jejich aktivity provzdušnit kvasné médium. Přímou lze kvasit pouze monosacharidy, více komplexní cukry musí být před započítím procesu fermentace hydrolyzací převedeny na monosacharidy za použití vlastních enzymů kvasinek, nebo přidáním dalších látek, v naprosté většině případů kyselin, které hydrolyzují složité cukry. Výroba bio-ethanolu se dále liší dle druhu biomasy (či jiného alt. materiálu).

- Bioethanol z biomasy s jednoduchými cukry (cukrová řepa, třtina),
- Bioethanol z biomasy obsahující škrob (obiloviny),
- Bioethanol z lignocelulosové biomasy (Pospíšil et al. 2012).

5.2.2 Výroba lignocelulosového bio-ethanolu

Na obr. 5.2 je uvedeno obecné blokové schéma pro výrobu bioethanolu ze dřeva nebo slámy. Při konverzi lignocelulózové biomasy (dále LCB) na bioethanol se z počátku hydrolyzuje LCB na jednoduché fermentovatelné cukry. V LCB je obsaženo 40-60 hm.% (v sušině) celulózy a 20-40 hm.% (v sušině) hemicelulózy, tyto složité polysacharidy je možné rozštěpit na jednoduché cukry. Zbytek LCB je tvořen ligninem 10-15 hm.% (v sušině) složitým aromatickým polymerem. Ten je rezistentní biologické degradaci a tím pádem jej není možné fermentovat, ale je možné jej alternativně využít k výrobě elektrické energie nebo tepla. Při výrobě bioethanolu ze dřeva a slámy jsou tyto dvě základní suroviny nejdříve rozmělněny mletím, nebo drcením na menší kousky a ty jsou následně podrobeny termochemické předúpravě, která má narušit polymerní strukturu celulosy a hemicelulosy a usnadnit přístup enzymům a přidané kyselině, a následně umožnit její konverzi na jednoduché cukry. (Pospíšil et al. 2012).



Obrázek 5.2. Blokové schéma výroby bioethanolu z lignocelulosové hmoty

Zdroj: Pospíšil M. Šebor G. Šimáček P. Mužíková Z. 2012 Nové trendy výroby biopaliv a jejich využití v dopravě. Chemické listy 106:953-960

5.2.2.1 Kyselá hydrolýza

Nejstarší klasický postup konverze na fermentovatelný materiál představuje kyselá hydrolýza, proces, při kterém je použit zředěný roztok kyseliny o koncentraci kolem 0,5 hm.% za teploty cca 200 °C. Tímto procesem dojde k rozložení hemicelulosity na jednoduché cukry, které jsou přímo fermentovatelné a rozpustné ve vodě. V případě celulosity je nutné aplikovat ostřejší podmínky, protože je o něco odolnější. Na začátku procesu dojde k hydrolýze, tím se dosáhne otevření její struktury a celulóza je zredukována na polysacharidy. Dále je ve druhém kroku fermentována při teplotě 240 °C s kyselinou o koncentraci (2 hm.%) a je převedena na glukosu. V posledním kroku dojde k rafinaci, rektifikaci a dehydrataci bioethanolu. Hlavní nevýhodu kyselé hydrolýzy je její nákladnost a výtěžky glukosy pro konverzi jsou na limitní. (Pospíšil et al. 2012)

5.2.2.2 Enzymatická cesta

Za alternativní možnost převedení celulosity na jednoduché cukry, v tomto případě glukosu, lze považovat použití enzymů, které jsou schopny rozkladu celulosity. U těchto procesů existuje několik možných variant, které kombinují fázi štěpení (konverze) a vlastní fermentace. Ty mohou být prováděny souběžně v jednom reaktoru nebo ve dvou samostatných krocích. Tyto způsoby produkce bio-ethanolu dosahují vyšších konverzí celulosity a hemicelulosity na jednoduché cukry, které je možné přímo fermentovat, v porovnání s procesy založenými na klasické kyselé hydrolýze. Jednou z hlavních výhod enzymatického způsobu je zejména to, že vznikající cukry jsou fermentovány ihned, tím se předchází jejich hromadění a je možné vyhnout se inhibici procesu s tím spojenou. (Pospíšil et al. 2012)

5.2.3 Porovnání bioethanolu s klasickými palivy

Jak je uvedeno v tabulce 5.4, podle Hromádka et al. (2011) má bioethanol v porovnání s naftou a benzínem rozdílné vlastnosti. A to výrazně nižší výhřevnost a díky tomu je měrná spotřeba ethanolu vyšší než v případě těchto konvenčních paliv. Ve srovnání s naftou má bioethanol nízké cetanové číslo a malou mazací schopnost. V porovnání s benzínem, má bioethanol, jak udává tabulka 5.4, vyšší oktanové číslo. S tím je spojené zvýšení oktanového čísla v případě smíšení benzínu s bioethanolem a zvýšení tlaku par na pohonné ústrojí. Díky tomu je nutné předimenzování pohonného ústrojí, zejména v případě vyššího obsahu bioethanolu. V porovnání s benzínem má bioethanol vyšší skupenské výparné teplo a působí výraznější ochlazení palivové směsi, která je přiváděna do motoru, to rovněž působí komplikace při spouštění motoru za nižších teplot a vyžaduje pomocné zařízení, nebo startování motoru pouze benzínem. Další problémy v palivu působí také malé množství vody v palivu, které může způsobit rozpad směsi bioethanolu s benzínem na dvě fáze, s přechodem bioethanolu do fáze vodní. Bioethanol působí korozivně na některé součásti, zasahující zejména palivové příslušenství motoru, ale tato nepříznivá vlastnost lze mírnit přidáváním inhibitorů koroze. Také působí agresivně na některé plasty a pryže (Hromádka et al. 2011).

Tabulka 5.4 Porovnání vlastností motorové nafty, benzínu a bioethanolu

Zdroj dat: Hromádko Ja, Hromádko Jb, Miler P, Hönig V, Štěrba P. 2011 Využití bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech. *Chemické listy* 105:122-128

Veličina	Nafta	Benzín	Bioethanol
Hustota při 15°C(kg m ⁻³)	~830	~750	794
Hmotnostní podíl kyslíku(%)	<0,6	<2,7	34,7
Výhřevnost(kWh kg ⁻¹)	11,8	12	7,44
Oktanové číslo	-	91-100	108
Cetanové číslo	>51	-	7

5.2.4 Bioethanol v zážehových motorech

Tato podkapitola se zabývá vlastnostmi a použitím bioethanolu v zážehových motorech a jeho srovnáním s naturalem 95.

5.2.4.1 Směsi s nízkým obsahem bioethanolu

V případě zážehových motorů je bioethanol převážně užíván jako nízkoprocentní přídavek do automobilového benzínu. Tento přídavek biosložky nesmí překročit 5 obj. %. Nízkoprocentuální přídavek jen minimálně mění parametry automobilového benzínu a nevyžaduje žádné úpravy spalovacího motoru. Jistou nevýhodou ovšem je fakt, že tímto nízkoprocentuálním přidáváním biosložky, není možné splnit stanovené cíle podílu biopaliva v dopravním sektoru, je nutné jej substituovat vysokoprocentuálními směsmi a čistými biopalivy (Hromádko et al. 2011).

5.2.4.2 Směsi s vysokým obsahem bioethanolu

Směsi, které mají podíl biosložky vyšší než 5 obj. %. Pro zážehové motory představuje tuto vysokoprocentní směs palivo E85, které je tvořeno z 85 % bioethanolem a 15 % podílem autobenzínu natural 95 (hromádko et al. 2011). Tyto vysokoprocentní směsi není možné v běžných motorech spalovat bez úprav, což je způsobeno nízkou výhřevností lihu. Tento druh směsí je v současnosti využíván ve vozidlech FFV (Flexi Fuel Vehicle), která jsou schopna provozu na běžný benzín, ale také jsou schopna operovat na palivo E85 a jeho směsi s běžným benzinem (Miler et al. 2009).

5.2.4.3 Palivo E85

Jak je uvedeno výše, jedná se o 85 % směs ethanolu a 15 % směs běžného benzínu, kterou je možné spalovat v FFV vozidlech. Dále je možné po úpravě tento druh paliva používat i v běžných vozidlech, dojde-li předem k potřebné úpravě. Tato úprava spočívá v úpravě řídicí jednotky motoru, která po jejím provedení, prodlužuje dobu vstříku paliva. (Miler et al. 2009).

5.2.4.4 Srovnání paliva E85 s naturelem 95

Tímto srovnáním se zabývá Miler et al. (2009). Jedná se o zhodnocení ekologického přínosu paliva E85 za použití virtuální simulace evropského homologačního cyklu NEDC. Základ simulace tvoří charakteristiky motoru na zkušebním stanovišti. V prvním byly naměřeny emisní charakteristiky a charakteristika spotřeby paliva při použití automobilového benzínu Natural 95. V dalším kroku byly měřeny tyto charakteristiky znovu, ale za použití paliva E85. Testovaný motorem byl motor škody Felicia 1,3 MPi s nutnou úpravou řídicí jednotky motoru, která jak již bylo zmíněno je nutná pro spalování paliva E85. Dále byl použit speciální výpočtový program vyvinutý Katedrou vozidel a pozemní dopravy, který je schopný stanovit měrnou produkci jednotlivých složek emisí a spotřebu paliva připadající na jeden ujetý kilometr, k charakteristikám motoru a průběhu v jízdním cyklu NEDC. Výsledky experimentu jsou uvedeny v tabulce 5.5. Experiment ukazuje relativně velký nárůst spotřeby paliva při použití E85, tento nárůst je způsoben nižší výhřevností ethanolu, který tvoří základ paliva E85. Nárůst spotřeby paliva není, podle testujících, možné považovat za negativní jev, ale je s ním samozřejmě nutné počítat při stanovení ceny paliva E85. Přepočítaná cena na energetický ekvivalent benzínu musí být konkurenceschopná. Snížení produkce CO₂ při provozu paliva E85 není nijak zvlášť výrazné, ale jeho význam je nutné hledat ve způsobu produkce ethanolu jako biopaliva. Z hlediska poklesu CO₂ se v České republice nejvíce v době konání tohoto testu jako nejvhodnější plodiny ukázaly obiloviny (s úsporou 25-30 %) a cukrová řepa (s úsporou 40-45 %). Z pohledu úspory CO₂ přináší největší přínos biopaliva druhé generace vyráběná z lignocelulózy. Tato paliva jsou technicky poměrně náročná a jsou v současnosti předmětem intenzivního výzkumu. Při spalování paliva E85 se při testu prokázalo i snížení produkce jiných škodlivin, zejména nespálených uhlovodíků a oxidů dusíku (viz. Tabulka. 5.5).

Tabulka 5.5 výsledné měrné produkce jednotlivých složek emisí

Zdroj dat: Miler P, Hromádko Ja, Hromádko Jb, Hönig V, Schwarzkopf M. 2009 Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85. Listy cukrovarnické a řepařské 5-6:24-26

Měrné emise	jednotka	Mimoměstská část cyklu	Městská část cyklu	Kombinovaný provoz
Spotřeba paliva E85	g.km-1	52,62	92,25	47,2
Spotřeba paliva Natural 95	g.km-1	35,62	63,56	45,9
CO ₂ na palivo E85	g.km-1	122,8	218,6	158,05
CO ₂ na palivo Natural 95	g.km-1	126,7	225,5	163,06
CO na palivo E85	g.km-1	0,26	0,27	0,26
CO na palivo Natural 95	g.km-1	0,33	0,43	0,37
HC na palivo E85	mg.km-1	1,49	2,59	1,89
HC na palivo Natural 95	mg.km-1	1,86	3,2	2,35
NOx na palivo E85	mg.km-1	17,42	17,25	17,36
NOx na palivo Natural 95	mg.km-1	25,46	24,39	25,07

5.2.5 Ethanol ve vznětových motorech

Využití bioethanolu v zážehových motorech nepředstavuje významný problém vzhledem k relativní podobnosti parametrů (viz. Tabulka 5.4), to ovšem neplatí v případě motorů vznětových, a to zejména z důvodů výrazné odlišnosti parametrů ethanolu a motorové nafty (viz. Tabulka 5.4). Jedním z hlavních problémů je nízká vznětlivost, cetanové číslo je pouze 8 v porovnání s konvenční naftou, která má cetanové číslo vyšší než 51. Cetanové číslo je možné zvýšit přidáním speciálních aditiv, ale i přesto je nezbytné provést další úpravy v motoru. Základní úpravou je zvýšení kompresního poměru a úprava dimenzování vstřikovacího systému, která je nezbytná vzhledem k nízké výhřevnosti ethanolu. Tento způsob využití směsí paliv s vysokým obsahem biosložky ve vznětových motorech využila firma Scania, která v některých autobusech, které firma používala, spalovala palivo označované jako E95. Tento druh paliva se skládá z 95 % ethanolu a 5 % aditiv, které mají podpořit vznětlivost (Hromádko et al. 2009). Na rozdíl od motorů zážehových, které jsou i po provedení úprav pro spalování palivových směsí s vysokým obsahem ethanolu stále schopné dále normálně fungovat na konvenční paliva (Miler et al. 2009), vznětové motory, které prošly úpravou pro využití směsí paliva s vysokým obsahem ethanolu, již neumožňují používání konvenční nafty. Pro použití směsí ethanolu ve vznětových motorech je nutné použití dvoupalivového systému s oddělenou nádrží. V tomto případě jsou možné různé druhy úprav, například použít vstřík ethanolu do spalovacího prostoru samostatným vstřikovačem současně se vstřikem zapalovací dávky motorové nafty druhým vstřikovačem. Je možné použít i úpravu, která je založena na nasávání ethanolu vzduchem. V tomto případě se příprava směsi uskutečňuje obdobně jako v motorech zážehových, buď v karburátoru, nebo nízkotlakým vstřikováním před sací ventil, zapálení směsi zajistí vstříknutí zápalné směsi motorové nafty. Další možností využití ethanolu ve vznětových motorech je přidávání ethanolu přímo do motorových paliv, v tomto případě však dochází k problémům, které jsou způsobeny zejména obtížnou mísitelností (kterou je možné podpořit přísadkou například butanolu) motorové nafty a bioethanolu. Přidáním 5 % ethanolu do motorové nafty se příznivě projevil na produkci uhlíkatých emisí a kouřivosti, navýšení koncentrace ethanolu však již výrazné změny nepřináší, rovněž přísadky ethanolu snižují mazací schopnosti paliva a s tím je spojené nadměrné opotřebovávání vstřikovacího zařízení. Rovněž je nutné dodat, že vzhledem k již dříve zmíněné obtížné mísitelnosti motorové nafty a ethanolu, je nutné palivovou směs při provozu míchat (Hromádko et al. 2009).

5.3 Bio-olej

Tmavě hnědá, volně tekoucí organická kapalina složená z celé řady organických sloučenin, zejména kyseliny, alkoholy, aldehydy, estery, ketony, fenoly, a z ligninu vycházející oligomery. Synonyma pro jeho název jsou například pyrolytické oleje, dřevěný olej a mnoho dalších. Některé ze sloučenin obsažených v bio-oleji jsou zdrojem některých negativních vlastností. V porovnání s fosilním olejem (viz. Tabulka 5.6), mají bio-oleje celou řadu nepříznivých vlastností pro použití jako paliva.

- Vysoký obsah vody
- Vysokou viskozitu
- Velký obsah popelu
- Vysoký obsah kyslíku a s tím spojenou nízkou výhřevnost
- Jsou kyselé (napomáhají korozi)

Tyto negativní vlastnosti poněkud omezují možnosti použití bio-olejů. V současném stavu nejsou bio-oleje vhodným palivem pro použití pro dopravní účely. Bio-oleje je možné bez větších problémů skladovat a transportovat. Jejich vlastnosti jsou dostačující pro použití jako náhradní palivo ve více „statických“ aplikacích, například jako náhrada dieselu, nebo surové ropy pro produkci tepla a energie. Jejich aplikace má rovněž celou řadu použití v chemickém procesu. (Xiu & Shahbazi 2012)

5.3.1 Výroba bio-olejů

Bio-oleje jsou běžně vyráběny pyrolýzou biomasy. Procesy pyrolýzy se dělí na konvenční (pomalé), nebo rychlé v závislosti na použitých podmínkách. Tyto pojmy však nemají přesnou definici doby a rychlosti zahřívání, při kterých jsou prováděny. Pyrolýzy mohou být prováděny při rychlostech, které nejsou považovány za rychlé nebo pomalé, ale leží někdy mezi těmito dvěma extrémy. Proces pyrolýzy je možné modifikovat a dále upravovat za účelem optimalizace procesů, typů meziproductů a finálních produktů. Některé typy těchto pyrolýz jsou uvedeny v tabulce č. 5.7 (Xiu & Shahbazi 2012).

Tabulka 5.6 vlastnosti olejů

Zdroj dat: Xiu S, Shahbazi A. 2012. Bio-oil production and upgrading research: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16:4406-4414

Vlastnosti	Pyrolýza bio-oleje ze dřeva	Těžký topný olej
Obsah vlhkosti(hm.%)	15-30	0,1
pH	2,5	*
měrná tíha	1,2	0,94
Složení prvků(hm.%)		
C	54-58	85
H	5,5-7,0	11
O	35-40	1
N	0-0,2	0,3
Popel	0-0,2	0,1
Vyšší výhřevnost(Mj/kg)	16-19	40
Viskozita při 50°C	40-100	180
pevné látky(hm.%)	0,2-1	1
Destilační zbytek(hm.%)	≤50	1

Tabulka 5.7 Metody pyrolýzy a jejich varianty

Zdroj dat: Xiu S, Shahbazi A. 2012. Bio-oil production and upgrading research: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16:4406-4414

Technologie pyrolýzy	Čas	Rychlost ohřevu	Teplota(°C)	finální produkt
Karbonizační	dny	velmi nízká	400	dřevěné uhlí
Konvenční	5-30 min	nízká	600	olej, plyn, d. uhlí
Rychlá	0,5-5 s	velmi vysoká	650	bio-olej
Velmi rychlá-kapalinná	<1 s	vysoká	<650	bio-olej
Velmi rychlá-plynná	<1 s	vysoká	<650	chemikálie, plyn
Ultra	<0,5 s	velmi vysoká	1000	chemikálie, plyn
Vakuová	2-30 s	střední	400	bio-olej
Hydro-pyrolýza	<10 s	vysoká	<500	bio-olej
Methanová pyrolýza	<10 s	vysoká	>700	chemikálie

5.3.1.1 Konvenční pyrolýza

Proces, který je již používán tisíce let a našel uplatnění při výrobě dřevěného uhlí. Při pomalé pyrolýze se biomasa zahřívá na 500°C. Páry neunikají tak rychle jako v případě rychlé pyrolýzy. Složky v plynné fázi spolu reagují a tvoří se pevný uhlík a různé kapaliny. Rychlost zahřívání v konvenční pyrolýze je většinou mnohem pomalejší než rychlost pyrolýzy rychlé. Suroviny tedy může být udržována při konstantní teplotě, nebo pomalu zahřívána. Výpary je možné odstraňovat průběžně, jak jsou vytvářeny. (Xiu & Shahbazi 2012)

5.3.1.2 Rychlá pyrolýza

Proces probíhající za vysoké teploty, při kterém dochází k zahřívání biomasy v nepřítomnosti kyslíku. Po ochlazení a kondenzaci par a aerosolů vznikne tmavě hnědá mobilní kapalina, která má výhřevnost asi poloviční v porovnání s konvenčními topnými oleji. Při procesu rychlé pyrolýzy vzniká asi 60-75 obj.% kapalného bio-oleje, 15-25 obj. % pevného uhlí a 10-20 obj. % nezkonzenzovaných plynů v závislosti na použité surovině. Při procesu nemusí vznikat žádný odpad, protože je možné vyprodukovaný plyn vrátit zpět do procesu a uhlí s bio-olejem je možné použít jako palivo. Dále existuje několik pokročilejších procesů, které jsou pečlivě kontrolovány a řízeny tak, aby výtěžek kapaliny byl co nejvyšší.

Rychlý pyrolytický proces má čtyři základní části.

- Nejprve je nutná co nejvyšší rychlost ohřevu a přenosu tepla, to je většinou zajištěno jemně mletým práškem z biomasy, který je přiváděn do procesu.
- Dále se používá velmi pečlivě regulovaná reakční teplota pyrolýzy, která je často v rozmezí 425 až 500 °C.
- V další části plyny zůstávají pouze krátkou v procesu (<2 s).
- Dojde k ochlazení par a aerosolů za vzniku bio-oleje. (Xiu & Shahbazi 2012)

5.3.2 Suroviny pro výrobu bio-olejů

Bio-oleje je možné produkovat z celé řady odpadu z lesní a zemědělské biomasy a hnoje. Často se používají odpadní zbytky z cukrové třtiny, zbytky z rýže, pšeničná sláma a dřevo. Mezi další

perspektivní suroviny dále patří různé trávy a kokosová vlákna. Biomasu je před zpracováním vhodné vysušit. Biomasa obsahuje před sušením v rozmezí 50-60 % vlhkosti, pasivním sušením je možné tento podíl snížit na 30 % a aktivním na 12 %. Druh základní suroviny používaný při výrobě bio-olejů, může mít vliv na výrobní proces a kvalitu výsledného produktu. (Mohan et al. 2006)

5.3.3 Vylepšování bio-olejů

Vzhledem k výše uvedeným údajům, je zřejmé, že některé kvality bio-olejů zaostávají za těmi, které jsou produkovány z ropy, proto jsou zkoumány různé technologie, které by měly být schopné některé tyto vlastnosti vylepšit. V tabulce č. 5.8 jsou shrnuty současné technologie pro vylepšování bio-olejů, spolu s některými jejich parametry (Xiu & Shahbazi 2012).

Tabulka 5.8 obecný popis technologií pro vylepšování bio-olejů

Zdroj dat: Xiu S, Shahbazi A. 2012. Bio-oil production and upgrading research: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16:4406-4414

Metody vylepšování	Podmínky	výhody	nevýhody
Hydrorafinace	relativně mírné podmínky (~500°C/nízký tlak), nutná přítomnost H ₂ /CO, katalyzátory (CoMo, NiMo)	levné, již se komerčně používá	vzniká asi (8-25%) koks, získaná paliva jsou nízké kvality
Hydrokrakování	Těžké podmínky (>350°C, 100-2000 psi), Nutná přítomnost H ₂ /CO, katalyzátory (Ni/Al ₂ O ₃)	Vzniká velké množství lehkých produktů	potřeba pokročilého vybavení, vysoká cena, inhibice katalyzátorů, zanášení reaktoru
Přidání rozpouštědel	mírné podmínky, polární rozpouštědla jako voda, methanol, ethanol	nejvíce praktický přístup, levné, některá rozpouštědla mají kladný vliv na vlastnosti	některé mechanismy nejsou zcela známe
Emulzifikace	mírné podmínky, nutná přítomnost povrchově aktivní látky	jednoduché, méně korozivní	potřeba velkého množství energie
Parní reformování	Vysoké teploty (800-900°C), potřeba katalyzátoru (např. Ni)	Produkuje H ₂ , čistý zdroj energie	Komplikovaný, potřebuje drahé a pokročilé reaktory
Extrakce chemikálií z bio-olejů	mírné podmínky (destilace, extrakce rozpouštědlem)	Extrakce cenných chemikálií	Potřeba pokročilejší technologie

5.4 Paliva na bázi Fischer-Tropschovy syntézy

Paliva jejichž produkce je založena na výrobě syntézního plynu. Jedná se o heterogenně katalyzovanou reakce. Jako katalyzátory se používají kovy, které jsou za vhodných podmínek schopné štěpit vazbu mezi atomy uhlíku a kyslíku. Tyto katalyzátory jsou na bázi železa a kobaltu. Na jejich povrchu pak dochází k disociativní adsorpci molekul CO. Molekuly CO reagují s kovy při vyšším tlaku a teplotě, při této reakci následně vznikají odpovídající karbonyly Fe(CO)₅, v případě katalyzátoru na bázi železa a Co(CO)₄ v případě kobaltu, teplota při které tyto karbonyly vznikají je však nižší, než teplota nutná pro průběh FT syntézy. Pro katalyzátory FT představuje značné riziko otrava sírou, vzhledem k její tendenci se na katalyzátory sorbovat. FT syntéza je exotermní reakce a teplo, které vzniká je nutné odvádět. Kromě uhlovodíků při reakcích také vznikají kyslíkaté sloučeniny. Dále pak vzniká řada reakčních produktů, jejichž hlavními složkami jsou alkany, alkeny a primární alkoholy. Mezi

nasycenými uhlovodíky dominují n-alkany společně s rozvětvenými 2-methylalkany. Schéma produkce kapalných biopaliv FT syntézou je uvedeno na obr. 5.3 (Hromádko et al. 2010).

Hlavní reakce při FT syntéze

- Vznik alkanů: $(2n + 1)H_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n+2} + nH_2O$
- Vznik alkenů: $2n H_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n} + nH_2O$
- Vznik alkoholů: $2n H_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n+1}OH + (n - 1)H_2O$
- Reakce vodního plynu (Water Gas Shift Reaction – WGS)
- Budoardova reakce: $2CO \rightarrow C + CO_2$
- Tvorba koksu: $H_2 + CO \rightarrow C + H_2O$ (Šebor et al. 2006)

Původně bylo jako zdroj syntézního plynu používáné uhlí, v současnosti se používá zemní plyn, nebo plyn získaný zplyňováním biomasy. Důvod používání zemního plynu jako základu pro FT syntézu byl zapříčiněn zejména snižujícími zásobami ropy. Postup výroby syntetického paliva používající zemní plyn jako základ nese označení GTL (Gas to Liquids). Tato GTL složka se přidává do některých paliv za účelem navýšení jejich kvality. Výroba syntetických motorových paliv, při které FT probíhá na bázi biomasy se označuje BTL (Biomass to Liquids). FT syntéza je považována za velice perspektivní možnost využití biomasy a je posledních letech předmětem intenzivního výzkumu. Syntézní plyn získávaný zplyňováním biomasy, je v současnosti nejběžnějším způsobem jeho produkce (Hromádko et al. 2010).

Syntézní plyn není vždy použit při FT syntéze, někdy je používán pro výrobu methanolu, dimethylétheru, čpavku, lehkých alkenů a dalších důležitých petrochemikálií (tj. látky dosud získávány převážně zpracováním ropy). Syntézní plyn získaný zplyněním biomasy, nebo parním reformováním a parciální oxidací zemního plynu je možné také použít pro výrobu vodíku, nebo jej konvertovat na methan (SNG) (Šebor et al. 2006).

5.5 Motorová nafta z FT syntézy

Nafty vyrobené procesem FT syntézy představují velmi čistá a kvalitní paliva pro vznětové motory (viz. Tab. 5.9). V porovnání vlastností FT nafty s klasickou motorovou naftou, lze konstatovat, že má srovnatelný energetický obsah, podobnou hustotu a viskozitu spolu s bodem vzplanutí. Některé vlastnosti FT nafty jsou však výrazně lepší, například výrazně vyšší cetanové číslo a s ním spojené snadnější vzněcování, neobsahuje síru a má velmi malý obsah aromátů, což je zodpovědné za čistší spalování. Dále je možné vlastnosti a složení syntetické nafty měnit volbou podmínek reakce, což je také nezanedbatelnou výhodou. Pro zajištění dobré mazací schopnosti je podobně jako u klasické nafty nutné přidání aditiv. (Šebor et al. 2006)

Tabulka 5.9 Vlastnosti syntetické a klasické motorové nafty (MN)

Zdroj dat: Šebor G, Pospíšil M, Žákovec J. 2006. Technicko-ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Praha

Vlastnosti paliva	Syntet. MN z FT syntézy	Klasická MN
Cetanové číslo	>74	50
Hustota při 15°C(g/cm ³)	0,78	0,84
Výhřevnost(MJ/kg)	44	44,7
Výhřevnost(MJ/l)	34,3	35,7
Teplota samovznícení(°C)	~250	250
kinematická viskozita při 20°C(mm ² /s)	3,6	4
Bod vzplanutí(°C)	72	77

5.5.1 Suroviny

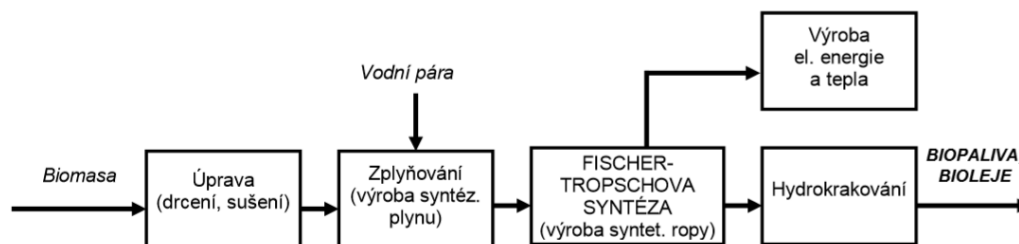
Pro produkci syntézního plynu lze u BTL paliv použít libovolnou biomasu, ale biomasa lignocelulózní je upřednostňována. (Šebor et al. 2006). Dále je pro produkci syntézního plynu (a vodíku) možné použít zbytkové odpady z produkce jiných biopaliv procesem parciální oxidace. Jde zejména o zbytky z produkce MEŘO nebo bioethanolu (Kováč et al. 2012).

5.5.2 Produkce FT dieselu

Zde je uvedený postup produkce paliva Sundiesel, jako příklad možné produkce biopaliv na podobném principu dle Hromádka et al. (2010).

1. Nejprve dojde k úpravě vstupní biomasy, která je většinou ve formě dřevní štěpky nebo slámy. Biomasa je dále rozmělněna na částičky, jejichž velikost by neměla překračovat 250 μm .
2. Dále je biomasa přesunuta do určených skladovacích prostor, než dojde k jejímu dalšímu zpracování.
3. Sušení biomasy. Biomasa, která byla rozemleta musí být zbavena nadbytečné vlhkosti. Maximální povolená vlhkost biomasy je v rozmezí 15-20 %.
4. Carbo-V proces, který je rozdělen na několik částí.
 - 1.část Tvořená nízkoteplotní pyrolýzou, která probíhá při teplotě 400-500°C. Zde dochází k přeměně makromolekulárních struktur na pevný uhlík, spolu s plynnými a kapalnými organickými produkty.
 - 2.část Plyn je převáděn do vysokoteplotní spalovací komory, kde dojde k jeho částečné oxidaci za přítomnosti kyslíku a vodní páry, kde při teplotách vyšších než 1400 °C dochází k rozkladu uhlovodíkových řetězců na H_2 a CO .
 - 3.část Jemně rozdrcené uhlí ze spodu je vyfukováno do spalovací komory. Práškové uhlí zde endotermicky reaguje s pyrolýzním médiem za vzniku syntézního plynu o vysoké výhřevnosti. Plyn následně putuje do tepelného výměníku, kde dochází k jeho ochlazení. Odpadní pára je dále využívána k produkci elektrické energie.
 - 4.část Zde dochází k separaci nevyužitého popela a čištění syntézního plynu ve vodní čističce, kde je odstraňována síra.
5. Elektrárna – zde dochází k využití odpadní vodní páry. Pára je vedena do parních turbín a transformována v energii.
6. Fischer-Tropschova syntéza. Zde dochází k samotné FT za přítomnosti (v případě produkce Sundieselu) kobaltu jako katalyzátoru. Zde dochází k adsorbci oxidu uhelnatého a vodíku na povrch katalyzátoru. Zde vzniká molekulový uhlovodíkový řetězec. Nejprve dojde k rozštěpení vazby jedné molekuly oxidu uhelnatého na uhlík a kyslík. Uhlík se následně váže na vodík. Molekulový uhlovodíkový řetězec roste s další rozštěpenou molekulou oxidu uhelnatého a končí s pokrytím celého povrchu katalyzátoru.
7. Čištění a zušlechťování. V této části procesu dochází k čištění surového syntetického paliva, které představuje výsledný produkt mnohastupňového procesu. Při ochlazení

horkého paliva dojde k odloučení syntézní vody. Následuje destilace a hydrokrakování za vzniku finálního syntetického paliva s vysokým cetanovým číslem „Sundiesel“.



Obrázek 5.3 Blokové schéma výroby kapalných biopaliv Autor: Šebor G, Pospíšil M, Žákovec J. 2006. Technicko-ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Praha

5.6 Hydrogenované rostlinné oleje

V anglicky mluvících zemích Hydrotreated vegetable oil (dále jen HVO), jsou směsi parafinických uhlovodíků neobsahující síru a aromatické látky. Hydrogenace rostlinných olejů nám umožňuje výrobu vysoce kvalitních, obnovitelných dieselových paliv. Pro HVO je v současnosti užíván pojem „obnovitelná dieselová paliva“, namísto „biodieselu“, tento název je vyhrazen pro methyl estery řepkového oleje (MEŘO, nebo FAME z anglického Fatty acid methyl ester) (Aaotola et al. 2008). Někdy jsou jako HVO také označovány produkty, které jsou částečně nebo kompletně z upotřebených kuchyňských olejů a odpadních tuků (Šimáček et al. 2017).

5.6.1 Vlastnosti

HVO neobsahují kyslík, jsou stabilní při skladování a tendence k vytváření usazenin ve vstřikovačích paliva je nižší než u fosilních paliv. HVO dále představují jen velmi malé riziko pro dodatečnou úpravu výfukových plynů, což je způsobeno procesními podmínkami, díky kterým je množství tvořeného popelu v podstatě nulové. Vzhledem k absenci aromatických látek v palivu, vysokému cetanovému číslu, nízké hustotě, vysoké výhřevnosti a solidním vlastnostem za studena se jedná o perspektivní složku pro rafinerie a vzhledem k absenci kyslíku a minimální hustotě, se HVO chová jako normální motorová nafta. Vlastnosti HVO viz. tabulka 5.10. HVO je možné upravit tak, aby vyhovovaly místním podmínkám, toho lze dosáhnout například dodatečným katalytickým zpracováním. Úpravou izomerizační jednotkou v rafinerii je možné vyrábět palivo pro dieselové motory i pro arktické podmínky. Rovněž cetanové číslo HVO je vysoké a jeho ostatní parametry jsou podobné ostatním dieselovým palivům typu plyn na kapalinu (GTL) a biomasa na kapalinu (BTL) produkované Fischer-Tropschovou (FT) syntézou (viz. Tabulka. 5.10). HVO většinou splňují požadavky na konvenční naftu (např. EN 590). Jejich výhřevnost je 34,4 MJ/l, což je hodnota výrazně vyšší než v případě ethanolu, která je 21,2 MJ/l. Díky tomu umožňují HVO, posíleny také všeobecně vyšší účinností vznětových motorů oproti motorům zážehovým, urazit vozidlům využívajícím HVO až na dvojnásobnou vzdálenost, v porovnání s vozidly využívající paliva na bázi ethanolu, jako například E85 (Erkkilä et al. 2011).

Tabulka 5.10 Typické vlastnosti HVO, dieselového paliva dle normy EN 590:2004, GTL a FAME

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

	HVO	EN 590	GTL	FAME(řepkový olej)
Hustota při 15°C(kg/m ³)	775...785	≈835	770...785	≈885
Viskozita při 40°C(mm ² /s)	2,5...3,5	≈3,5	3,2...4,5	≈4,5
Cetanové číslo	≈80...99	≈53	≈73...81	≈51
rozmezí destilace	≈180...320	≈180...360	≈190...330	≈350...370
bod zákalu	-5...-25	≈-5	0...-25	≈-5
výhřevnost, nižší(MJ/Kg)	≈44	≈42,7	≈43	≈37,5
Výhřevnost nižší(MJ/l)	≈34,4	≈35,7	≈34	≈33,2
Celkový obsah aromatů(hm.%)	0	≈30	0	0
Obsah kyslíku(hm.%)	0	0	0	≈11
Obsah síry(mg/kg)	<10	<10	<10	<10
Stabilita při skladování	dobrá	dobrá	dobrá	náročná

5.6.2 Optimalizace motoru pro HVO

Již při spalování HVO ve standardním motoru nejsou problémy a emise jsou nižší, přesto je možné objem produkovaných emisí dále snížit při použití optimalizovaného načasovaného vstřikování. (Erkkilä et al. 2011)

Možnosti použití HVO

1. Podobně jako v případě MEŘO, přidávání malých objemů HVO jako biokomponentů do motorové nafty za účelem produkce palivových směsí s malým podílem biosložky.
2. Tvorba směsí s vysokým podílem biosložky, vzhledem k pozitivním vlastnostem HVO, nedojde k ohrožení výsledné kvality paliva, provozu motoru a navýšení emisí. V tomto případě bude výsledkem palivová směs prvotřídní kvality, vzhledem k navýšení cetanového čísla a snížení obsahu aromatických látek dojde k omezení emisí a zlepšení vlastností při studeném startu. Tyto směsi jsou schopné splňovat normy pro motorovou naftu, například EN 590 a ASTM D 975.
3. Při použití HVO jako čistého paliva v městských autobusech a důlní technice pro snížení emisí výfukových plynů a zlepšení kvality místního ovzduší. Aby bylo možné plně využít výhod HVO, bude potřeba vzhledem k nižší hustotě a vyššímu cetanovému číslu paliva, je nutné překalibrovat vstřikovací systém paliva. (Aatola et al. 2008).

5.6.3 Vliv HVO na emise

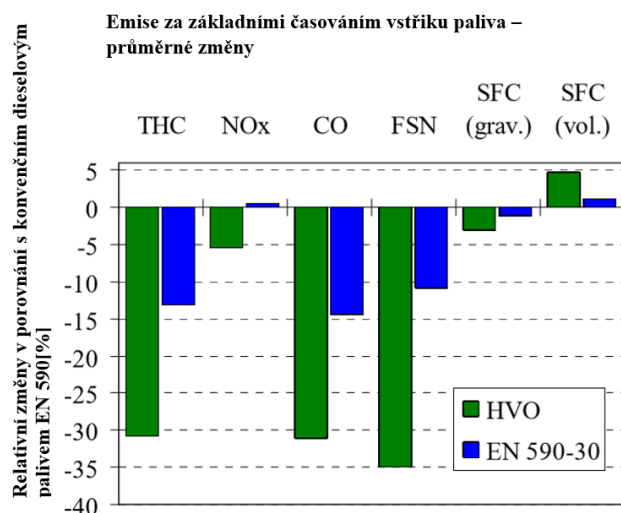
Ohledně vlivu HVO na emise bylo provedeno několik experimentů. Při testu, kterým se zabýval Aatola et al. (2008), byly měřeny hodnoty emisí CO, THC, Nox a FSN (smoke in filter smoke number). Při testu se experimentální sestava skládala z dieselového 8,4 litrového, čtyřdobého, šestiválcového motoru s přímým vstřikováním o výkonu 225 kW při 2200 ot/min., motor disponoval systémem vstřikování paliva Common-Rail a chladičem plnicího vzduchu. Při testu nebylo použito zařízení pro dodatečnou úpravu výfukových plynů. Paliva použítá při testu byla připravena společností Neste oil a zahrnovala, kromě 100% HVO, 30% a 70% směsi s dieselovým palivem EN 590-30 bez obsahu síry, toto palivo bylo rovněž použito jako referenční. Vlastnosti EN 590-30 (dále pouze EN 590) a HVO jsou uvedeny v tabulce č. 5.10.

5.6.3.1 Průběh testu

Výkon a emise byly zaznamenávány za ustálených podmínek a zahřátí zkušebního motoru. Motor byl provozován při třech rychlostech, 2200 ot/min, 1500 ot/min a 1000 ot/min při simulaci zatížení na 50 a 100 % (kromě 1000 ot/min, zde test probíhal pouze na 50% zátěž). Při testu bylo rovněž zasahováno do načasování vstřikování (Aaotola et al. 2008).

5.6.3.2 Výsledky

Jak je vidět v obr. 5.4, v případě 100% HVO dojde ke snížení FSN asi o 35 %, NO_x o 5 %. V případě 30% směsi HVO je snížení FSN asi o 11 % a No_x je přibližně stejný jako v případě referenčního paliva. Změny v produkci CO dosahují snížení v případě čistého HVO o zhruba 30 % a u 30% směsi asi 14 %, ale vzhledem k jejich nízkým absolutním hodnotám u referenčního paliva, je tato změna pouze málo významná. Gravimetrická měrná spotřeba paliva (SFC) je snížena u 100% HVO a 30% směsi díky vyšší efektivní topné hodnotě HVO založené na hmotnosti, ale v případě objemové spotřeby tomu tak není, zde se spotřeba vzhledem k nižší objemové efektivní výhřevnosti HVO zvyšuje v porovnání s referenčním palivem (Aaotola et al. 2008).



Obrázek 5.4 Emise HVO a EN 590-30 v porovnání s EN 590. Základní načasování vstřikování

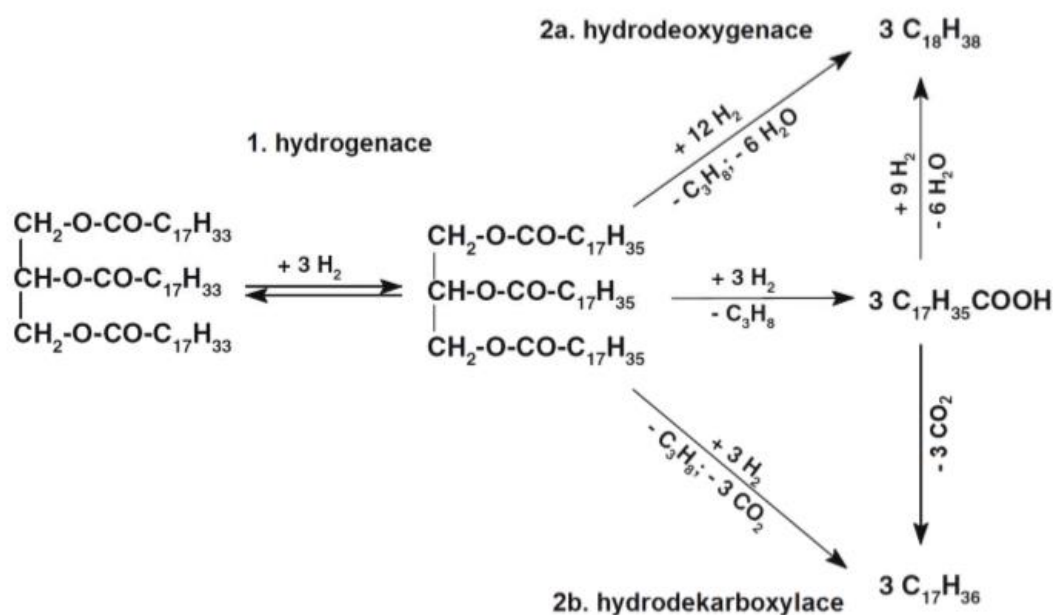
Zdroj: Aatola H, Larmi M, Sarjoavaara T. 2008 Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO_x, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine, SAE International Journal of Engines.

5.6.4 Suroviny

V porovnání s FAME, jehož kvalita je závislá na vlastnostech vstupních surovin, HVO může být produkováno z libovolného druhu rostlinných olejů bez ovlivnění výsledného produktu. Může být použita například sója, slunečnice a jiné potravinářské rostliny, v tomto případě však dochází ke konkurenci s potravinářským průmyslem. Pokud má být produkce HVO do budoucna efektivní a schopná nahradit konvenční naftu, bude nutné, aby k dispozici bylo značné množství řas, nebo vhodných nepotravinářských rostlin, například Dávivec černý (*Jatropha curcas*) a podobné rostliny (Aaotola et al. 2008). Dále je možné použití volných mastných kyselin, ale v tomto případě nevzniká v průběhu hydrogenace propan. Rovněž použití kuchyňských tuků a olejů je také možné (Šimáček et al. 2017).

5.6.5 Mechanismus hydrogenace

Hydrogenace HVO je katalytická reakce. Jako katalyzátory se používají kombinace kovů jako jsou Ni, Mo, Co a W, které jsou nanesené na nosiči, kterým bývá alumina nebo zeolity. V některých případech jsou užívány katalyzátory založené na bázi drahých kovů jako Pd a Pt. Proces pak probíhá při tlaku do 20 MPa při teplotách v rozmezí 300-420 °C ve vodíkové atmosféře. Za těchto podmínek pak dochází k dílčím chemickým reakcím, při kterých se triglyceridy mastných kyselin přeměňují na jednoduché uhlovodíkové směsi. Zjednodušené schéma reakce, kde je rostlinný olej reprezentován molekulou trioleinu je uvedeno na Obr. 5.5 V průběhu hydrogenace HVO z počátku dojde k nasycení dvojných vazeb uhlovodíkových řetězců mastných kyselin, které jsou navázány na molekuly triglyceridů. Dále může reakce pokračovat dvěma různými směry, a to hydrodeoxygenací nebo hydrodekarboxylací. Při hydrodeoxygenaci dojde k rozpadu molekuly triglyceridu za vzniku propanu, 6 molekul vody a 3 molekuly n-alkanů se stejným počtem uhlíkových atomů, jako mastné kyseliny, které byly vázány v původních molekulách triglyceridu. Vzhledem k tomu, že v triglyceridech jsou běžně zastoupeny kyseliny s osmnácti atomy uhlíku, je běžným produktem hydrodeoxygenace n-oktadekan ($C_{18}H_{38}$). V případě hydrodekarboxylace rovněž dochází rovněž k vzniku propanu, ale dále vznikají 3 molekuly oxidu uhličitého a 3 molekuly n-alkanů, jejichž počet uhlíků je o jedna nižší, než měli původní mastné kyseliny původně vázané v triglyceridu. Hlavním produktem hydrodekarboxylace je tedy n-heptadekan ($C_{17}H_{36}$). Pokud při přeměně rostlinného oleje dochází pouze k hydrodekarboxylaci, je výsledný výtěžek uhlovodíků asi o 5 % nižší. Tento pokles je zapříčiněn ztrátou uhlíku v podobě CO_2 . Nejedná se však o nijak zvlášť významnou nevýhodu, protože v případě hydrodeoxygenační cesty, je oproti hydrokarboxilaci nutný asi 4× vyšší vstup vodíku. Při hydrogenaci rostlinných olejů dochází k uplatnění obou reakčních mechanismů. Rozsah obou reakcí je závislý na použitých katalyzátorech a reakčních podmínkách (Šimáček et al. 2017).



Obr. 5.5 Zjednodušené reakční schéma hydrogenace rostlinného oleje, 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

6 Systemizace odpadní biomasy v rámci České republiky

V této části BP bude uvedena celková produkce a druhy odpadů v krajích (regionech) České republiky. Budou zejména používána data od Českého statistického úřadu (Produkce a využití odpadů 2018). Po zhodnocení objemů produkce odpadů v České republice, bude shrnuto, jak je s nimi nakládáno a v poslední části bude uvedeno, jaké množství těchto surovin bude možné použít k produkci biopaliv.

6.1 Metodika shromažďování dat

ČSÚ používá tzv. „rotační model“. Jeho princip spočívá na každoročním rozesílání výkazů nejvýznamnějším ekonomickým subjektům (záleží na objemu a typech odpadů, se kterými subjekt pracuje a počtu zaměstnanců) a zbývající část respondentů, tzv. „rotační“ je dotazována jednou za tři roky, zbytek je matematicky dopočten. Produkce komunálního odpadu se stanovuje kombinací šetření na vybraném vzorku obcí, dat z administrativního systému evidence odpadů ISPOP a odhadů, které jsou založené na matematicko-statistických metodách. Dále je nutné poznamenat, že výkazy jsou zasílány do sídla společnosti a podle sídla společnosti jsou také uváděny (např. odpad je vyprodukován ve Středočeském kraji, ale firma má sídlo v Praze, vyprodukovaný danou firmou je tedy uváděn pro Prahu a může tedy být zkreslující) (Český statistický úřad 2019). V tabulce 6.1, kde jsou použita data systému VISOH-Veřejný Informační systém odpadového hospodářství, který používá jinou metodiku shromažďování dat). Veřejný informační systém odpadového hospodářství (dále jen VISOH) je založený na ohlašovací povinnosti z § 39 zákona č. 185/2001 Sb., podle kterého má každý, kdo v ohlašovací roce nakládal s více než 100 kilogramy nebezpečného, nebo 100 tunami běžného odpadu, povinnost zaslat úplné a pravdivé informace o produkci a nakládání s odpady. Tyto údaje jsou zasílány v platném datovém standardu prostřednictvím Integrovaného systému plnění ohlašovacích povinností (ISPOP) obecnímu úřadu obce s rozšířenou působností nebo správnímu obvodu Prahy (Informační systém odpadového hospodářství).

6.2 Produkce odpadů v ČR

V roce 2018 se podle dat ČSÚ vyprodukovalo v České republice přes 28 milionů tun odpadu. Z toho největší podíl vyprodukovaného odpadu má s více než 8 miliony tun na svědomí Hlavní město Praha. Jak již bylo zmíněno dříve, vzhledem ke způsobu získávání dat, který je používán ČSÚ, produkce zejména podnikových odpadů může být poněkud zavádějící, vzhledem k tomu, že vyprodukované odpady jsou uváděny podle sídla firmy. V případě Prahy zde bude mít zejména celá řada podniků s provozem zejména ve Středočeském kraji sídlo uvedené v hlavním městě. Tuto úvahu podporuje srovnání dat ČSÚ v tabulce 6.2, s daty z VISOH v tabulce 6.1. Ve VISOH je produkce odpadů mezi Prahou a Středočeským relativně podobná, ale celková produkce odpadů je podle dat vyšší téměř o 9,5 milionů tun.

Tabulka 6.1 Produkce odpadů podle VISOH

Zdroj dat: Veřejný Informační systém odpadového hospodářství

2018 ISOH	celkem(t)
Produkce odpadů 2018	37 784 842
Z regionů:	
Hl. m. Praha	5 245 777
Středočeský kraj	4 917 139
Jihočeský kraj	2 132 742
Plzeňský kraj	1 963 854
Karlovarský kraj	925 298
Ústecký kraj	2 929 282
Liberecký kraj	1 032 490
Královohradecký kraj	1 676 862
Pardubický kraj	1 499 999
Kraj Vysočina	1 667 593
Jihomoravský kraj	5 256 588
Olomoucký kraj	2 446 759
Zlínský kraj	1 461 402
Moravskoslezský kraj	4 629 052

Tabulka 6.2 Celková produkce odpadu v České republice za rok 2018

Zdroj dat: Český statistický úřad

2018 ČSÚ	celkem(t)	Z podniků(t)	Z obcí(t)	z toho komunální(t)
Produkce odpadů 2018	28 353 238	24 189 304	4 163 935	3 732 219
Z regionů:				
Hl. m. Praha		8 043 425		404 733
Středočeský kraj		1 892 443		547 676
Jihočeský kraj		1 083 075		251 400
Plzeňský kraj		930 665		196 569
Karlovarský kraj		208 954		96 936
Ústecký kraj		1 400 215		299 060
Liberecký kraj		553 023		136 045
Královohradecký kraj		642 172		182 670
Pardubický kraj		807 410		178 309
Kraj Vysočina		580 035		197 182
Jihomoravský kraj		3 509 716		385 951
Olomoucký kraj		857 873		228 882
Zlínský kraj		950 338		193 089
Moravskoslezský kraj		2 729 960		193 089

6.2.1 Podnikové odpady

Z celkové produkce odpadu v roce 2018, představuje podle tabulky 6.3, největší podíl podnikový odpad, s více než 24 miliony tun a oproti rokům 2016 a 2017 narostl. Z celkového objemu vyprodukovaného odpadu měl, jak je možné vidět v tabulce 6.3, nejvyšší podíl odpad ze stavebnictví s více než 11,5 miliony tun vyprodukovaného odpadu a je soustavným nejvyšším producentem podnikového odpadu. Druhým producentem odpadu o nejvyšším objemu je zpracovatelský průmysl, který v roce 2018 vyprodukoval více než 5 milionů tun odpadu, což představuje mírný pokles v porovnání s rokem 2017, kdy měl zpracovatelský průmysl podíl zhruba 5,17 milionů tun odpadu. Produkce odpadu zpracovatelského průmyslu se přes drobné výkyvy zdá být relativně konstantní. Velmi významným producentem odpadu byl s více než 4,3 miliony tun, odpad spojený s odpadními vodami, odpady a sanacemi, jehož objem od roku 2006 výrazně vzrostl z necelých 1,7 milionu tun na více než 4,3 milionu tun odpadu v roce 2018. Zatímco však v tomto odvětví objem produkovaného odpadu výrazně narostl, v odvětví zabývající se produkcí a rozvody elektřiny, plynu, tepla a klimatizovaného vzduchu významně klesal, z více než 2 milionů tun na něco málo přes 0,5 milionu tun. Oproti předchozím rokům došlo k velmi výraznému nárůstu odpadů produkovaným odvětvím dopravy a skladováním. Zde produkce se produkce odpadů držela v posledních letech kolem 230 tisíc tun, ale v roce 2018 narostla na více než 460 tisíc tun. Produkce odpadů ze zemědělství, lesnictví a rybářství je v posledních letech relativně konstantní, oproti roku 2006 je však výrazně nižší. Další odvětví, které zaznamenalo výrazný pokles je těžba a dobývání. Z tabulky 6.3 je vidět, že v posledních letech klesá, v roce 2018 bylo toto odvětví zodpovědně za asi 82 tisíc tun odpadu, což představuje pouhý zlomek oproti roku 2006, kdy bylo vyprodukováno přes 470 tisíc tun (Český statistický úřad 2019).

Tabulka 6.3 Objemy produkce podnikových odpadů podle odvětví v letech 2006, 2015-2018
Zdroj dat: Český statistický úřad

Podnikové odpady	2006(t)	2015(t)	2016(t)	2017(t)	2018(t)
Produkce podnikových odpadů celkem	21 263 769	23 247 371	21 801 816	20 883 840	24 189 304
zemědělství, lesnictví a rybářství	289 919	104 553	114 577	113 448	138 199
těžba a dobývání	471 052	191 280	143 876	95 254	82 971
stavebnictví	9 014 964	11 308 334	10 141 986	8 987 469	11 601 305
činnosti spojené s odpadními vodami, odpady a sanacemi	1 695 213	3 635 778	3 632 098	3 636 404	4 341 565
zpracovatelský průmysl	5 869 810	4 562 791	4 670 646	5 179 587	5 089 161
produkce a rozvod elektřiny, plynu, tepla a klimatizovaného vzduchu	2 069 462	1 166 186	889 248	645 921	505 907
doprava a skladování	406 720	227 851	252 794	215 559	462 684
jiné	1 446 629	2 050 598	1 956 591	2 010 198	1 967 512

6.2.2 Komunální odpad

Za komunální odpad je podle rozhodnutí Komise č. 753/2011/EU považován odpad z domácností a podobný odpad, který je svým složením srovnatelný s odpadem z domácností s výjimkou odpadu z výroby a odpadu ze zemědělství a lesnictví. Celkové objemy vyprodukovaného komunálního odpadu jsou uvedené v tabulce č. 6.4. Z tabulky vyplývá, že v posledních letech produkce komunálního odpadu postupně rostla. V roce 2018 bylo vyprodukováno přes 3,7 milionu tun komunálního odpadu. Přes 2 miliony tun jej bylo shromážděno z běžného svozu. Téměř 400 tisíc tun představoval odpad ze svozu objemného odpadu a kolem 47 tisíc tun odpadu z komunálních služeb. Významný podíl zahrnují odděleně sbírané složky, které v roce 2018 představovaly zhruba 600 tisíc tun. Tyto odděleně sbírané složky zahrnují papír, sklo, plast a kovy. Z celkového objemu komunálního odpadu za rok 2018 představoval významnou část celkového objemu biologicky rozložitelný odpad s více než 1,9 milionu tun (Český statistický úřad 2019).

Tabulka 6.4 Objem komunálního odpadu v letech 2015-2018
Zdroj dat: Český statistický úřad

Komunální odpad	2015(t)	2016(t)	2017(t)	2018(t)
Celková produkce komunálního odpadu	3 337 336	3 579 614	3 642 958	3 732 219
zahrnující:				
běžný svoz	2 069 760	2 094 329	2 071 155	2 099 843
svoz objemných odpadů	308 607	348 138	365 487	392 542
odpady z komunálních služeb	60 919	58 059	56 246	47 515
odděleně sbírané složky	484 710	518 797	558 382	600 893
zahrnující:				
papír	155 669	161 899	169 045	181 815
sklo	120 327	126 731	132 506	138 795
plasty	118 196	127 904	138 752	147 381
kovy	29 857	27 057	32 923	42 846
z celkového objemu:				
biologicky rozložitelný odpad	1 647 194	1 817 338	1 868 060	1 906 549

6.3 Zpracování komunálního odpadu

Pro komunální odpad existuje po svozu několik možností dalšího využití, jak je uvedeno v tabulce č. 6.5. Zdaleka nejvíce jej v roce 2018 a v předchozích letech skončilo na skládce. V roce 2018 to bylo přes 1,8 milionu tun a oproti předchozím rokům to představovalo malý nárůst. Asi 610 tisíc tun čekalo využití jako palivo, nebo jiný způsob, kterým je možné využít k produkci energie. Oproti předchozímu roku tento objem mírně poklesl, ale oproti letům 2015-2016 narostl asi o 25 tisíc tun. Zhruba 5 tisíc tun byl spáleno, bez toho, aby byla produkována energie. Přes 1 milion tun bylo recyklováno, což oproti předchozím rokům představuje malý, pravidelný nárůst. Asi 270 tisíc tun bylo kompostováno, což představuje oproti rokům 2016-2017 jen malý nárůst, ale v porovnání s rokem 2015, kdy bylo kompostování zhruba 140 tisíc tun, je to výrazný rozdíl (Český statistický úřad 2019).

Tabulka 6.5 Nakládání s komunálními odpady 2015-2018

Zdroj dat: Český statistický úřad

Nakládání s komunálními odpady	2015(t)	2016(t)	2017(t)	2018(t)
Skládkování	1 755 438	1 789 366	1 765 363	1 828 236
Využití jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie	585 784	584 159	629 760	611 192
Spalování bez energetického využití	4 012	3 865	4 578	5 047
Recyklace	850 907	957 598	981 934	1 014 946
Kompostování	141 194	244 626	261 323	272 797

6.4 Zpracování celkového objemu odpadů v roce 2018

V roce 2018 bylo celkově zpracováno přes 38,5 milionu tun odpadů, což je téměř o 10 milionů tun odpadu více, než bylo vyprodukováno. Toto číslo nezahrnuje pouze vyprodukované odpady, ale všechny odpady, se kterými bylo sledovaný rok nakládáno. Toto číslo tedy zahrnuje vyprodukované odpady převzaté od jiných firem, odebírané ze skladů a jsou v něm zahrnuty odpady z podniků a obcí. Jak je uvedeno v tabulce 6.6, z celkového objemu bylo využito přes 19,5 milionů tun odpadů. Z toho bylo přes 1,1 milionu tun odpadů využito jako palivo, nebo k produkci energie, 6,35 milionu tun k zасыpávání a jinak využito přes 12 milionů tun. Toto „jiné“ využití zahrnuje recyklaci, kterou prošlo přes 10 milionů tun a kompostování, které představovalo 540 tisíc tun. Z celkového objemu odpadů bylo v roce 2018 odstraněno přes 4,67 milionů tun odpadu. To zahrnovalo skládkování, které představovalo více než 4,5 milionů tun. Téměř 100 tisíc tun odpadu bylo spáleno (Český statistický úřad 2019).

Tabulka 6.6 objem zpracovávaných odpadů v roce 2018

Zdroj dat: Český statistický úřad

	Celkem(t)
Celkový objem odpadů, který byl v roce 2018 zpracován	38 669 446
Z toho bylo celkově využito:	19 691 221
Zahrnující:	
Využití jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie	1 137 694
Zасыpávání	6 367 737
Využití odpadů(nezahrnuje energetické využití)	12 185 790
Zahrnující:	
recyklace	10 133 987
kompostování	542 091
Odstraňování celkem	
Zahrnující:	4 676 857
skládkování	4 581 536
spalování na pevnině	94 136

6.5 Využitelné odpady pro produkci biopaliv

Pro produkci biopaliv je možné použít celou řadu odpadů, zejména těch biologicky rozložitelných. Každý rok je těchto odpadů vyprodukováno značné množství, ať už se jedná o odpady ze zemědělství, potravinářského průmyslu, nebo komunální odpad z obcí (Demirbas A. 2011).

6.5.1 Využitelné odpady podle ČSÚ

Podle tabulek č. 6.3 a 6.4 založených na datech z ČSÚ bylo za rok 2018 vyprodukováno asi 1,9 milionu tun biologicky rozložitelného komunálního odpadu a asi 1,3 milionu podnikových odpadů s potencionálem pro použití jako suroviny pro produkci biopaliv (Český statistický úřad 2019).

6.5.2 Vyprodukované podnikové odpady za rok 2018 pro potencionální produkci bionafty

Jak je uvedeno v tabulce č. 6.7, kde jsou uvedeny vyprodukované podnikové odpady podle skupin. Vzniklo jich v roce 2018 asi 16,5 tisíce tun. Nemusí se jednat o celkové množství odpadů, které jsou vhodné pro produkci bionafty, podstatná část jich může být zahrnuta v jiných skupinách, které mohou zahrnovat i jiné odpady. Jak je vidět v tabulce č. 6.9, jedná se zejména o živočišné odpady, zbytky tkání, vosky a tuky a tak podobně (Český statistický úřad 2019).

*Tabulka 6.7 jednotlivé skupiny odpadů využitelné pro produkci bionafty v tunách
Zdroj dat: Český statistický úřad*

Využitelné podnikové odpady	2018
020102-Odpady živočišných tkání	2 527
020202-Odpad živočišných tkání	7 356
040210-Org. hmoty z přír. produktů	1 697
120112-Upotřebené vosky a tuky	1 529
200125-Jedlý olej a tuk	3 405
200126-Olej a tuk s NL	21

6.5.3 Vyprodukované odpady za rok 2018 pro potencionální produkci bioethanolu

Za rok 2018 bylo vyprodukováno asi 800 tisíc tun podnikových odpadů, které by měly být vhodné pro produkci bioethanolu. Jak je uvedeno v tabulce č. 6.8 Jedná se zejména o odpady z lesnictví a zemědělství, spolu s papírovým odpadem, odpady papírenského průmyslu a některé obalové odpady. Největší objem představuje v případě rozdělení odpadů dle druhů odpadů papírové/lepenkové obaly, které za rok 2018 představovaly kolem 425 tisíc tun podnikových odpadů a jako druhý nejvýznamnější zdroj papír a lepenka samotné s téměř 120 000 tun. Dále mají výrazný podíl dřevěné odpady, které zařazeny v několik druhích odpadů, představovaly dohromady asi 160 tisíc tun. Významný podíl představoval také odpad ze třídění papíru, který představoval objem asi 65 tisíc tun, spolu výmětem z odpadního papíru, ten byl vyprodukovan v objemu 15 tisíc tun. Asi 19 tisíc tun dále představoval odpad z rostlinných pletiv a 648 tun odpady z destilace lihovin (Český statistický úřad 2019).

6.5.4 Neurčité využitelné odpady za rok 2018

Skupiny vyprodukovaných odpadů, které jsou uvedené v tabulce 6.9, pravděpodobně využitelné pro produkci buď bioethanolu, nebo bionafty, vzhledem k jejich obecnému pojmenování není však možné zcela určit pro výrobu, kterého paliva by bylo možné je využít. Jedná se například o podnikový směsný komunální odpad, kterého bylo vyprodukováno téměř 400 tisíc tun. Jiný biologicky rozložitelný odpad s objemem kolem 69 tisíce tun, různý odpad z kuchyní, který představoval přes 17 tisíc tun a jiné organické odpady, kterých bylo asi téměř 5 tisíc tun. (Český statistický úřad 2019)

6.5.5 Komunální odpad s potencionálním použitím pro produkci biopaliva

V roce 2018 bylo podle Českého statistického úřadu z celkového objemu vyprodukovaného odpadu na 1,9 milionu tun biologicky rozložitelného odpadu. Tento udávaný celkový objem však není zcela rozdělen do odpadových skupin a tím pádem není možné určit, pro které druhy biopaliva je možné tyto odpady použít, ale je velmi pravděpodobné, že podstatnou část tohoto odpadu, je možné za účelem produkce biopaliv použít. Pravděpodobně je již pro tyto účely alespoň část vyprodukovaného odpadu používána. Podle tabulky 6.5 bylo za účelem využití jako paliva, nebo pro produkci energie využito přes 610 tisíc tun odpadu v roce 2018 a je možné, že produkce biopaliv je v tomto čísle zahrnuta také (Český statistický úřad 2019).

Tabulka 6.8 Jednotlivé skupiny odpadů využitelné pro produkci bioethanolu v tunách
Zdroj dat: Český statistický úřad

Využitelné podnikové odpady	2018
020103-Odpady rostlinných pletiv	19 002
020107-Odpady z lesnictví	1 683
030101-Odpadní kůra a korek	720
030104-Piliny, hobliny, dřevo s NL	1 271
030105-Piliny, hobliny, dřevo bez NL	60 047
030301-Odpadní kůra a dřevo	2 063
030307-Výmět z odp. papíru	15 073
030308-Odp. ze třídění papíru	65 755
150101-Papírové/lepenkové obaly	424 755
150103-Dřevěné obaly	54 875
170201-Dřevo	30 769
200101-Papír a lepenka	119 294
200137-Dřevo s NL	21
020702-odpady z destilace lihovin	648
200137-Dřevo s NL	10 346

Tabulka 6.9 Neurčité podnikové odpady využitelné pro produkci biopaliv v roce 2018
Zdroj dat: Český statistický úřad

Využitelné podnikové odpady	2018
160305-Organické odp. s NL	2 154
160306-Organické odp. bez NL	2 730
200108-Biolog.rozl.odp. z kuchyní	17 444
200201-Biologicky rozložitelný odp.	68 550
200301-Směsný komunální odpad	399 869

7 Udržitelnost produkce biopaliv druhé generace

Tato kapitola se věnuje některým problémům a požadavkům spojeným s produkcí biopaliv II. generace. Rovněž jsou zde uvedeny pohledy na podobnou problematiku z jiných prací.

7.1 Ekonomické požadavky a důsledky

Zařízení pro produkci biopaliv II. generace by mělo stát v rozmezí 125-250 milionů USD. V případě rozvinutých zemí je tato investice přiměřená, ale v případě rozvojových zemí jako je Kamerun nebo Tanzanie by potřebné finanční investice mohly být překážkou. Možnosti domácích investic jsou značně omezené a značné administrativní a správní problémy mohou výrazně snižovat ochotu zahraničních společností provádět velké investice v těchto zemích. Velká poptávka po surovinách výrobním závodem pro produkci biopaliv druhé generace může v případě biomasy dosahovat i 600 tisíc tun ročně a s tím jsou neodvratně spojené požadavky na komplexní logistické systémy a solidní infrastrukturu, jinak není možné, aby byly potřebné suroviny za konkurenceschopné ceny. Tento požadavek značně omezuje země jako jsou Indie, Kamerun a jim podobné, kde je převaha malých zemědělských podniků. Logistickou náročnost zde omezuje špatná infrastruktura. Rovněž posouzení nákladů na zemědělská rezidua je v zemědělství a lesnictví značně obtížné vzhledem k neexistenci trhů pro tyto suroviny, ale situace by se měla zlepšit. Přesto v několika málo případech, kdy se jako suroviny tyto zbytky již používají, je jejich cena přiměřená a jsou tedy značně atraktivními surovinami. Celkově by tato paliva mohla být přínosem, protože by došlo k přidání hodnoty na vedlejší produkty. To by například v případě zemědělství mohlo snížit nutnost podpory menších zemědělců v některých, zejména rozvojových zemích, zde však produkce biopaliv druhé generace naráží na výše zmíněnou infrastrukturu a financování spolu s nedostatkem kvalifikované pracovní síly. (Eisentraut 2010)

7.2 Potencionální dopady na životní prostředí a bilance skleníkových plynů

Dopady produkce biopaliv druhé generace na životní prostředí se značně liší v závislosti na konverzní trase, surovinách a podmínkách pro dané místo (klíma, typ půdy, obhospodařování plodin atd.). Jednou z hlavních hnacích sil propagace biopaliv je potenciál možného snížení emisí CO₂ v průběhu životního cyklu nahrazením fosilních paliv. Biopaliva mohou snižovat produkci skleníkových plynů, v případě bioethanolu v rámci životního cyklu biopaliva až o 60-120 %, ale v případě biomasy toto číslo nezahrnuje emise v případě nepřímé změny ve využívání půdy. Proto je v případě pěstování energetických plodin pro produkci biopaliv důležité minimalizovat tyto nepřímé změny ve využívání půdy. Pokud dochází k využívání zbytků, tak je nepřímá změna ve využití půdy minimalizována. Může k nim však docházet v případě kdy zbytky původně určené například jako krmivo pro zvířata, jsou využity pro produkci biopaliv. V tomto případě je nutné v této roli nahradit zbytky původně vyhrazené pro tento účel plodinami pěstovanými na další půdě (Eisentraut 2010).

7.3 Další rizika biopaliv druhé generace

V případě plodin využívaných jako základní surovina pro produkci biopaliv druhé generace, může kromě změn ve využívání půdy docházet k dalším rizikům. Tyto často netradiční a nepotravinářské plodiny mohou být invazivní, a i přes vyšší výnosy mohou způsobit poškození ekosystémů. V případě zemědělských odpadů může dojít k nadbytečnému odstraňování rostlinných zbytků z půdy, může docházet například k poškození kvality půdy, nebo vodních toků, proto je nutné při použití lignocelulózového materiálu se vyvarovat narušení dlouhodobé stability půdy a obsahu organických látek. V případě ostatních využitelných odpadů a zbytků, jako jsou oleje na vaření a jim podobné suroviny, které v porovnání s panenskými zdroji nemají dopad na nepřímou změnu ve využívání půdy, je nutné zajistit, aby do produkce vstupovaly pouze originální materiály. Požadavky na tyto materiály by měly být přísné, ale také dostatečně pružné, aby byl zajištěn jejich široký sortiment (Golden 2016).

7.4 Udržitelnost podle Zah et al. (2010)

Podle Zah et al. (2010), který se udržitelností biopaliv zabýval, mají ze surovin pro produkci biopaliv II. generace nejvyšší potenciál zejména odpadní suroviny jako bioodpad, hnůj, dřevo, a to zejména díky relativně nízkým vedlejším důsledkům při jejich používání. Tyto suroviny jsou ve Švýcarsku, kterým se zejména zabýval, k dostání, a proto by mohly podpořit energetickou nezávislost a vytváření místních hodnot. Co se týče udržitelnosti plodin pro produkci biopaliv I. generace a plodin přímo pěstovaných pro výrobu II. generace, je udržitelnost nepříliš příznivá. Produkce obou generací biopaliv má nepříznivý vliv na biodiverzitu a zabírání půdy. Jen ve Švýcarsku bylo v roce 2006 potřeba na osobu o 27 % více zemědělské půdy, než je na světě k dispozici v průměru. A tato potřeba bude růst spolu s poptávkou po pěstovaných surovinách pro produkci biopaliv. Co se týče konverzních technologií, zde bude udržitelnost relativně konstantní. Technologie zde bude mít sice menší enviromentální dopady, ale ty budou kompenzovány vyššími náklady a nižší energetickou účinností v porovnání s ropnými rafineriemi. Co se využívání paliv týče mají biopaliva II. generace vyšší udržitelnost než fosilní paliva a biopaliva I. generace, ale jejich efektivita je podmíněná nutností vývoje spalovacích motorů k efektivnějšímu spalování paliv a je také závislá na chování spotřebitelů a vládních regulacích.

7.5 Biopaliva II. generace podle Sims et al. (2010)

Podle Sims et al. (2010), který se zabýval hlavně ethanolem, při produkci biopaliv II. generace stále zůstávají technologické bariéry. Výrobní cena je značně nejistá a liší se v závislosti na použitých surovinách. Není zde jasná nejlepší technologická cesta mezi konkurujícími si technologiemi (biochemickou a termochemickou). I v případě, že ceny ropy přesáhnou 80 USD za barel, biopaliva II. generace nebudou konkurenceschopná bez státní podpory. Stále jsou nutné velké investice do výzkumu, vývoje a stavby různých demonstračních zařízení, aby bylo možné zajistit budoucí produkci některých surovin. V případě, že tyto podmínky budou splněny, mělo by dojít k postupnému přechodu z biopaliv I. generace na II. generaci, ovšem produkce bioethanolu z cukrové třtiny pravděpodobně v mnoha státech zůstane.

8 Závěr

Použití biopaliv II. generace se nejeví jako příliš problémové, pro většinu z nich se bezesporu odbyt najde a v mnoha případech jsou tato paliva již v běžné praxi používána. Technické bariéry, které představovaly překážku v jejich produkci byly v mnoha případech překonány, ale i přes jejich často příznivější vlastnosti, zatím nemohou bez státní podpory cenově konkurovat fosilním palivům. Tento stav se bezpochyby bude časem měnit. Další možnou překážku by mohla představovat konkurence, která by v některých oblastech uplatnění těchto biopaliv, mohla být představována technologiemi využívající zcela jiných principů a zdrojů, například založené na elektřině nebo vodíku. Celkové srovnání těchto technologií s biopalivy by mohl být velice zajímavý námět pro další výzkum.

Jako nejméně vhodné, se pro použití v dopravě, z paliv uvedených v této práci, jeví bio-oleje. V jejich současném stavu zatím nejsou vhodné pro využití v automobilových motorech díky celé řadě negativních vlastností. Mimo automobilové motory mají i v jejich současném stavu potenciál, a to ve více „statických“ uplatnění. I přes to, že parametry bio-olejů zaostávají za svými fosilními protějšky, mohou nahradit fosilní paliva při produkci tepla a energie. Rovněž je možné z nich dalším zpracováním získat další cenné suroviny pro chemický průmysl. Technologie jejich produkce je pyrolýza, která je lidstvu známa, v současnosti zvládnutá a pro produkci lze podobně jako u ostatních biopaliv II. generace použít celou řadu zemědělských odpadů.

Biobutanol má při použití jako biopalivo ve spalovacích motorech vhodné vlastnosti, lepší než ethanol, díky kterým je možné jej považovat za vhodného kandidáta jako příměs do konvenčních paliv a vysoko-obsahových směsí, nebo pro jeho čisté spalování. Rovněž došlo v posledních letech ke zlepšení možností jeho produkce a suroviny, které jsou nutné pro jeho výrobu jsou totožné s bioethanolem. Přes jeho kvality, které překonávají v mnoha ohledech bioethanol se nabízí otázka, zda je vhodné do oběhu paliv přidat další palivo, které potencionálně potřebuje jiné úpravy motorů a konkuruje v surovinách bioethanolu, který je běžně jako biopalivo, nebo příměs poněkud více „zaběhnutý“ v porovnání s biobutanolem. Proto se může nabízet otázka, zda je vhodné produkovat dva relativně podobné produkty, z nichž jeden sice zaostává v parametrech, ale je již na trhu více ustanoven, nebo ten, který sice má lepší parametry, ale není zdaleka tak běžný. V případě nutnosti uspokojení poptávky po biobutanolu, pro použití jako paliva, může dojít ke konkurenci nejen obchodní, ale i v případě surovin. Dále by zejména při použití vysokoobjemových směsí mohlo docházet ke zhoršení standardizace v oblasti spalovacích motorů, ale tento problém v současnosti není pravděpodobně příliš významný.

Bioethanol je již jako biopalivo používán řadu let. Jeho vlastnosti sice zaostávají za konvenčním benzínem, například má nižší výhřevnost, se kterou je spojená vyšší spotřeba, ale emise při spalování jsou o něco výhodnější. Totéž není možné tvrdit o celkovém životním cyklu I. generace tohoto biopaliva, který je často energeticky nevýhodný, vzhledem k tomu, že je často nutné do tohoto cyklu dodávat energii v podobě fosilních paliv, ale s příchodem bioethanolu II. generace by mělo, zejména při využití odpadů dojít k výrazné redukci skleníkových plynů za tento cyklus. V případě použití v upravených zážehových motorech pro spalování směsí s vysokým podílem ethanolu si upravený motor ponechává možnost spalovat stále klasický benzín, což neplatí v případě motorů zážehových. Tyto motory v případě úprav

pro spalování směsí bioethanolu ztrácí možnost spalovat konvenční naftu, proto si nemyslím, že mimo specializované flotily vozidel (MHD apod.) se nejeví použití vysokého obsahu ethanolu v naftě jako vhodné. V případě nízkoprocentních směsí ethanolu s naftou se ukázaly určité pozitivní důsledky, zde ale praktické využití naráží na technické problémy spojené se špatnou mísitelností paliv. Produkce bioethanolu II. generace již je technologicky zvládnuta, svědčí o tom zejména rostoucí počet komerčních zařízení pro jeho produkci.

Motorová nafta z FT syntézy se ukazuje jako schopné palivo. Mnohé její parametry překonávají běžnou naftu, její spalování je čistší a produkce vychází z již dobře porozuměné Fischer-Tropschovy syntézy. Proto by v případě komerční produkce mohla představovat solidní biopalivo. Může však docházet ke konkurenci s ostatními zařízeními, která využívají lignocelulóзовou biomasu. Technologie produkce je nadále nákladná a v praxi se zatím nesečkala s komerčním úspěchem.

Hydrogenované rostlinné oleje většinou parametrů překonávají klasická paliva, jsou schopná využívat již existující infrastrukturu a úpravy vznětových motorů pro jejich spalování jsou čistě optimální pro maximalizaci potenciálu paliva, zejména další snížení emisí, které jsou však i při spalování bez úprav nižší, než například u paliv EN 590, které je již velice kvalitní palivo. Pro jejich produkci je možné použít širokou řadu surovin. Kromě olejů potravinářských plodin je rovněž možné používat různé nepotravinářské plodiny, a také volné mastné kyseliny a již použité kuchyňské tuky a oleje. Určitou nevýhodu představuje poněkud drahá produkce, přesto jsou tato paliva již komerčně produkována a v případě jejich dalšího technologického vývoje lze očekávat pokles ceny.

S kritérii udržitelnosti by biopaliva II. generace neměla mít výrazné potíže, a to zejména v případě, že při jejich produkci bylo použito některých druhů odpadů z dlouho zaběhnutých hospodářských plodin a živočišných odpadů, v těchto případech by mělo dojít k úspoře skleníkových plynů, jak je zákonem žádáno. K problémům může dojít při využívání pěstované nepotravinové biomasy, například při zavedení některých cizích rychle rostoucích druhů.

V případě použití odpadů jako vstupních surovin mohou biopaliva II. generace fungovat v rámci cirkulární ekonomiky. Odpady lze považovat za lepší vstupní suroviny než pěstované nepotravinářské plodiny pro produkci biopaliv, nejeví se jako vhodné začínat s pěstováním energetických plodin, v případě, kdy jsou stále k dispozici zdroje vhodného odpadu. Pro zdroje některých vstupních surovin existují rizika, která není příliš možné ovlivnit, může dojít k neúrodě, nebo jiné přírodní katastrofě, která by mohla mít vážné důsledky na zdroje surovin určených pro produkci.

Odpady vyprodukované v České republice, které jsou vhodné pro produkci biopaliv II. generace, představují relativně rozmanité spektrum. Jejich v současnosti produkované objemy by měly dostačovat k zásobení několika výrobních závodů, pokud by došlo k jejich přednostnímu využití jako vstupních surovin.

9 Literatura

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

Banković-Ilić IB, Stojković IJ, Stamenković OS, Veljković VB, Hung YT. 2014. Waste Animal Fats as Feedstocks for Biodiesel Production. Renewable & Sustainable Energy Reviews **32**:238-254

Český statistický úřad. 2019. Produkce, využití a odstranění odpadů za období 2018. Český statistický úřad, Praha. Available from: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2018#> (accessed February 2020)

Demirbas A, 2011. Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. Energy Conversion and Management. **52**:1280-1287

Eisentraut A. 2010. Sustainable production of second-generation biofuels: Potential and perspectives in major economies and developing countries. OECD Publishing. Paris

El-Mashad HM, Zhang R. 2010. Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. Bioresource technology. **101**:4021-4028

Erkkilä K, Nylund NO, Hulkkonen T, Tilli A, Mikkonen S, Saikkonen P, Mäkinen R, Amberta A. 2011 Emission performance of paraffinic HVO diesel fuel in heavy duty vehicles. "SAE Technical Papers 2011-01-1966 doi: 10:4271/2011-01-1966

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

García V, Pääkkilä J, Heikki O, Esa M, Keiski. Riitta L. 2011. Challenges in biobutanol production: How to improve the efficiency? Renewable and Sustainable Energy Reviews **15**:964-980.

Golden J. 2016. Second generation biofuel markets: State of play, trade and developing country perspectives. United Nations Publications

Hägerdall HB, Galbe M, Gorwa-Grauslund MF, Lidén G, Zacchi G. 2006. Bio-ethanol – the fuel of tomorrow from the residues of today. Trends Biotechnol. **24**:549–556

Hönig V, Kotek M, Mařík J. 2014. Use of butanol as a fuel for internal combustion engines. Agronomy Research **12**:333-340

Hromádko Ja, Hönig V, Hromádko Jb, Miler P, Schwarzkopf M. 2009 Využití etanolu ve vznětových motorech. *Listy cukrovarnické a řepařské* **1**:24-27

Hromádko Ja, Hromádko Jb, Miler P, Hönig V, Cindr M. 2010. Technologie výroby biopaliv druhé generace, *Chemické listy* **104**:784-790

Hromádko Ja, Hromádko Jb, Miler P, Hönig V, Štěřba P. 2011 Využití bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech. *Chemické listy* **105**:122-128

CENIA. Informační systém odpadového hospodářství ISOH. Ministerstvo životního prostředí. Available from <https://www.cenia.cz/odpadove-a-obehove-hospodarstvi/isoh/> (accessed April 2020)

Institut cirkulární ekonomiky. Cirkulární ekonomika. Available from <https://incien.org/cirkularni-ekonomika/>. (Accessed: February 2020)

Knothe G, Krahl J, Gerpen J. 2005. *The Biodiesel Handbook*, AOCS Press, Champaign-Illinois

Kováč D, Lederer J, Hanika J, Veselý V, Tukač V. 2012. Využití odpadů z výroby biopaliv pro výrobu vodíku a syntézních plynů procesem parciální oxidace. Page 573 in Chuchvalec P, editor. *Chemické listy* **106**:572-578

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

Liguori R, Faraco V. 2016. Biological processes for advancing lignocellulosic waste biorefinery by advocating circular economy. *Bioresource Technology* **215**:13-20

Loseva NI, Niyazbakiev II, Silman AV. 2019. Fisher–Tropsch synthesis technology evolution. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 663. DOI 012067. 10.1088/1757-899X/663/1/012067

Malherbe S, Cloete T. 2002. Lignocellulose biodegradation: Fundamentals and applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. **1**:105-114.

Miler P, Hromádko Ja, Hromádko Jb, Hönig V, Schwarzkopf M. 2009 Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85. *Listy cukrovarnické a řepařské* **5-6**:24-26

Ministerstvo životního prostředí. © 2008 Biologicky rozložitelné odpady. Available from https://www.mzp.cz/cz/biologicky_rozlozitelne_odpady (accessed January 2020)

Ministerstvo životního prostředí, © 2008, Třídění upotřebených jedlých olejů a tuků v obcích. Available from https://www.mzp.cz/cz/trideni_oleju_tuku_obce(accessed January 2020)

Ministerstvo životního prostředí. 2016. Informační Systém Odpadového Hospodářství. Available from <https://isoh.mzp.cz/VISOH/Main/PrednastaveneZobraz> (accessed February 2020)

Mohan D, Pittman CU, Steele PH. 2006. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-Oil: A Critical Review. *Energy & Fuels* **20**:848-889

Pandey A. 2003, Solid-state fermentation, *Biochemical Engineering Journal* **13**:81–84.

Perlack RD, Wright LL, Turhollow AF, Graham RL. 2005. Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a BillionTon Annual Supply, US Department of Agriculture and US Department of Energy. Washington D.C.

Pospíšil M, Šebor G, Šimáček P, Mužíková Z. 2012 Nové trendy výroby biopaliv a jejich využití v dopravě. *Chemické listy* **106**:953-960

PubChem. 1-Butanol. U.S. National Library of Medicine. Available from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Butanol> (accessed February 2020)

PubChem. Ethanol. U.S. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information. Available from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethanol> (accessed February 2020)

PubChem. Methanol. U.S. National Library of Medicine Available from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methanol> (accessed February 2020)

Sanjid A, Masjuki HH, Kalam MA, Ashrafur Rahman SM, Abedin MJ, Palash SM. 2013 Impact of palm, mustard, waste cooking oil and *Calophyllum inophyllum* biofuels on performance and emission of CI engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **27**:664-682

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

Sims REH, Mabee W, Saddler JN, Taylor M. 2010. An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource Technology* **101**:1570-1580

Evropský parlament, Rada Evropské unie. 2003. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES ze dne 8. května 2003 o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě. Brusel.

Evropský parlament, 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

Šebor G, Pospíšil M, Žákovec J. 2006. Technicko-ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Praha

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

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/> (accessed April 2020)

Xiu S, Shahbazi A. 2012. Bio-oil production and upgrading research: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews **16**:4406-4414

Zah R, Binden C, Bringezu S, Jürgen R, Schmid A, Schütz H, 2010. Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels, vdf Hochschulvlg, Zürich.

Parlament České republiky. 2001. Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. Praha

Parlament České republiky. 2012. Zákon č. 201/2012 Sb., zákon o ochraně ovzduší ve znění zákona č. 64/2014 Sb., zákona č. 87/2014 Sb., zákona č. 382/2015 Sb., zákona č. 369/2016 Sb., zákona č. 369/2016 Sb., zákona č. 183/2017 Sb. a zákona č. 225/2017 Sb. Praha

9.1 Seznam obrázků

Obrázek 4.1 Základní schéma Fischer-Tropschovy syntézy23
Podle: Liu M. 2010. Fischer-Tropsch Sustainability. Stanford University. Available from: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/liu1/>(accessed April 2020)

Obrázek 4.2 Porovnání principu cirkulární ekonomiky s ekonomikou lineární.....24
Podle: Institut cirkulární ekonomiky. Cirkulární ekonomika. Available from <https://incien.org/cirkularni-ekonomika/>. (Accessed: February 2020)

Obrázek 5.1 Schéma výroby butanolu z biomasy.....25
podle: García V, Pääkkilä J, Heikki O, Esa M, Keiski. RL 2011. Challenges in biobutanol production: How to improve the efficiency? Renewable and Sustainable Energy Reviews **15**:964-980.

Obr. 5.2. Blokové schéma výroby bioethanolu z lignocelulosoové hmoty.....28
Zdroj: Pospíšil M, Šebor G, Šimáček P, Mužíková Z. 2012 Nové trendy výroby biopaliv a jejich využití v dopravě. Chemické listy **106**:953-960

Obrázek 5.3 Blokové schéma výroby kapalných biopaliv.....38
Autor: Šebor G, Pospíšil M, Žákovec J. 2006. Technicko-ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Praha

Obrázek 5.4 Emise HVO a EN 590-30 v porovnání s EN 590. Základní načasování vstřikovávání.....40
Zdroj: 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.

Obr. 5.5 Zjednodušené reakční schéma hydrogenace rostlinného oleje, který je reprezentován molekulou trioleinu.....41
Autor: Šimáček P, Vrtiška D, Mužíková Z, Pospíšil M. 2017 Motorová paliva vyráběná hydrogenací rostlinných olejů a živočišných tuků. Chemické Listy **111**:206-212

9.2 Seznam tabulek

Tabulka 4.1 Typická kompozice různých lignocelulózových materiálů.....21
Zdroj dat: Malherbe S., Cloete T. 2002. Lignocellulose biodegradation: Fundamentals and applications. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. **1**:105-114

Tabulka 5.1 porovnání základních parametrů ethanolu, butanolu a konvenčního benzínu.....26
Zdroj dat: Hömig V, Kotek M, Mařík J. 2014 Use of butanol as a fuel for internal combustion engines. Agronomy Research **12**:333-340

Tabulka 5.2 Naměřené parametry směsi butanolu s benzínem.....27
Zdroj dat: Hömig V, Kotek M, Mařík J. 2014 Use of butanol as a fuel for internal combustion engines. Agronomy Research **12**:333-340

Tabulka 5.3 Výsledné emise testovaných paliv27

Zdroj dat: Hönig V, Kotek M, Mařík J. 2014 Use of butanol as a fuel for internal combustion engines. *Agronomy Research* **12**:333-340

Tabulka 5.4 Porovnání vlastností motorové nafty, benzínu a bioethanolu.....30

Zdroj dat: Hromádko Ja, Hromádko Jb, Miler P, Hönig V, Štěrbá P. 2011 Využití bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech. *Chemické listy* **105**:122-128

Tabulka 5.5 výsledné měrné produkce jednotlivých složek emisí.....31

Zdroj dat: Hromádko Ja, Hönig V, Hromádko Jb, Miler P, Schwarzkopf M. 2009 Využití etanolu ve vznětových motorech. *Listy cukrovarnické a řepařské* **1**:24-27

Tabulka 5.6 vlastnosti olejů.....33

Zdroj dat: Xiu S, Shahbazi A. 2012. Bio-oil production and upgrading research: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16**:4406-4414

Tabulka 5.7 Metody pyrolýzy a jejich varianty.....34

Zdroj dat: Xiu S, Shahbazi A. 2012. Bio-oil production and upgrading research: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16**:4406-4414

Tabulka 5.8 obecný popis technologií pro vylepšování bio-olejů.....35

Zdroj dat: Xiu S, Shahbazi A. 2012. Bio-oil production and upgrading research: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16**:4406-4414

Tabulka 5.9 Vlastnosti syntetické a klasické motorové nafty (MN).....36

Zdroj dat: Šebor G, Pospíšil M, Žákovec J. 2006. Technicko-ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Praha*

Tabulka 5.10 Typické vlastnosti HVO, dieselového paliva dle normy EN 590:2004, GTL a FAME39

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

Tabulka 6.1 Produkce odpadů podle VISOH.....43

Zdroj dat: Veřejný Informační systém odpadového hospodářství

Tabulka 6.2 Celková produkce odpadu v České republice za rok 2018.....43

Zdroj dat: Český statistický úřad

Tabulka 6.3 Objemy produkce podnikových odpadů podle odvětví v letech 2006, 2015-2018.....44

Zdroj dat: Český statistický úřad

Tabulka 6.4 Objem komunálního odpadu v letech 2015-2018	44
Zdroj dat: Český statistický úřad	
Tabulka 6.5 Nakládání s komunálními odpady 2015-2018	45
Zdroj dat: Český statistický úřad	
Tabulka 6.6 objem zpracovávaných odpadů v roce 2018.....	45
Zdroj dat: Český statistický úřad	
Tabulka 6.7 jednotlivé skupiny odpadů využitelné pro produkci bionafty v tunách.....	46
Zdroj dat: Český statistický úřad	
Tabulka 6.8 Jednotlivé skupiny odpadů využitelné pro produkci bioethanolu v tunách.....	47
Zdroj dat: Český statistický úřad	
Tabulka 6.9 Neurčité podnikové odpady využitelné pro produkci biopaliv v roce 2018.....	47
Zdroj dat: Český statistický úřad	