

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Chemické a technologické zhodnocení biopaliv II. generace

Bakalářská práce

Autor práce: Lucie Lavičková

Obor studia: Výživa a potraviny

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

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 3. května 2021

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu doc. Ing. Vladimíru Hönigovi, Ph.D. et Ph.D., vedoucímu mé práce, za odborné rady, pomoc a za veškerý čas, který mi věnoval. Dále bych ráda poděkovala paní Ing. et Ing. Kateřině Svobodové z ORLEN UniCRE za odborné konzultace a děkuji také své rodině a přátelům za podporu, kterou mi projevovali po celou dobu studia.

Chemické a technologické zhodnocení biopaliv II. generace

Souhrn

Tato kompilační bakalářská práce se zabývá tématem biopaliv 2. generace, technologiemi jejich výroby a snahou o náhradu nedokonalých biopaliv 1. generace. Práce je dále zaměřena na oběhové hospodářství a zpracování odpadů v souvislosti s biopalivy 2. generace. Literární rešerše je rozdělena do čtyř částí. V první části jsou vysvětleny pojmy jako ropa, pohonné hmoty, paliva, obnovitelné zdroje či biomasa. Druhá část je věnována strategickým cílům v oblasti biopaliv. Popsány jsou strategie Evropské unie zaměřené na snižování emisí skleníkových plynů či na prevenci globálního oteplování včetně dekarbonizace energetického systému do roku 2050, maximální využívání energie z obnovitelných zdrojů a podpory udržitelného hospodářství. Národní strategie poté odrážejí naplnění evropských cílů i národních cílů České republiky. Následuje související česká legislativa a v závěru této části je popsána problematika odpadu, jeho klasifikace v České republice a potenciál pro výrobu biopaliv. Biopaliva obecně, jejich environmentální aspekty, klasifikaci a porovnání jednotlivých generací, rozebírá třetí část práce. Ve čtvrté části následuje samotné zhodnocení biopaliv 2. generace se zaměřením na požadavky, suroviny pro jejich výrobu, technologie jejich výroby, ekonomické zhodnocení a na trendy a vyhlídky v oblasti obnovitelné energie a oběhového hospodářství na evropské úrovni. Závěrem bakalářské práce je fakt, že přechod k obnovitelným zdrojům energie je nevyhnutelný jak z hlediska životního prostředí, tak z hlediska konkurenčního boje s potravinami a souvisejícím nárůstem jejich cen. Využívání biopaliv 1. generace je dlouhodobě neudržitelné a jejich nahrazení pokročilejšími biopalivy je zásadní. Biopaliva 2. generace jsou vyráběna zejména z odpadních materiálů a podpora jejich většího využití reaguje na stanovené evropské cíle oběhového hospodářství a dekarbonizaci dopravy.

Klíčová slova: biopalivo, mobilita, oběhové hospodářství, odpad, obnovitelné zdroje energií

Chemical and technological evaluation of biofuels 2nd generation

Summary

This compilation bachelor's thesis deals with the topic of 2nd generation biofuels, the technological aspects of their production and the efforts of replacing the 1st generation biofuels. Thesis is also focused on circular economy and waste processing related to 2nd generation biofuels. The literature search is divided into four parts. In the first part, the basic concepts such as petroleum, fuel, renewable resources or biomass are explained. The second part is dedicated to strategic goals on the field of biofuels. The European Union strategies aimed on reducing greenhouse gases emissions or preventing global warming are described, including the decarbonization of the energy system before the year 2050, maximizing the utilization of renewable energy and promotion of the sustainable economy. The national strategies reflect the fulfillment of the European goals, as well as national goals of the Czech Republic. Related Czech legislation is also presented. In the last part of this section, the problematics of waste, its classification in the Czech Republic and potential for biofuel production is described. Biofuels in general, their environmental aspects, classification and comparison of individual biofuel generations are presented in the third part of the thesis. The description and evaluation of the 2nd generation biofuels, focused on specifications, feedstock and the production technology is presented in greater detail. Economical evaluation of their production, the trends and prospects for renewable energy and circular economy on European level is also included. The latest development suggests that the shift to renewable resources of energy is inevitable considering both environment and competitive struggle with the food industry and related price growth. Further utilization of 1st generation biofuels is unsustainable in long-term and their substitution with more advanced biofuels is essential. The 2nd generation biofuels are produced from waste materials, the promotion of their greater utilization responds to defined European goals of circular economy and decarbonization of the transportation.

Keywords: biofuel, mobility, circular economy, waste, renewable energy resources

Obsah

1 Úvod.....	9
2 Cíl práce	10
3 Literární rešerše.....	11
3.1 Vymezení pojmů	11
3.1.1 Ropa.....	11
3.1.1.1 Zpracování ropy	11
3.1.1.2 Dovoz ropy do ČR.....	11
3.1.2 Pohonné hmoty.....	12
3.1.3 Paliva	12
3.1.3.1 Tuhá paliva	12
3.1.3.2 Kapalná paliva.....	12
3.1.3.3 Plynná paliva.....	13
3.1.3.4 Fosilní paliva.....	13
3.1.3.5 Biopaliva.....	13
3.1.3.6 Alternativní paliva.....	14
3.1.4 Obnovitelné zdroje energie.....	14
3.1.5 Biomasa	14
3.1.5.1 Vznik biomasy	15
3.1.5.2 Druhy biomasy.....	15
3.1.5.3 Technologie přeměny biomasy.....	16
3.1.5.4 Využití biomasy	16
3.2 Strategické cíle v oblasti biopaliv.....	16
3.2.1 Strategie Evropské unie	17
3.2.1.1 Směrnice RED II	17
3.2.1.2 Zelená dohoda pro Evropu (Green Deal)	18
3.2.1.3 Pařížská dohoda (Paris agreement)	18
3.2.1.4 ILUC (Indirect Land Use Change).....	19
3.2.1.5 Energetický plán do roku 2050 (Energy roadmap 2050)	20
3.2.1.6 Dekarbonizace energetického systému.....	20
3.2.1.7 Oběhové hospodářství	22
3.2.2 Národní strategie	23
3.2.2.1 Politika druhotných surovin České republiky.....	23
3.2.2.2 Státní energetická koncepce.....	23

3.2.2.3	Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie	25
3.2.2.4	Strategický rámec Česká republika 2030	26
3.2.2.5	Dopravní politika České republiky pro období 2021-2027	26
3.2.2.6	Národní program snižování emisí ČR	26
3.2.2.7	Politika ochrany klimatu v ČR	27
3.2.2.8	Odpadové hospodářství	27
3.2.3	Legislativa České republiky	29
3.2.3.1	Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší	29
3.2.3.2	Nařízení vlády č. 189/2018 Sb., o kritériích udržitelnosti biopaliv ...	31
3.2.3.3	Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech	31
3.2.3.4	Nařízení vlády č. 352/2014 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015-2024	31
3.2.3.5	Vyhláška MŽP o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů.	32
3.3	Biopaliva	32
3.3.1	Environmentální aspekty	33
3.3.2	Druhy biopaliv dle využití	33
3.3.2.1	Vodík	33
3.3.2.2	Bioplyn	34
3.3.2.3	Bioethanol	34
3.3.2.4	Biobutanol	35
3.3.2.5	Bionafta	35
3.3.2.6	Hydrogenovaný rostlinný olej (HVO)	36
3.3.2.7	Bioolej	36
3.3.3	Rozdělení biopaliv dle generací a jejich porovnání	36
3.3.3.1	Biopaliva 1. generace	37
3.3.3.2	Biopaliva 2. generace	37
3.3.3.3	Biopaliva 3. generace	38
3.3.3.4	Porovnání biopaliv 1. a 2. generace	38
3.3.3.5	Porovnání biopaliv 2. a 3. generace	39
3.4	Zhodnocení biopaliv 2. generace	39
3.4.1	Požadavky na biopaliva 2. generace	39
3.4.2	Suroviny pro výrobu biopaliv 2. generace	40
3.4.2.1	Suroviny pro výrobu bioethanolu 2. generace	40
3.4.2.2	Suroviny pro výrobu bionafty 2. generace	42

3.4.3	Technologie výroby biopaliv 2. generace.....	44
3.4.3.1	Technologie výroby biopaliv 2. gen. biochemickou přeměnou.....	45
3.4.3.2	Technologie výroby biopaliv 2. gen. termochemickou přeměnou.....	48
3.4.4	Ekonomické zhodnocení.....	54
3.4.5	Trendy a vyhlídky	55
4	Závěr.....	59
5	Seznam literatury.....	60
5.1	Seznam obrázků	67
5.2	Seznam tabulek.....	67

1 Úvod

Výrazné využívání fosilních paliv, jejichž zdroje nejsou nevyčerpatelné, rostoucí poptávka po energii, růst emisí skleníkových plynů i cen pohonných hmot jsou faktory, které výrazně přispívají ke snaze nahradit fosilní paliva biopalivy (Nanda et al. 2018).

Biopaliva jsou zdroje energie uhlíkově neutrální. Hlavním cílem je nahrazení paliv z neobnovitelných zdrojů, kterými jsou například benzín či nafta, palivy z obnovitelných zdrojů, kterými jsou bioethanol či bionafta (Binod et al. 2019). Cílem Evropské unie je dosažení udržitelného oběhového hospodářství, dosažení nulové produkce emisí skleníkových plynů do roku 2050, využívání stále většího podílu energie z obnovitelných zdrojů. Tyto strategie jsou zakotveny v konkrétních Evropských dokumentech jako je Směrnice RED II, o obnovitelných zdrojích energie, Zelená dohoda pro Evropu, k dosažení snížení emisí skleníkových plynů, Pařížská dohoda, jejímž cílem je změna klimatu a další. Z těchto Evropských strategií se odvíjí i národní strategie České republiky, kterými jsou například Státní energetická koncepce, Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie nebo Politika druhotných surovin České republiky (MŽP 2020).

Biopaliva je možné rozdělit do 3 generací na základě surovin, ze kterých jsou vyráběna. Biopaliva 1. generace jsou vyráběna z potravinových surovin jako je obilí, kukuřice a další cukernaté plodiny, ze kterých je získáván zejména ethanol. Biopaliva 2. generace jsou vyráběna z nepotravinových surovin, lignocelulóзовé biomasy, lesního či zemědělského odpadu, potravinového odpadu či energetických plodin. Biopaliva 3. generace jsou vyráběna z řas či z čistírenských kalů. Snahou jak České republiky, tak Evropy je přechod od biopaliv 1. generace, kvůli kterým se vede boj o půdu a dochází ke zvyšování cen potravin, k pokročilejším biopalivům 2. případně 3. generace (Nanda et al. 2018).

Biopaliva 1. generace jsou v současné době úspěšně komercializována a snahou je dosáhnout plné komercializace i u pokročilých biopaliv. Zároveň je u biopaliv 1. generace velký problém konkurence s potravinářskými plodinami, protože v současné době jsou biopaliva 1. generace produkována ze všech biopaliv v největší míře (Binod et al. 2019).

Biopaliva 2. generace se vyrábí mnoha technologiemi. Snahou je vyrábět biopaliva vysoké kvality za přijatelné ceny. Prozatím je výroba biopaliv 2. generace poměrně nákladná a stále více se proto podrobuje výzkumu. Nejperspektivnějšími technologiemi výroby biopaliv jsou například zplyňování biomasy a odpadních produktů, zkapaňování odpadních produktů, pyrolýza odpadních produktů, transesterifikace triglyceridů, Fischer-Tropschova syntéza a další. Snahou je také znovuzpracování odpadních látek, bioodpadu z domácností nebo například použitého kuchyňského oleje ze stravovacích provozů či domácností (Bhatia et al. 2017).

2 Cíl práce

Cílem práce je stanovit možnosti využití odpadních materiálů pro výrobu biopaliv. Součástí je predikce trendu a vývoje v sektoru obnovitelných zdrojů energie a oběhového hospodářství a zhodnocení výroby biopaliv 2. generace. Ke stanovení tohoto cíle byly využity metody explanační, založené na vědeckých poznacích a výkladech.

3 Literární rešerše

3.1 Vymezení pojmů

V této kapitole jsou vymezeny základní pojmy uvádějící do problematiky biopaliv.

3.1.1 Ropa

Ropa je směs převážně uhlovodíkových látek. Uhlovodíky mají vysoký obsah energie a velkou výhřevnost, jež se udává okolo 40 MJ/kg. K těm nejlehčím patří methan, ethan, propan a butan (Matějovský 2005). Ropa je kapalina žluté až tmavě hnědé barvy s hustotou 0,72–1,05 kg/dm³. Kromě dominující složky, kterou jsou zmíněné uhlovodíky, obsahuje směs sloučeniny dusíku, kyslíku a síry. Má využití již od starověku a od začátku 20. století se stala velmi významnou v oblasti automobilové dopravy jako zdroj paliva pro spalovací motory. Od 60. let 20. století je považována za ukazatel životních podmínek a technické úrovně obyvatelstva. Mimo to, že je základní surovinou k výrobě paliv pro dopravu, je také důležitou surovinou pro výrobu plastů, léků, hnojiv nebo pesticidů. V některých zemích jsou především ropné produkty využívány také k výrobě elektřiny (Kameš 2012).

3.1.1.1 Zpracování ropy

Ropa je zpracovávána na ropné produkty v rafineriích. Základní technologií zpracování ropy je frakční destilace, kde dochází při atmosférickém tlaku k oddělení jednotlivých uhlovodíků podle jejich rozdílného bodu varu. Dalšími zpracovacími procesy ropy jsou atmosférická destilace, vakuová destilace, krakování či reformace. Atmosférická destilace probíhá ve vakuu. Ropa je zde zahřívána na 360 °C, přičemž dochází k přeměně ropy do kapalně a plynné fáze. Tento proces probíhá v 50–60 m vysokých destilačních věžích a dochází ke vzniku pěti frakcí. Jednotlivé frakce se oddělují podle stoupající teploty. Jsou to plyny (teplota do 30 °C), benzin (teplota 35–140 °C), střední destilát (teplota 150–250 °C), lehká topná nafta neboli motorová nafta (teplota 250–360 °C) a těžká topná nafta, zejména její zbytky (teplota nad 360 °C). Při vakuové destilaci dochází k zahřívání těžké ropné frakce za podtlaku do teploty 400 °C. Vznikají zbytky a mazací olej, který má další využití např. při stavbě silnic. Při procesu krakování dochází při zvýšeném tlaku ke zkracování molekulových řetězců těžké ropné frakce a dochází ke vzniku lehké ropné frakce. Posledním zmíněným procesem zpracování ropy je reformace, při které vznikají ještě kratší řetězce molekul, které jsou však více rozvětvené a vytvářejí velmi výkonnou ropnou frakci (Kameš 2012).

3.1.1.2 Dovoz ropy do ČR

V roce 2019 bylo do ČR dovezeno 7 737,7 tis. tun ropy, což je o 4 % více, než v roce 2018. Tab. 3.1 ukazuje vývoj dovozu ropy mezi roky 2010 a 2019 (MPO 2021). Hlavním zdrojem ropy pro ČR je Rusko. Z Ruska je ropa do ČR přepravována ropovodem Družba. Ropy z ostatních zdrojů jsou do ČR přepravovány ropovodem IKL (Ingolstadt-Kralupy-Litvínov) (Petroleum.cz 2021).

Tab. 3.1– Dovoz ropy do ČR v letech 2010–2019 (MPO 2021)

Rok	Množství (tis. t)	Rok	Množství (tis. t)
2010	7 727,90	2015	7 132,00
2011	6 925,50	2016	5 324,80
2012	7 074,60	2017	7 813,60
2013	6 551,90	2018	7 439,30
2014	7 370,40	2019	7 737,70

3.1.2 Pohonné hmoty

Pohonné hmoty, někdy nazývány paliva, jsou látky, využívané k pohonu motorů. Mezi nejpoužívanější pohonné hmoty patří benzín a nafta. Konkrétně motory s vnitřním spalováním (IC motory – Internal Combustion) jsou nepostradatelnou součástí pro růst a vývoj automobilového průmyslu. V současné době je stále většina pohonných hmot na bázi ropy. Poptávka po ropě stále roste a s ní rostou i ceny. A protože ropné zdroje nejsou neomezené a vyskytují se pouze v určitých světových zeměpisných oblastech, je nutné najít cestu alternativních paliv, která neohrozí stav stávajících motorů a zároveň bude šetrnější k životnímu prostředí (Kumar & Saluja 2020). Fosilní paliva jsou velmi neekologická a jejich spalování způsobuje velké globální problémy (Chen & Geng 2017). Pro IC motory jsou vhodnou náhradou konvenčních paliv (nafty či benzínu) právě bionafta a bioethanol. Tato biopaliva se používají ve směsi s kapalnými konvenčními palivy na bázi ropy a nevyžadují žádné významné změny v infrastruktuře dodávek a jejich distribuci (Kumar & Saluja 2020).

3.1.3 Paliva

Paliva jsou látky využívané pro teplo a energii, které se uvolňují při jejich spalování. Těmito látkami jsou například dřevo, uhlí, ropa nebo plyn. Energie se uvolňuje ve formě chemické nebo tepelné energie. Energie, kterou paliva svým spalováním poskytují, je využívána v průmyslu, výrobních procesech, ale také v domácnostech. Konkrétními typy paliv jsou benzín, nafta, methanol, propan, zemní plyn či vodík. Podle druhu a využití jsou paliva dělena na tuhá, kapalná, plynná, fosilní, alternativní a biopaliva (Toppr 2020).

3.1.3.1 Tuhá paliva

Tuhá paliva jsou pevné materiály, jako je uhlí, saze či dřevo, které jsou spalovány za účelem výroby energie. Jsou to jedny z prvních známých paliv, které jsou používány dodnes, a to zejména v domácnostech a průmyslu k topným účelům (Toppr 2020). Tuhá paliva jsou tvořena organickými a minerálními látkami. Právě organická hmota udává energetický obsah paliva. Z tuhých fosilních paliv má největší zásoby a zdroje uhlí (Spliethoff 2010).

3.1.3.2 Kapalná paliva

Kapalná paliva mají vysokou energetickou hustotu a skladovací stabilitu. To patří k jejich hlavním výhodám a skutečnosti, že jsou kapalná paliva využívána téměř ve všech

společenských odvětvích. Mají využití v dopravě, chemickém či teplárenském průmyslu. Kapalná paliva mohou být na bázi ropy, do popředí se však dostávají paliva z obnovitelných zdrojů na bázi biomasy, která by měla mít stejné, případně lepší vlastnosti než ropná paliva. Úplný přechod na paliva na bázi biomasy není v současné době realizovatelný, snahou však je, aby byla tato alternativa k ropným palivům využívána ve větší míře. Konkrétními kapalnými palivy jsou ropná paliva z neobnovitelných zdrojů. Z paliv získávaných z obnovitelných zdrojů jsou to bioethanol, bionafta, čistý rostlinný olej, hydrogenovaný rostlinný olej (HVO), biobutanol nebo dimethylether (DME) (Lackne et al. 2010).

3.1.3.3 Plynná paliva

Plynná paliva se za standartních podmínek vyskytují v plynném skupenství a pomocí potrubní sítě je snadné je přepravit na místo spotřeby (Toppr 2020). Tato paliva jsou buď extrahována z přírodních zdrojů nebo jsou vyráběna z uhlovodíků. Výhodou plynných paliv oproti pevným či kapalným je snadná manipulace, téměř žádný obsah minerálních nečistot, s čímž souvisí minimální nebo téměř žádná potřeba údržby sporáků a současně velká účinnost paliva. Jednou z nejběžnějších složek plynných paliv je methan. K jeho tvorbě dochází při zpracování organických materiálů z fosilních zdrojů i odpadních surovin. Methan je hlavní složkou hoření u bioplynu, zemního plynu i skládkového plynu, avšak syntetizovaná plynná paliva mají jako hlavní složku výhřevnosti vodík či oxid uhelnatý. V dopravě a v domácnostech je hojně využívaný zkapalněný ropný plyn (LPG), tvořený uhlovodíky propanem a butanem (Lackne et al. 2010).

3.1.3.4 Fosilní paliva

Fosilní paliva jsou uhlí, ropa a zemní plyn. Název fosilní vychází z jejich původu. Jsou to pozůstatky rostlin a živočichů v sedimentárních horninách. Dalším a dalším ukládáním těchto sedimentů se původní horniny dostávaly postupně do větších hloubek. Právě v těchto hloubkách za působení teplot a vyššího tlaku dochází k zuhelnování (Spliethoff 2010). Jejich rozvoj přišel s průmyslovou revolucí a byly velkou hnací silou technologického, sociálního i ekonomického rozvoje. Doposud mají fosilní paliva velký význam pro globální energetické systémy. Po čase zkoumání se však stále více zjišťují negativní dopady fosilních paliv. Při jejich spalování vzniká oxid uhličitý, který vstupuje do atmosféry a velmi výrazným způsobem ovlivňuje klimatické změny. Dochází ke znečištění ovzduší, které má negativní dopad nejen na lidské zdraví. I proto je snaha od fosilních paliv postupně ustupovat a vydat se jinou cestou, a poté, co budou snadno dostupné nízkouhlíkové zdroje energie (jaderné a obnovitelné), bude muset svět od fosilních paliv zcela upustit (Ritchie 2017).

3.1.3.5 Biopaliva

Biopaliva pocházejí z obnovitelných zdrojů energie, produkují výrazně menší množství toxických látek, čímž je možné dojít k výraznému až úplnému snížení produkce emisí skleníkových plynů a zlepšení kvality ovzduší. Zároveň mají biopaliva velmi podobné spalovací vlastnosti jako fosilní paliva. Biopaliva mají zároveň obrovský tržní potenciál, který je využit k plnění energetických požadavků jednotlivých zemí (Oumer et al. 2018).

3.1.3.6 Alternativní paliva

Alternativní paliva jsou paliva pocházející z obnovitelných zdrojů, která jsou využívána zejména kvůli snaze snížení emisí škodlivých plynů, ochraně životního prostředí a snaze zamezit globálnímu oteplování. Jsou to paliva, která neohrožují stav stávajících motorů a zároveň jsou šetrnější k životnímu prostředí. Zdroje fosilních paliv nejsou neomezené. Konkrétně velmi omezené jsou zásoby ropy, a proto je snaha o vývoj paliv z obnovitelných alternativních zdrojů. Tato paliva jsou společně nazývána jako biopaliva, protože pocházejí z biologických zdrojů, které byly vyprodukovány či vytěženy v blízké minulosti. Jsou 2 hlavní třídy alternativních biopaliv, a to bionafta do diesellových motorů a bioethanol do benzínových motorů (Lackner et al. 2010). Pro alternativní naftová paliva jsou obecně známé 4 hlavní kategorie lipidových surovin. Olejnatá semena (u biopaliv 2. generace jsou to semena z energetických plodin), dále jednobuněčné organismy, jako řasy či sinice, odpadní živočišné tuky a v neposlední řadě odpadní látky jako použitý kuchyňský olej a další odpadní materiály (Moser, 2010). Pro alternativní benzínová paliva jsou to pak lignocelulózy suroviny (Cheah et al. 2020).

3.1.4 Obnovitelné zdroje energie

Mezi nefosilní přírodní zdroje energie řadíme například energii větru, vody, slunečního záření, energii okolního prostředí, geotermální energii a v neposlední řadě energii pevné biomasy a bioplynu a energii kapalných paliv (Státní energetická koncepce České republiky 2014). Obnovitelné zdroje energie nemají nepříznivé dopady na životní prostředí, nezpůsobují téměř žádné emise při výrobě energie a obecně příliš nečerpají zdroje energie ze Země. Analýzami životního cyklu bylo zjištěno, že v místech, kde energie produkovaná z biomasy nahradí energii z fosilních či neobnovitelných zdrojů, dojde ke snížení emisí skleníkových plynů a celkovému negativnímu dopadu na místní klimatické podmínky (Herzog et al. 2001).

3.1.5 Biomasa

Biomasa je potenciálně nepřímo obnovitelný zdroj energie. Její roční potenciál bioenergie je zhruba 2900 exajoulů (EJ), a to 1700 EJ z lesů, 850 EJ z travních porostů a 350 EJ ze zemědělských oblastí. Je to tzv. energie z přírody a nyní po mnoha letech odstupu je možné říci, že je nejdéle používaným zdrojem energie. Nejprve byla biomasa hlavním a nejdůležitějším zdrojem energie. Okolo 18. století se však ve vyspělejších zemích dostala do popředí fosilní paliva a energie z biomasy téměř ztratila význam. To se ovšem opět začalo měnit převážně od začátku 21. století, kdy došlo k extrémnímu zvýšení cen ropy (Quaschnig 2010). Biomasa pochází z rostlinných nebo živočišných zdrojů. Jsou to živé nebo nedávno zemřelé biologické druhy, které mají využití při chemické výrobě nebo jako palivo. Nezahrnuje organické materiály jako je například uhlí nebo ropa, ty se transformovaly po mnoho let do dnešní podoby, tj. do podoby fosilních paliv. Mezi běžné zdroje biomasy patří zemědělství (potravinářské i nepotravinářské zbytky – stonky kukuřice, slupky semen, skořápky ořechů, cukrová třtina, sláma nebo hnůj od hovězího dobytka, prasat či drůbeže), lesní biomasa (stromy, štěpka, piliny, kůra), komunální odpad (odpad z potravin, čistírenský kal z odpadních vod,

odpadový papír), biologický odpad (rostlinný a živočišný odpad) či energetické plodiny (topoly, kukuřice, sója, řepka, vojtěška) (Basu 2013).

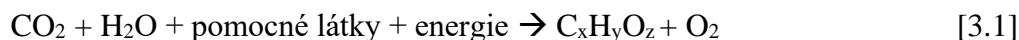
Každá země má svou vlastní hranici pro odlišení biomasy od odpadu. Jsou země, kde je za biomasu považována veškerá organická hmota pocházející z obnovitelných zdrojů, včetně stromů a energetických plodin, zemědělských plodin, zemědělského odpadu, dřevního odpadu, živočišného odpadu, organického komunálního odpadu a dalších odpadních materiálů. V jiných zemích jsou za paliva z biomasy považována pouze ta paliva, která pocházejí ze zemědělských a lesních zdrojů, ale paliva z průmyslových, městských a obecně lidmi produkováných odpadů jsou nazývána jako odpadní (Spliethoff 2010).

3.1.5.1 Vznik biomasy

Biomasa je hmota z organického materiálu, která obsahuje jak živé, tak odumřelé organismy, ale i produkty látkové výměny. Primární biomasa je vytvářena rostlinami procesem fotosyntézy. K této reakci je potřebná energie, kterou rostliny získávají ze Slunce. Živočiškové mohou tvořit pouze sekundární biomasu z již vytvořené biomasy z rostlin. Další zásadní složkou pro tvorbu biomasy je kromě energie voda (Quaschnig 2010)

Vznik biomasy procesem fotosyntézy z chemického hlediska

Při procesu fotosyntézy [3.1] dochází k přeměně oxidu uhličitého (CO₂), vody (H₂O) a dalších pomocných látek na biomasu (C_xH_yO_z) a kyslík (O₂).



Při kyslíkové fotosyntéze [3.2] vzniká například glukóza (C₆H₁₂O₆). Kyslíkovou fotosyntézou vznikl téměř celý obsah kyslíku v atmosféře, který je nezbytně nutný pro dýchání, a to vznikl jako odpad při tvorbě biomasy (Quaschnig 2010).

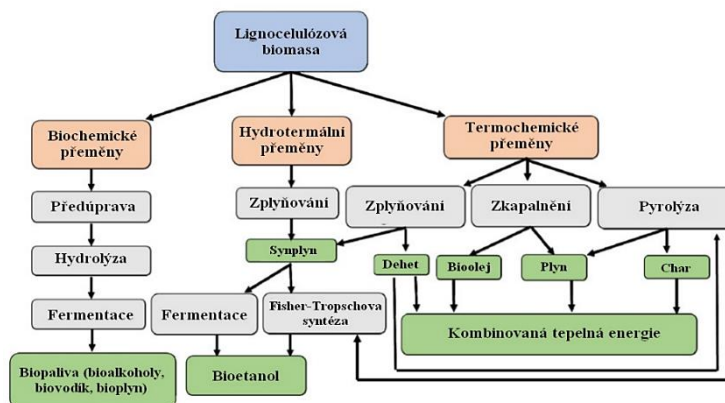


3.1.5.2 Druhy biomasy

Základní rozdělení biomasy je na primární biomasu a odpadní biomasu. Z primární biomasy získáváme zejména lignocelulózu (dřevo, listy, rostliny) a sacharidy (plodiny, zelenina). Primární biomasa se dělí z hlediska prostředí na terestrickou, do které řadíme lesní biomasu, trávy, energetické plodiny a pěstované kultivované rostliny a na vodní, do které patří řasy a vodní rostliny. Odpadní neboli sekundární biomasa se získává z primární biomasy procesem jejího zpracování. Odpadní biomasu lze rozdělit na 4 základní skupiny, a to na komunální odpad, pevný zemědělský odpad, zbytky z lesnictví a průmyslové odpady. Mezi komunální odpad patří tuhý komunální odpad (TKO), bioodpad, odpadní vody a skládkový plyn. Do pevného zemědělského odpadu řadíme zbytky zemědělských plodin, hnůj a odpad související s hospodářskými zvířaty. Zbytky z lesnictví jsou listy, kůra, zbytky ze zemědělských plodin. Do skupiny odpadní biomasy z průmyslových odpadů pak řadíme demoliční dřevo, piliny a dále odpadní tuky a oleje (Basu 2013).

3.1.5.3 Technologie přeměny biomasy

Přeměnu biomasy můžeme technologicky rozdělit na 4 základní kategorie. Jsou to procesy přímého spalování, biochemické procesy, termochemické procesy a agrochemické procesy (Demirbaş 2001). Další dělení, které je znázorněno na Obr. 3.1, je na přeměny biochemické, hydrotermální a termochemické (Zabed et al. 2019).



Obr. 3.1 - Technologie přeměny biomasy (Zabed et al. 2019)

3.1.5.4 Využití biomasy

Využití biomasy jako obnovitelného zdroje energie je stále více nezbytné pro dosažení zmírnění globálního oteplování, které je způsobené spalováním fosilních paliv, ke snížení emisí skleníkových plynů a snížení celkového znečištění ovzduší (Nanda et al. 2018). Biomasa je stále více zkoumána a cílem chemických výzkumů je vývoj nových metod, které umožňují výrobu chemikálií a paliv z obnovitelných zdrojů. Biomasa je jediným zdrojem organického uhlíku ze všech obnovitelných zdrojů v přírodě. K výrobě biopaliv z obnovitelné lignocelulózy je potřeba účinných selektivních katalyzátorů (Jing et al. 2019). Biomasu je možné přeměnit na několik forem paliv. Na kapalnou formu, kterou je například bioolej, na pevnou, kterou je biochar, nebo na formu plynou, např. biomethan, biopropan. Biomasa je jediným obnovitelným zdrojem energie, který lze přeměnit na tolik forem paliv. Využití biomasy ve světové spotřebě primární energie by se mělo do roku 2050 pohybovat okolo 15–50 %. Biomasa je snadno dostupná, má po celém světě četné alternativní zdroje energie a lze ji velmi výhodně využít k nahrazení konvenčních fosilních paliv. Je výborným zdrojem uhlíku a její výhodou je mimo jiné pozitivní ekonomická a environmentální stránka (Uzoejinwa et al. 2018). I zdroje energie z biomasy s sebou však nesou jistá omezení. Jedním z nich je dostupnost surovin pro plošnou výrobu biopaliv na komerční úrovni, aby došlo k uspokojení celosvětové energetické poptávky. Dalším omezením je finanční stránka, přičemž je nutné využití energie získané z biomasy přeměnit z teoretických do praktických výnosů paliv (Nanda et al. 2018).

3.2 Strategické cíle v oblasti biopaliv

Současná strategie Evropské unie v oblasti biopaliv je zaměřena především na minimalizaci negativních dopadů výroby a využívání biopaliv na životní prostředí. Klíčovým tématem je především dekarbonizace dopravy, tj. snižování uhlíkové stopy biopaliv v celém

jejich životním cyklu a související snížení emisí skleníkových plynů. Ze strategií Evropské unie vychází národní strategie a související legislativa.

3.2.1 Strategie Evropské unie

Základními pilíři celkové strategie Evropské unie jsou dokumenty Směrnice RED II, Zelená dohoda pro Evropu, Pařížská dohoda, ILUC, Energetický plán a další.

3.2.1.1 Směrnice RED II (Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001)

Snahou Evropské unie (dále jen „EU“) je podpora obnovitelných zdrojů v energetické oblasti, a právě směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001 (dále jen „směrnice RED II“ – Renewable Energy Directive), o obnovitelných zdrojích energie je součástí balíčku Čistá energie pro všechny Evropany. Jedním z cílů směrnice RED II je pomoc při plnění závazků EU, především pak snížení emisí, které udává Pařížská dohoda. Tato přepracovaná směrnice je platná od prosince 2018 (The recast directive 2018/2001/EU 2021).

Směrnice RED II stanovuje nový závazný cíl pro EU pro rok 2030. Energie z obnovitelných zdrojů by do roku 2030 měla dosáhnout 32 % a podíl obnovitelných paliv v dopravě by měl do roku 2030 dosáhnout 14 %. Země EU mají povinnost na období 2021–2030 vypracovat národní plány týkající se energetiky a klimatu. V těchto národních plánech přiblíží, jakým způsobem budou plnit cíle týkající se oblasti obnovitelné energie a klimatu pro rok 2030 (The recast directive 2018/2001/EU 2021).

Dalším z cílů směrnice RED II v oblasti biopaliv je přechod na pokročilá paliva z nepotravinových surovin, aby se co nejvíce minimalizoval negativní dopad na půdu a životní prostředí, ale i na trh s potravinami. V rámci EU je zaveden nižší limit na množství biopaliv z obilovin a jiných na škrob bohatých surovin, olejnin či cukernatých plodin a tento limit by měly snížit i členské státy. Důležité je, aby nebylo omezeno celkové využití biopaliv. Produkce zemědělských plodin k výrobě biopaliv by neměla negativně ovlivnit biologickou rozmanitost okolí. Tato směrnice stanovuje též kritéria udržitelnosti biopaliv a úspory emisí skleníkových plynů (Směrnice RED II 2018).

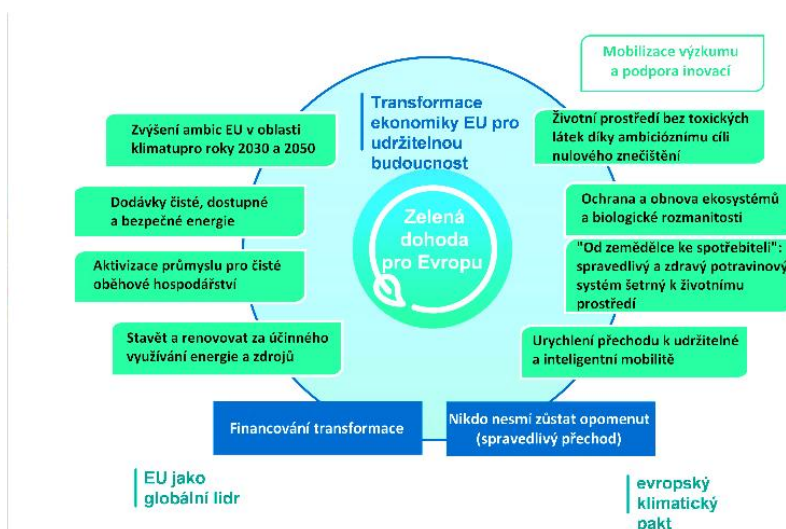
Od 1. 1. 2021 nesmí být podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie v České republice nižší než 13 % (Směrnice RED II 2018).

Energie z obnovitelných zdrojů v oblasti dopravy

Všeobecné rozšíření energie z obnovitelných zdrojů v dopravě stanovuje článek č. 25 směrnice RED II. Do roku 2030 má každý členský stát povinnost zajistit minimálně 14% podíl energie z obnovitelných paliv na konečné energetické spotřebě v dopravě. Tuto povinnost ukládají jednotlivé členské státy svým dodavatelům. V rámci 14% podílu biopaliv z obnovitelných zdrojů do roku 2030 musí být v daných letech stanovený minimální podíl pokročilých biopaliv (tj. biopaliva 2. a 3. generace), konkrétně minimálně 0,2 % v roce 2022, minimálně 1 % v roce 2025 a minimálně 3,5 % v roce 2030. Zároveň úspory emisí skleníkových plynů z biopaliv 2. generace v oblasti dopravy musí být od 1. 1. 2021 minimálně 70 % (Směrnice RED II 2018).

3.2.1.2 Zelená dohoda pro Evropu (Green Deal)

Zelená dohoda pro Evropu (dále jen „Zelená dohoda“) je strategická dohoda mezi EU a občany s cílem transformace EU na společnost, která bude spravedlivá a prosperující, bude mít konkurenceschopnou moderní ekonomiku, bude efektivně využívat obnovitelné zdroje, ve které dojde k oddělení růstu od využívání zdrojů a do roku 2050 bude mít nulovou produkci emisí skleníkových plynů. Jednotlivé prvky k dosažení transformace ekonomiky jsou znázorněny na Obr. 3.2. Zelená dohoda je plán, jehož cílem je zajistit udržitelnost hospodářství EU a chránit zdraví občanů před negativními vlivy poškozující životní prostředí. EU musí transformovat ekonomiku a společnost kolektivně, aby došlo k dosažení vyšší udržitelnosti. Pokud budou jednotlivé státy Evropy jednat samostatně, environmentální cíle Zelené dohody nemohou být dosaženy. Evropská komise musí plnit Agendu OSN pro udržitelný rozvoj 2030, přičemž Zelená dohoda je právě součástí této strategie. Ambicemi EU pro roky 2030 a 2050 jsou dosažení snížení emisí skleníkových plynů na 50–55 % do roku 2030 oproti roku 1990 a dosažení klimatické neutrality do roku 2050. Čtvrtina vyprodukovaných skleníkových plynů v EU pochází z dopravy, proto je k dosažení neutrálního klimatu nutné snížit emise pocházející z dopravy o 90 %. Snahou je využití alternativní dopravy, v co největším množství (Zelená dohoda pro Evropu 2019).



Obr. 3.2 – Transformace ekonomiky EU dle Zelené dohody pro Evropu (Evropská komise 2019)

3.2.1.3 Pařížská dohoda (Paris agreement)

Pařížská dohoda je mezinárodní smlouva 196 smluvních stran, které mají společné téma, zlepšení klimatu. Pařížská dohoda byla přijata 12. 12. 2015 v Paříži na COP 21 (Conference of Parties) a platnosti nabyla dne 4. 11. 2016 (UNFCCC 2021). Dlouhodobým cílem Pařížské dohody je snížení globálního oteplování, přičemž nárůst globální teploty nepřesáhne 2 °C oproti teplotě, která byla před průmyslovou revolucí, přičemž snahou bude udržení globální teploty pod 1,5 °C a dosažení klimatické neutrality (Evropská rada 2015). Pařížská dohoda funguje v pětiletých cyklech. Každá země předkládá vlastní plán, tzv. národní příspěvek (NDC, nationally determined contributions), kde navrhuje opatření, která budou přijata pro snížení emisí tak, aby dosáhla cílů Pařížské dohody. Pařížská dohoda rovněž vyzývá jednotlivé státy

k doložení svých dlouhodobých strategií rozvoje nízkých emisí skleníkových plynů, LT-LEDS (long-term greenhouse gas emission development strategies). Země v rámci Pařížské dohody vytvořily posílený rámec transparentnosti (ETF, enhanced transparency framework), kde budou do roku 2024 transparentně zveřejňovat přijatá opatření pro snížení emisí. Dalším důležitým bodem je solidarita v oblasti ekonomiky či technologie, přičemž vyspělé země budou poskytovat finanční i technologické prostředky pro účely zlepšení klimatu. Budou podporovat rozvojové země ve snaze snížit emise a celkové klimatické dopady (UNFCCC 2021).

V roce 2014 potvrdila Evropská rada 4 cíle rámce politiky v oblasti energetiky a klimatu do roku 2030. Těmito cíli jsou snížení emisí skleníkových plynů do roku 2030 o 40 % oproti roku 1990, zajištění, aby v roce 2030 bylo minimálně 27 % spotřebovávané energie z obnovitelných zdrojů, dále zvýšení energetické účinnosti o 27 %, a ukončení vnitřního trhu s energií, a to dosažením minimálního cíle 10 % do roku 2020 (Evropská rada 2015).

3.2.1.4 ILUC (Indirect Land Use Change)

Biopaliva vyráběná z potravinových materiálů (biopaliva 1. generace), které jsou pěstovány na stávající zemědělské půdě, znemožňují na této půdě pěstování surovin využívaných pro potravinářský průmysl. Není možné snížit produkci potravin pro potravinářský průmysl, proto dochází ke změnám využívání půdy. Konkrétně jsou káceny lesy pro získání nové zemědělské plochy. To však s sebou nese negativa ve formě uvolňování velkého množství emisí oxidu uhličitého. Proto v EU vznikla nová pravidla, která mají zajistit, aby byla biopaliva využívána udržitelnější formou. Snahou je zejména snížení emisí skleníkových plynů, snížení boje o zemědělskou půdu či podpora proniknutí pokročilejších biopaliv na trh (ILUC 2012).

Cílem EU je omezit množství biopaliv z potravinářských plodin, jako součást plnění stanovených cílů EU z 10 % obnovitelné energie pro dopravní účely na 5 %. Zbývající procenta tedy budou muset pocházet zejména z biopaliv 2. generace. Dalším cílem je zvýšit minimální požadavky na úsporu skleníkových plynů na 60 % oproti fosilním palivům a při podávání zpráv o úsporách skleníkových plynů, o dodávkách pohonných hmot a dalších povinných dokumentů zahrnout faktory ILUC (nepřímé změny ve využívání půdy). Cílem je také poskytnout podněty pro biopaliva vyráběná bez emisí, ke kterým není potřeba změna ve využívání půdy, jelikož jsou vyráběna zejména z odpadních materiálů, případně z řas. To jsou právě biopaliva 2. i 3. generace. Tato biopaliva umožňují lepší plnění stanoveného cíle Evropské unie, daných 10 % obnovitelné energie v oblasti dopravy s minimálním či žádným množstvím vyprodukovaných emisí (ILUC 2012).

Pro každou skupinu plodin jsou stanoveny faktory ILUC, které odhadují emise, které jsou vyprodukované právě v důsledku nepřímých změn ve využívání půdy. Biopaliva 2. a 3. generace tento faktor přidělen nemají, protože nevyžadují ke své produkci zemědělskou půdu nebo způsobují ve využívání půdy změnu přímou. V EU již převažují plodiny pro výrobu biopaliv nad plodinami pro potravinářské a krmivářské účely (ILUC 2012).

Důležitost a nutnost těchto nepřímých změn ve využívání půdy spočívá zejména ve snaze snížit produkované emise skleníkových plynů spojených s produkcí biopaliv 1. generace. Výroba biopaliv 2. generace je k životnímu prostředí šetrnější, ale také finančně nákladnější. Kdyby nedocházelo k těmto změnám, vyskytovala by se biopaliva 2. generace okolo roku 2020

téměř v zanedbatelném množství. V přechodném období je cílem stabilizovat spotřebu biopaliv 1. generace a po roce 2020 by tato biopaliva, která jsou vyrobena právě z potravinářských plodin pěstovaných na zemědělské půdě a produkující velké množství emisí, neměla být dotována. Podle nových pravidel EU by měl růst biopaliv vycházet právě z biopaliv, které nepochází z potravinářských zdrojů a tím by nemělo docházet ke konkurenčním bojům a zvyšování cen potravin v důsledku výroby biopaliv (ILUC 2012).

3.2.1.5 Energetický plán do roku 2050 (Energy roadmap 2050)

Cílem EU je do roku 2050 snížit emise skleníkových plynů o 80–95 %. Tento cíl znamená i zřetelný zásah do energetiky, přičemž cca 2/3 energie by měly pocházet z obnovitelných zdrojů. V tomto plánu jsou zkoumány také možnosti dekarbonizace energetického systému. Z dlouhodobějšího hlediska by mohla být dekarbonizace méně nákladná než současné politiky. Hlavní prioritou dekarbonizace je v každém případě dosáhnout lepší energetické účinnosti. Je několik scénářů týkajících se dekarbonizace do roku 2050, přičemž analýzou všech těchto scénářů bylo zjištěno, že většina dodané energie v roce 2050 bude pocházet z obnovitelných zdrojů. V roce 2030 by měl být podíl obnovitelných zdrojů na celkové dodávce energie cca 30 %. Tuto vyhlídku opět ukazují všechny možné scénáře. K dekarbonizaci bude potřeba velkého množství biomasy, a to jak pro teplo, elektřinu, tak pro dopravu (Energy roadmap 2050 2012).

Biopaliva by měla být využívána v největší míře v letecké dopravě, dálkové silniční dopravě či v železniční dopravě. Právě na železnici je výhodou, že může být dále elektrifikována. K nahrazení ropy v dopravě bude potřeba kombinace různých alternativních paliv. Dalším cílem, který vychází také z ILUC, je postupně ustupovat od takových zdrojů bioenergie, které je nutné pěstovat na zemědělské půdě určené pro potravinářské účely. S tím souvisí i snaha o snížení emisí skleníkových plynů, které s sebou biopaliva z potravinářských plodin nesou. Snahou je tedy podporovat biopaliva z odpadních materiálů, případně řas (Energy roadmap 2050 2012).

Pro dosažení cílů dekarbonizace musí být do roku 2030 u všech fosilních paliv uplatněno zachycení a skladování uhlíku (technologie CCS – carbon capture and storage). Technologii CCS je možné dosáhnout záporných hodnot uhlíku možnostmi dekarbonizace kombinací těžkých odvětví průmyslu s biomasou. Způsob a míra využití technologie CCS je odvislá na cenách uhlíku a na přijetí veřejností (Energy roadmap 2050 2012).

3.2.1.6 Dekarbonizace energetického systému

Pro dekarbonizaci společnosti je nezbytný přechod od výroby biopaliv, biomateriálů či chemikálií z fosilních zdrojů k výrobě těchto produktů z obnovitelné biomasy (Sheldon 2020). Dekarbonizace energetického systému je velmi důležitý způsob, umožňující dosažení klimatických cílů pro roky 2030 a 2050. Je nutné zaměřit se na takové odvětví energetiky, které bude založené převážně na výrobě energie z obnovitelných zdrojů. Čím inteligentněji se zapojí do energetického systému energie z obnovitelných zdrojů, tím méně nákladné bude dosažení dekarbonizace. Aby bylo dosaženo klimaticky neutrálního oběhového hospodářství je nutné úplné zapojení průmyslu. Aby došlo k úplné transformaci průmyslu, je potřeba čtvrt století času, proto jsou tyto zásadní plány plánovány do roku 2050 (Zelená dohoda pro Evropu 2019).

Pro dekarbonizaci je zásadní obnovitelné chlazení a vytápění, a je nutné se přesunout k nízkouhlíkovým a obnovitelným zdrojům. Zásadní roli pro transformaci energetického systému bude mít plyn, přičemž právě nahrazení ropy či uhlí plynem přináší pro období 2030–2035 slibné vyhlídky na snížení emisí (Energy roadmap 2050 2012).

V energetickém mixu EU je jako nízkouhlíková alternativa také jaderná energie. Na tu jsou však odlišné názory. Jaderná energie je také jednou z možností dosažení dekarbonizace, která by mohla být i řešením likvidace odpadů. Avšak po nedávných jaderných katastrofách, například jaderné elektrárny ve Fukušimě, se změnila politika některých států a ty neshledávají variantu dosažení dekarbonizace pomocí jaderné energie jako bezpečnou (Energy roadmap 2050 2012).

Hlavním tahounem v řešení otázky dekarbonizace jsou technologie. Snahou je využívat informační a komunikační technologie v dopravě i energetice. Dále je velmi důležité využívání alternativních paliv jako jsou biopaliva, methan, LPG či syntetická paliva a postupný přechod na elektrická vozidla. Aby do roku 2050 mohlo dojít k transformaci energetického systému, musí být splněny především následující podmínky:

- provedení strategie Energie EU 2020,
- větší energetickou účinnost přinese společnost fungující jako celek,
- neustálý rozvoj v oblasti obnovitelných zdrojů energie,
- větší investice do technologií vedoucích k urychlení dekarbonizaci,
- zajištění bezproblémového chodu vnitřního trhu s energií,
- posilování rámce bezpečnosti (Energy roadmap 2050 2012).

Hlavním cílem procesu dekarbonizace pro rok 2050 je nízkouhlíková ekonomika (Směrnice RED II 2018). Vzhledem k tomu, že čtvrtina emisí skleníkových plynů pochází ze sektoru dopravy, je nezbytné se zaměřit na dekarbonizaci v tomto odvětví. Konkrétní cíle dekarbonizace jsou plánovány do jednotlivých časových období. Touto problematikou se konkrétně zabývá Strategie udržitelné a inteligentní mobility (Zelená dohoda pro Evropu 2019).

Dekarbonizace v dopravě 2030

Do roku 2030 bude v Evropě jezdit nejméně 30 mil. automobilů s nulovými emisemi, 100 evropských měst bude klimaticky neutrálních, zdvojnásobí se evropská vysokorychlostní železniční doprava, plánované hromadné cesty do 500 km budou uhlíkově neutrální, bude v co největší míře zavedena automatizovaná mobilita a budou připravena námořní plavidla s nulovými emisemi (Evropská komise 2020).

Dekarbonizace v dopravě 2035

Do roku 2035 budou na trhu připravena letadla s nulovými emisemi (Evropská komise 2020).

Dekarbonizace v dopravě 2050

Do roku 2050 budou mít nulové emise téměř všechny automobily, autobusy, dodávky i nová těžká vozidla. Zdvojnásobí se železniční nákladní doprava a bude plně fungovat

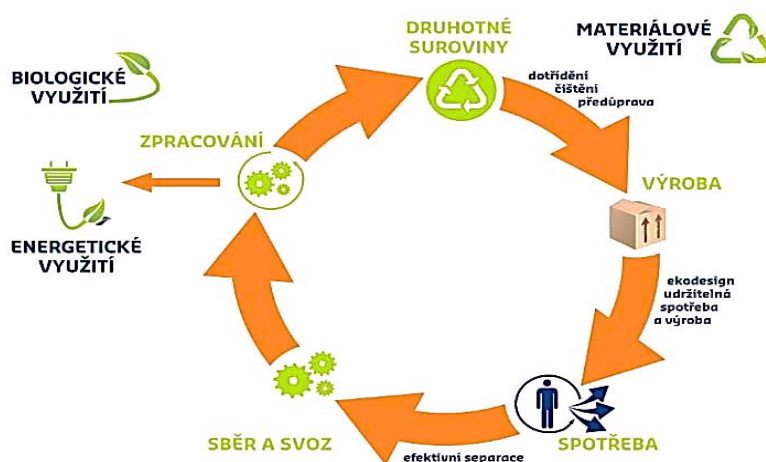
multimodální transevropská dopravní síť s vysokorychlostním spojením pro udržitelnou a inteligentní dopravu (Evropská komise 2020).

3.2.1.7 Oběhové hospodářství

Snahou Evropské unie je udržitelný rozvoj, a proto je nutné se zdroji nakládat s rozvahou. Není možné dále pokračovat ve strategii výroba, využití, vytěžení, vyhození. Je nutné najít udržitelný způsob využití odpadů, který bude ekologicky i ekonomicky přijatelný, a je potřeba veškeré zdroje využít co nejlépe. Principem oběhového hospodářství je minimalizace množství odpadu, který není možný dále využít a zachování hodnoty zdrojů, jak nejdéle to půjde. Po ukončení životnosti výrobku pro účely, ke kterým byl určen se výrobek znovu využije pro vznik nových hodnot. Cílem je dosáhnout nejvyšší možné ochrany životního prostředí i ochrany člověka. Oběhové hospodářství s sebou nese i nové pracovní příležitosti. Evropská komise přijala balíček, který by přechod na oběhové hospodářství měl co nejvíce usnadnit. V tomto balíčku je ucelený akční plán EU pro oběhové hospodářství a návrhy právních předpisů, týkající se odpadů (Otázky a odpovědi k balíčku o oběhovém hospodářství 2015).

Akční plán EU pro oběhové hospodářství

Obr. 3.3 znázorňuje uzavření cyklu oběhového hospodářství. V tomto cyklu je zachována hodnota zdrojů po nejdélejší možnou dobu, minimalizace vzniku odpadů a snaha EU vytvořit nízkouhlíkové, udržitelné a konkurenceschopné hospodářství. Cílem je zabránit nevratným škodám, které vznikají v důsledku nadměrného využívání neobnovitelných zdrojů. Těmito škodami je zasaženo klima, ovzduší, biodiverzita, voda či půda. Aby oběhové hospodářství plnilo svou funkci, je potřeba zapojení všech subjektů, tj. členských států, měst, konkrétních regionů, ale především veřejnosti. Akční plán EU pro oběhové hospodářství stanoví životní cyklus produktu, kterým je jeho výroba – spotřeba – nakládání s odpady – opětovné využívání odpadů jako suroviny pro další zpracování. Cílem je primárně využívat energie z obnovitelných zdrojů a takové výrobky, které lze snadno znovu využít v oběhu (Akční plán EU pro oběhové hospodářství 2015).



Obr. 3.3 - Uzavření cyklu oběhového hospodářství (Evropská databanka 2021)

3.2.2 Národní strategie

Národní strategie související s biopalivy vychází zejména ze strategických cílů Evropské unie a z výše zmíněných dokumentů. Národními strategickými dokumenty jsou Politika druhotných surovin, Státní energetická koncepce, Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie a další.

3.2.2.1 Politika druhotných surovin České republiky

Základní vizí politiky druhotných surovin České republiky (dále jen „ČR“) a základem pro oběhové hospodářství je udržitelné využívání zdrojů. Vychází z Akčního plánu EU pro oběhové hospodářství. ČR pro rozvoj hospodářství využívá nerostné i druhotné suroviny, přičemž u většiny surovin je závislá na jejich dovozu ze třetích zemí. Tyto nerostné zdroje však nejsou nevyčerpatelné, a tak se o ně vede politický i geopolitický boj, což má nepříznivý vliv na jejich cenu. Mimo to těžba primárních surovin působí negativně na životní prostředí, s čímž souvisejí celosvětové globální problémy. Nyní je na období 2019–2022 zpracována Aktualizace politiky druhotných surovin ČR, která bude každé 4 roky aktualizována (POD ČR 2018).

Strategické cíle politiky druhotných surovin České republiky

V aktualizaci politiky druhotných surovin ČR je uvedeno 5 strategických cílů, jejichž snahou je podpora oběhového hospodářství. Tyto cíle jsou stejné jako v předchozí verzi politiky z roku 2014. Hlavní společný cíl je plně v souladu se strategií EU, Akčním plánem pro oběhové hospodářství, tj. snaha maximálního využití druhotných surovin a dosažení uzavřeného cyklu.

Cíle:

- zvýšení soběstačnosti ČR ve zdrojích druhotných surovin, které mají nahradit zdroje primární,
- podpora inovace a rozvoje oběhového hospodářství,
- podpora využívání druhotných surovin a s tím související snížení náročnosti průmyslové výroby,
- podpora osvěty a vzdělávání v oblasti oběhového hospodářství,
- aktualizace informací v oblasti druhotných surovin a jejich využití k monitorování a vyhodnocování oběhového hospodářství (POD ČR 2018).

3.2.2.2 Státní energetická koncepce

Vývoj energetiky v České republice je velmi dlouhodobý a v posledních letech se výrazně posunul kupředu. Snahou ČR je zejména rozvoj energetické politiky, ochrany klimatu a zajištění ropné a plynové bezpečnosti. Dalším významným posunem energetiky ČR je zmenšení dopadů energetiky a průmyslu na životní prostředí a s ním související zdraví obyvatel. Snížení emisí skleníkových plynů, o které se ČR také zaslouhuje, je pak spíše plnění závazku, než přímý vliv na životní prostředí a zdraví obyvatel v ČR. Pro zdraví lidí a životní prostředí jsou více nebezpečné lokální emise polévatého prachu (SEK ČR 2014).

V ČR je spotřeba primárních energetických zdrojů pokryta cca 50 % z domácích zdrojů. ČR je též plně soběstačná ve výrobě tepla a elektřiny. Významnými energetickými zdroji u nás

jsou hnědé a černé uhlí, jaderné zdroje, zemní plyn a ropa. Do popředí se dostávajícími zdroji energie jsou stále více obnovitelné zdroje energie. V ČR je jediným významným a dostatečným obnovitelným zdrojem energie pro teplárenství biomasa. Dalšími zdroji obnovitelných paliv využívaných v ČR k dalším energetickým účelům je energie vodní, větrná či solární. Dalším obnovitelným zdrojem energie jsou biopaliva, která mají nahradit paliva z ropy. Náhradou uhlí má být právě i energetické využívání odpadu. Je to potenciální náhrada primárních zdrojů pro výrobu energie a tepla, při které dochází i k řešení otázky odstranění odpadů a zamezení skládkování (SEK ČR 2014).

Státní energetická koncepce (dále jen „SEK“) byla schválena vládou ČR v květnu 2015 a její platnost je nyní následujících 25 let. Jejím hlavním posláním je zajištění bezpečné a šetrné dodávky energie pro obyvatelstvo a pro potřeby ekonomiky. Dlouhodobým cílem je cenově dostupné, spolehlivé a dlouhodobě udržitelné dodávání energií do domácností i do hospodářství. Jedním z konkrétních cílů SEK je udržet výši dovozní energetické závislosti ČR do roku 2030 pod 65 % a do roku 2040 pod 70 %. Celkově je vize SEK shrnuta ve strategických cílech (bezpečnost, udržitelnost a konkurenceschopnost). SEK má i své strategické priority, a to vyvážený energetický mix, úspory a energetická účinnost, infrastruktura a mezinárodní spolupráce, výzkum, vývoj a inovace a poslední stanovenou prioritou je energetická bezpečnost (SEK ČR 2014).

Odpady pro energetické účely

Využitím odpadů pro energetické účely se rozumí využití odpadů obdobně jako paliva nebo jejich využití dalšími jinými způsoby k výrobě energie (POH 2014). Pokud je odpad určen k energetickým účelům, je podmínkou vysoký stupeň jeho energetické účinnosti. Odpad pro energetické účely se využívá v případě, pokud není možné jeho hierarchicky vyšší využití, tj. nelze ho opětovně použít ani recyklovat (Směrnice (ES) č. 98/2008).

Rozvoj energetiky ČR v dopravě

Vizí do budoucna je snížení závislosti na ropě a palivech z ní vyráběných a zvýšení zastoupení alternativních paliv v dopravě. Snahou je též snížit negativní dopady na životní prostředí, které v dopravě vznikají a zároveň zachovat, případně zlepšit mobilitu obyvatel. Cíle rozvoje energetiky v dopravě je možné rozdělit na cíle hlavní a cíle dílčí (SEK ČR 2014).

Do hlavních cílů patří:

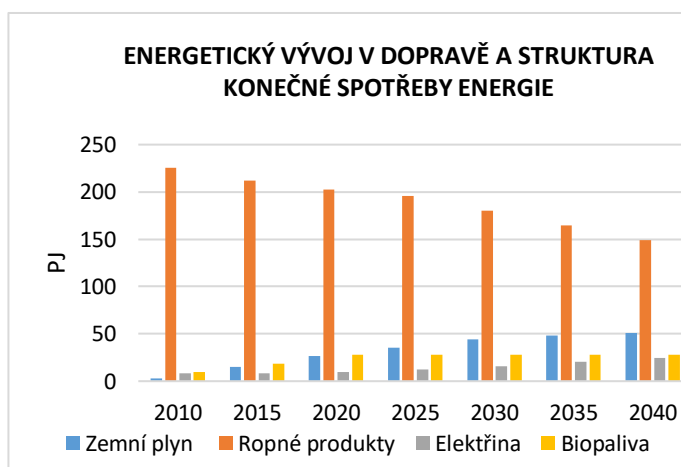
- snaha o zvýšení konkurenceschopnosti ČR a snížení emisí skleníkových plynů,
- zajištění cenově dostupné energie a dostatek paliv pro dopravu v ČR,
- podpora výzkumu i vývoje v oblasti paliv, zvyšování efektivnosti spalovacích motorů i vývoje ekologičtějších dopravních prostředků,
- vytvoření Národního akčního plánu v oblasti dopravy a zajištění rozvoje infrastruktury pro ekologičtější dopravní prostředky,
- zvýšení podílu elektrické energie pomocí trakčního vedení ve veřejné hromadné dopravě (SEK ČR 2014).

K dílčím cílům pro rozvoj dopravy patří:

- snížení emisí uhlíku do roku 2050 o 60 % a celkové zvýšení nezávislosti na dovozu ropy,
- zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie na 10 % celkové spotřeby do roku 2020,
- větší využívání veřejné hromadné dopravy a efektivní využívání železniční dopravy,
- podpora technologického i vědeckého výzkumu a zavedení úspornějších vozidel produkujících méně emisí,
- maximální možné nahrazení benzínu a motorové nafty alternativními palivy (SEK ČR 2014).

Očekávaný vývoj energetiky ČR v dopravě do roku 2040

V dopravě je zásadním bodem snížení spotřeby vozidel a nahrazení ropných paliv alternativními. Snahou je též nástup alternativních motorů s využitím elektřiny a stlačeného zemního plynu CNG. Paliva z ropných produktů jsou však využívána v takové míře, že dle očekávání budou dominovat i v roce 2040. Jejich podíl by měl ale klesnout na 66 % z celkové spotřeby energie. Z Obr. 3.4 je patrné, že bude v následujících letech klesat spotřeba ropných produktů, naopak spotřeba zemního plynu a elektřiny bude nadále stoupat. Spotřeba biopaliv bude dle očekávání mírně stagnovat, zejména kvůli snaze většího využití elektrizované veřejné hromadné dopravy (SEK ČR 2014).



Obr. 3.4 - Energetický vývoj v dopravě a struktura konečné spotřeby energie (SEK ČR 2014)

3.2.2.3 Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie

Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie je jedním z plánů ČR ke snížení závislosti na fosilních palivech a cestou k plnění závazných cílů, tj. dosažení stanoveného podílu energie z obnovitelných zdrojů energie. Byl vypracován ministerstvem průmyslu a obchodu na základě rozhodnutí Komise 2009/548/ES z roku 2009. Vychází také ze Státní energetické koncepce a byl schválen vládou ČR v lednu roku 2016. Jeho hlavním národním cílem je dosažení 13% podílu energie z obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energie v roce 2020. V odvětví elektrické energie je pro rok 2020 předpoklad dosažení 15,2 % energie

z obnovitelných zdrojů. V dopravě je národním cílem pro rok 2020 dosažení 10% podílu zdrojů energie z obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energie v dopravě (NAP pro OZE 2015).

3.2.2.4 Strategický rámec Česká republika 2030

Strategický rámec Česká republika 2030 je nejvyšším dokumentem, který zohledňuje 3 pilíře udržitelného rozvoje, a to ekonomický, sociální a environmentální. Udává směr, kterým by se měl v příštích desetiletích vydat národní rozvoj. Strategický rámec Česká republika 2030 nahradil Strategický rámec udržitelného rozvoje z roku 2010 a nadále je jeho snahou naplnit cíle udržitelného rozvoje, které přijalo OSN v roce 2015. Hlavními dvěma přístupy je udržitelnost a zvyšování kvality života obyvatel, s níž souvisí investice do rozvoje lidského potenciálu. Česká republika 2030 cílí na 6 klíčových oblastí, kterými jsou: Lidé a společnost, Obce a regiony, Odolné ekosystémy, Globální rozvoj, Hospodářský model a Dobré vládnutí (Strategický rámec Česká republika 2030 2017).

3.2.2.5 Dopravní politika České republiky pro období 2021-2027

Vizí dopravní politiky ČR je předpoklad, že celá ČR bude vybavena dopravní soustavou, která bude uspokojovat požadavky přepravy osobní i nákladní dopravy. Bude podporovat udržitelnost ekonomiky a inkluzivní politiku strukturálně znevýhodněných regionů a jejich obyvatel. Dopravní systém musí splňovat požadavky udržitelnosti, tj. neutralitu z hlediska vlivu na globální změny a jeho vliv na veřejné zdraví, biodiverzitu, přírodu a krajinu bude minimální. Cílem tedy není omezit dopravu, ale stále ji rozvíjet v energeticky nenáročném podobě. Aby bylo této vize dosaženo, je nutné splnit 3 následující kroky:

- hledání opatření, která budou co nejvíce šetřit dopravou osob i věcí, aniž by byl ovlivněn hospodářský rozvoj,
- využití multimodálního přístupu, tzn. využívání výhod jednotlivých druhů dopravy a mezioborové spolupráce,
- rozvoj jednotlivých druhů dopravy dle potřeby daného regionu, tj. využívání kvalitních a moderních technologií a zároveň splnění podmínek energetické efektivity a minimalizace emisí (Dopravní politika ČR 2021).

Hlavním cílem dopravní politiky ČR pro období 2021–2027 s výhledem do roku 2050 zůstává zajištění rozvoje kvalitní, funkční a spolehlivé dopravní soustavy, která bude využívat technicko-ekonomicko-technologické vlastnosti jednotlivých druhů dopravy, bude zaměřena na ekonomické a sociální vlivy a dopady na obyvatelstvo, bude zajišťovat bezpečnost a obranu státu a bude založena na principu udržitelného využívání přírodních zdrojů (Dopravní politika ČR 2021).

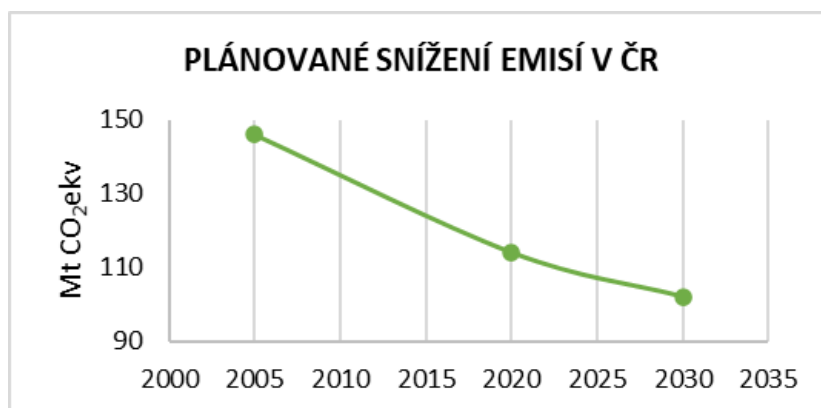
3.2.2.6 Národní program snižování emisí ČR

Národní program snižování emisí ČR je připravován od roku 2004 a jeho cílem je dosažení snížení celkové urovně znečištění a dalšího znečišťování ovzduší v ČR. Ministerstvo životního prostředí vydalo Aktualizaci Národního programu snižování emisí ČR, která je nyní platná do roku 2030. Účelem Aktualizace Národního programu snižování emisí ČR je stanovení strategického cíle, specifických cílů a priorit, na základě současného vývoje ukazatelů emisí

a kvality ovzduší, dále formulace nových scénářů a stanovení podpůrných opatření (Aktualizace Národního programu snižování emisí České republiky 2019).

3.2.2.7 Politika ochrany klimatu v ČR

Politika ochrany klimatu v ČR představuje vládní cíle v oblasti ochrany klimatu a dlouhodobou strategii nízkouhlíkového rozvoje ČR. Politika ochrany klimatu v ČR je v současné době zaměřená na období let 2017–2030 s výhledem do roku 2050. Jejím cílem je též plnění cílů snižování emisí stanovených EU. Hlavními cíly, které jsou znázorněny na Obr. 3.5, je snížení emisí do roku 2020 alespoň o 32 Mt CO₂ekv oproti roku 2005 a do roku 2030 alespoň o 44 Mt CO₂ekv oproti roku 2005. V roce 2005 byly celkové emise v ČR 146 MtCO₂ekv (Politika ochrany klimatu 2017).



Obr. 3.5 – Plánované snížení emisí CO₂ do roku 2030 oproti roku 2005 (Politika ochrany klimatu 2017)

V EU pochází čtvrtina emisí skleníkových plynů z dopravy, a i v ČR stále roste podíl dopravy na produkci celkových emisí CO₂. V roce 1990 tvořil podíl emisí CO₂ z dopravního sektoru 4 %, v roce 2000 to bylo 9,5 % a v roce 2013 dokonce 14,5 %. Tento nárůst je způsobem stále větším rozšířením individuální automobilové dopravy a silniční nákladní dopravy. Zároveň nedochází k dostatečné obměně vozového parku a na konci roku 2014 byl průměrný věk registrovaných osobních automobilů 17,84 roku. Touto problematikou se v ČR zabývá Dopravní politika České republiky pro období 2021–2027 s výhledem do roku 2050 (viz kapitola 3.2.2.5), která směřuje k nahrazení fosilních paliv za alternativní pohony v silniční dopravě, k elektrizaci železnic i městské hromadné dopravy a přesunu nákladní dopravy na železnici a na lodní dopravu (Politika ochrany klimatu 2017).

3.2.2.8 Odpadové hospodářství

Hlavní snahou odpadového hospodářství je v co největší míře předcházet vzniku odpadu. Pokud vzniku odpadu nelze předejít, postupuje se podle hierarchie odpadového hospodářství a to tak, že nejprve dochází k přípravě odpadu k opětovnému použití, recyklaci, energetickému a dalšímu využití a pokud nelze využít jinou možnost, dochází k odstranění odpadu. První zákon o odpadech vznikl v České republice v roce 1991. Od 1. 1. 2021 nabyl účinnosti aktuálně platný zákon upravující nakládání s odpady, zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech. Tento zákon prosazuje principy oběhového hospodářství, stanovuje práva a povinnosti osobám právě

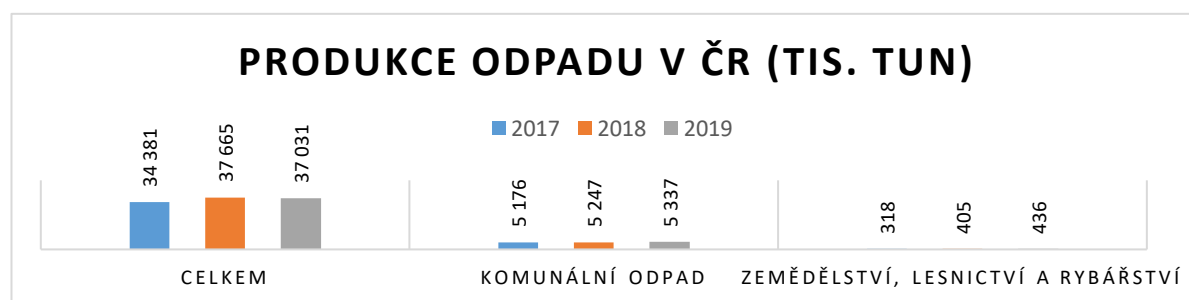
v oblasti odpadového hospodářství a prosazuje také principy, jak nakládat s odpady v zájmu ochrany životního prostředí a zdraví lidí (MŽP 2021).

Odpady

„Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje, má úmysl nebo povinnost se jí zbavit“ (Zákon č. 541/2020 Sb.). Pokud dojde ke vzniku odpadu, je snahou využít ho recyklací nebo k energetickému využití spalováním. Likvidace odpadů je tedy až poslední možností. K likvidaci dochází buď skládkováním nebo tepelnou přeměnou. Hlavním a zásadním rozdílem ve zpracování odpadu tepelnou přeměnou, zda se jedná o likvidaci či žádoucí využití, je energetická účinnost tepelné přeměny (Spliethoff 2010). Odpady vznikají v průmyslu, dopravě, zemědělství, stavebnictví, ale i ve spotřebitelském sektoru. Různé odpady představují různá rizika ohrožení pro životní prostředí. Proto každý druh odpadu vyžaduje specifické nakládání, které je stanoveno zákonem č. 541/2020 Sb. V České republice jsou jasně stanovené cíle pro nakládání s odpady uvedené v Plánu odpadového hospodářství České republiky (POH ČR), a s tímto plánem musí korespondovat plány odpadového hospodářství jednotlivých krajů (MŽP 2021). S odpady je nakládáno v rámci následující hierarchie nakládání s odpady. Hlavním bodem je přecházení vzniku odpadů, pokud odpad vznikne, je snahou jeho příprava k dalšímu opětovnému využití. Pokud tato možnost není možná, přichází na řadu recyklace. Není-li odpad vhodný k recyklaci, je možné ho využít k energetickým účelům a až poslední možností je likvidace odpadu (Směrnice (ES) č. 98/2008).

Produkce odpadu v ČR

V České republice bylo v roce 2019 vyprodukováno 37 milionů tun odpadu. Z celkového množství vyprodukovaného odpadu tvořil 14,4 % odpad komunální. Obr. 3.6 znázorňuje porovnání celkového množství vyprodukovaného odpadu, dále komunálního odpadu a odpadu ze zemědělství, lesnictví a rybářství v letech 2017–2019 (ČSÚ 2021). V roce 2019 bylo z celkové produkce odpadu 88 % využito, konkrétně 84,5 % bylo využito materiálově a 3,5 % bylo využito k energetickým účelům. Z celkového množství odpadů skončilo 9,5 % odpadů na skládkách (MŽP 2020).



Obr. 3.6 - Produkce odpadu v ČR v letech 2017-2019 (ČSÚ 2021)

Cíle odpadového hospodářství v ČR

Česká republika má 5 základních cílů odpadového hospodářství, které stanovuje zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech. Tyto cíle jsou následující:

- do roku 2025 dosáhnout alespoň 55% úrovně přípravy odpadů k opětovnému použití, případně recyklaci, z hmotnosti celkového vyprodukovaného komunálního odpadu, do roku 2030 alespoň 60 % a do roku 2035 alespoň 65 %,
- v roce 2035 odstraňovat nanejvýš 10 % odpadu skládkováním,
- v roce 2035 využívat maximálně 25 % odpadu k energetickým účelům.

Rozdělení odpadů

Odpady můžeme rozdělit na komunální, stavební a demoliční, biologicky rozložitelné, nebezpečné a kaly z čistíren odpadních vod (MŽP 2021). Další dělení odpadů může být na nebezpečný odpad, biologický odpad či odpadní olej (Směrnice (ES) č. 98/2008), případně dělení odpadu na nebezpečný a ostatní odpad (Zákon č. 541/2020 Sb.). Odpad v ČR se dělí podle Katalogu odpadů (viz kapitola 3.2.3.5) (Katalog odpadů 2021).

3.2.3 Legislativa České republiky

Problematikou biopaliv ve vztahu k ovzduší se v České republice zabývá zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. (dále jen „zákon č. 201/2012 Sb.“). Tento zákon platný od 1. 9. 2012 nahradil zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší (dále jen „zákon č. 86/2002 Sb.“). Hlavní změna ohledně biopaliv nastala v oblasti kritérií udržitelnosti, a to v prokazování jejich plnění. V zákoně č. 86/2002 Sb. měli prodejci a dovozci biomasy, výrobci, dovozci a prodejci kapalných i plyných produktů, které byly určeny k výrobě biopaliv, a výrobci, dovozci i prodejci biopaliv povinnost, dodávat ke všem těmto produktům doklady, které dokládaly splnění veškerých kritérií udržitelnosti. S aktuálně platným zákonem č. 201/2012 Sb. výše zmíněné povinnosti platí i pro dovozce a prodejce motorového benzínu i motorové nafty s přídavkem biopaliv, které nejsou uvolněny do volného daňového oběhu v České republice (MŽP 2021).

3.2.3.1 Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší

Biopalivy se v zákoně č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší zabývá část čtvrtá – povinnosti osob a kritéria udržitelnosti biopaliv. Čtvrtá část zahrnuje paragrafy 16-21.

§16 Povinnosti osob

V České republice smí osoba, která na trh paliva uvádí, uvést pouze taková paliva, která splňují dané kvalitativní požadavky. Tyto požadavky jsou pevně stanoveny právním předpisem. Odběrateli je tato osoba povinna předat doklad, kterým prokáže, že dané požadavky na kvalitu paliva jsou splněny. Tento doklad osoba dokládá odběrateli při první dodávce paliva, a poté při každé další kvalitativní změně paliva. Dále osoba, která uvádí palivo na trh je povinna ohlásit ministerstvu životního prostředí (dále jen „MŽP“) údaje, které byly stanoveny prováděcím právním předpisem, a to do 31. března nadcházejícího roku (Zákon č. 201/2012 Sb.).

§19 Povinnost zajistit minimální množství biopaliv za kalendářní rok

Povinností dodavatele motorové nafty nebo motorového benzínu, je zajistit, aby ve zmíněných pohonných hmotách bylo obsaženo minimální množství biopaliva, které udává právní předpis upravující pohonné hmoty. Minimální stanovené množství příměsi biopaliva v motorovém benzínu je 4,1 % obj. a v motorové naftě 6 % obj. (Zákon č. 201/2012 Sb.)

Pokud dodavatel těchto pohonných hmot v daném kalendářním roce výše stanovené povinné minimální množství příměsi biopaliva překročí, může nadměrné množství částečně převést do plnění této povinnosti pro další kalendářní rok. Množství biopaliv, které je možno převést nadcházejícího kalendářního roku je konkrétně stanovené, a činí 0,2 % z celkového množství pohonných hmot (Zákon č. 201/2012 Sb.).

Pokud jsou pro účely plnění povinnosti využívána biopaliva vyrobená z použitého kuchyňského oleje nebo z vedlejších živočišných produktů, je množství dodaného biopaliva násobeno dvěma (Zákon č. 201/2012 Sb.).

§20 Povinnost snižování emisí skleníkových plynů z motorového benzínu nebo motorové nafty za kalendářní rok

Každoročně má dodavatel pohonných hmot jako je motorový benzín a nafta povinnost snižovat emise skleníkových plynů na jednotku energie, která je obsažena v pohonné hmotě. Pro dopravní účely je právním předpisem stanovené snížení množství, které je posuzováno vždy k poslednímu dni v roce, tj. 31. prosinci. A to o 2 % do konce roku 2014 a následující roky, o 3,5 % do konce roku 2017 a následující roky a o 6 % do konce roku 2020 a následující roky. Státní hmotné rezervy nejsou do povinného snížení emisí započítávány (Zákon č. 201/2012 Sb.).

§21 Kritéria udržitelnosti biopaliv

Všechna biopaliva určená k plnění výše zmíněných povinností, které udávají paragrafy 19 a 20, musí splňovat daná kritéria udržitelnosti. Tato kritéria jsou stanovena právním předpisem. Musí tedy dojít ke shodě kritérií udržitelnosti biopaliv stanovených výrobcem s kritérii, které vykazuje palivo od dovozce, případně prodejce. Stejná pravidla platí pro kapalné či plynné produkty určené k výrobě biopaliv, kde je opět splnění stanovených kritérií doloženo prohlášením o shodě s kritérii udržitelnosti biopaliv, které vydal výrobce. U biopaliv z biomasy jsou kritéria porovnávána s kritérii udržitelnosti vydanými prodejcem či dovozcem biomasy. Pokud je prodejce biomasy i jejím pěstitelem, přičemž biomasa, kterou prodává je jeho vlastním výpěstkem, je možné splnění kritérií udržitelnosti doložit prohlášením samotného pěstitele (Zákon č. 201/2012 Sb.).

Osoba, která prokáže řádné plnění kritérií udržitelnosti získá certifikát, který je vydán autorizovanou osobou. Vydaný certifikát je platný po dobu 1 roku. V tomto certifikátu je stanovený výčet zemí, ze kterých může osoba, která certifikát obdržela odebírat biomasu. Pokud tato osoba odebere biomasu z jiné země, která není v certifikátu uvedena, je tato biomasa považována za nevyhovující a nesplňující kritéria udržitelnosti, není tedy možné ji k výrobě biopaliv použít. Pokud dojde ke zjištění, že nebyla splněna stanovená kritéria udržitelnosti, informuje ministerstvo zemědělství inspekci, která následně informuje celní úřad, přičemž

následuje finanční postih. Pěstitel biomasy je povinen vést evidenci o jejím prodaném množství. Veškerou dokumentaci je povinen uchovávat po dobu 5 let a poskytnout ji na vyžádání inspekci a autorizované osobě. Vláda stanovuje kritéria udržitelnosti biopaliv vládním nařízením (Zákon č. 201/2012 Sb.).

3.2.3.2 Nařízení vlády č. 189/2018 Sb., o kritériích udržitelnosti biopaliv

V České republice je aktuálně platné nařízení vlády č. 189/2018 Sb., o kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot, ve znění pozdějších změn (dále jen „nařízení vlády“). Nařízení vlády upravuje kritéria udržitelnosti biopaliv, základní hodnoty produkce a způsob výpočtu emisí skleníkových plynů z pohonných hmot, požadavky na biopaliva, požadavky na pěstitele biomasy nebo například náležitosti certifikátů podle výše zmíněného zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, §21. V nařízení vlády jsou vymezeny pojmy jako odpad, lignocelulózová vláknina, nepotravinářská celulózová vláknina, obnovitelná kapalná a plynná paliva, biopaliva, zemědělské či lesnické zbytky, zbytky z akvakultury či rybolovu. Dále nařízení vlády stanovuje kritéria udržitelnosti biopaliv a kritéria udržitelnosti biomasy. Nařízení vlády se také zabývá snižováním emisí a požadavky souvisejícími s pěstiteli biomasy (Nařízení vlády č. 189/2018 Sb. 2021).

3.2.3.3 Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech

Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech nabyl v České republice účinnosti 1. 1. 2021. Jeho účelem je předcházení vzniku odpadů a zajištění nakládání s nimi dle hierarchie nakládání s odpady a s tím související zajištění ochrany životního prostředí, zdraví lidí a trvale udržitelné využívání přírodních zdrojů tak, aby byly naplněny cíle odpadového hospodářství, a aby byl možný přechod k hospodářství oběhovému (Zákon č. 541/2020 Sb.).

3.2.3.4 Nařízení vlády č. 352/2014 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015-2024

Toto nařízení vstoupilo v platnost 1. 1. 2015. Závaznou částí Plánu odpadového hospodářství České republiky pro roky 2015–2024 (dále jen „POH ČR“) je stanovena strategie a priority rozvoje odpadového hospodářství. V této závazné části POH ČR jsou stanoveny cíle a zásady týkající se odpadového hospodářství České republiky i závazky České republiky vůči Evropské Unii. Zároveň tato závazná část POH ČR postupuje podle stanovené hierarchie nakládání s odpady (Nařízení vlády č. 352/2014 Sb. 2014).

Strategické cíle POH ČR

- Předcházení vzniku, případně snaha o omezení vzniku odpadů na minimum,
- snaha o přiblížení se k evropské „recyklační společnosti“ a zajištění udržitelného rozvoje,
- maximální možné znovuvyužití odpadů a přechod na oběhové hospodářství,
- snaha o maximální snížení negativního dopadu na lidské zdraví a životní prostředí, související se vznikem a nakládáním s odpady (Nařízení vlády č. 352/2014 Sb. 2014).

3.2.3.5 Vyhláška MŽP o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů

Vyhláška MŽP o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů zpracovává přepisy EU a navazuje na ně. Zároveň upravuje Katalog odpadů (dále jen „katalog“) a postup pro zařazení odpadů podle tohoto katalogu nebo upravuje metody hodnocení a další postup při nakládání s nebezpečným odpadem. Zařazení odpadu dle katalogu se provádí následovně. Odpad je zařazen pod šesticiferná čísla. První dvě čísla označují skupinu odpadu, další dvě podskupinu a poslední dvě druh odpadu. Skupina odpadu se v katalogu vyhledá podle vzniku (obor, odvětví, technologický proces). V dané skupině se odpad zařadí do podskupiny s konkrétním katalogovým číslem tak, aby bylo označení odpadu co nejpřesnější. Skupiny odpadů související s výrobou biopaliv 2. generace jsou znázorněny v Tab. 3.2 (Katalog odpadů 2021). Katalog odpadů zohledňuje a rozlišuje, kde odpad vznikl, případně kdo ho vyprodukoval. Oproti tomu EWC-STAT, klasifikace odpadů uvedená ve směrnici 2150/2002 rozlišuje odpady pouze podle látek, které daný odpad tvoří (ČSÚ 2021).

Tab. 3.2 – Hlavní skupiny katalogu odpadů související s výrobou biopaliv (Katalog odpadů 2021)

02	Odpady z prvovýroby v zemědělství, zahradnictví, myslivosti, rybářství, lesnictví a z výroby a zpracování potravin
03	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek, nábytku, celulózy, papíru a lepenky
04	Odpady z kožedělného, kožesnického a textilního průmyslu
13	Odpady olejů a odpady kapalných paliv (kromě jedlých olejů a odpadů uvedených ve skupinách 05 a 12)
17	Stavební a demoliční odpady (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst)
18	Odpady ze zdravotní nebo veterinární péče a /nebo z výzkumu s nimi souvisejícího (s výjimkou kuchyňských odpadů a odpadů ze stravovacích zařízení, které bezprostředně nesouvisejí se zdravotní péčí)
19	Odpady ze zařízení na zpracování (využívání a odstraňování) odpadu, z čistíren odpadních vod pro čištění těchto vod mimo místo jejich vzniku a z výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely
20	Komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek z odděleného sběru

3.3 Biopaliva

Biopaliva jsou paliva, která jsou vyráběna biologickým procesem (Datta et al. 2019). Získáváme je z organických materiálů. Mezi tyto organické materiály řadíme dřevo, slámu, cukrovarnické zbytky, živočišný odpad, komunální odpad, skládkový odpad, použité oleje či tzv. černý likér, což je kapalina vyráběná v papírnickém a celulózovém průmyslu, která je velmi bohatá na energii. Řadíme sem i syntetické plyny získané z živočišných i rostlinných látek. Biopaliva jsou v jistém smyslu obnovitelná, čímž se liší od fosilních paliv, která jsou získávána z podzemních zdrojů, kde se tvořily miliony let a jejichž množství je omezené. Biopaliva jsou neustále doplňována činností člověka, a proto jsou řazena mezi obnovitelné zdroje (Tabak 2009, Datta et al. 2019). Využívání kapalných biopaliv umožňuje snížení využívání ropných paliv cca o 10–20 %, nelze je však úplně nahradit (Osíčka et al. 2012). Biopaliva jsou klasifikována různými způsoby. Jedním z nich je dělení do 3 kategorií podle Tabaka (2009) na dřevní paliva, zemědělská paliva a paliva na bázi městského odpadu.

3.3.1 Environmentální aspekty

Hlavní příčinou globálních environmentálních změn je v současné době spalování fosilních paliv a s tím související uvolňování velkého množství CO₂ do atmosféry. V současné době pochází z fosilních zdrojů více než 80 % celosvětové spotřeby energie. Je tedy zásadní dosáhnout snížení spotřeby fosilních paliv (Chen & Geng 2017). Výzkum v oblasti biopaliv je hnán environmentálními omezeními. Biopaliva jsou cestou k řešení globálních environmentálních problémů, které vznikají v důsledku nadměrného uvolňování skleníkových plynů, těkavých látek nebo oxidů dusíku vznikajících při výrobě fosilních paliv (Nanda et al. 2018). Mezi skleníkové plyny patří oxid uhličitý, methan, oxid dusný, fluorované uhlovodíky, perfluoruhlovodíky, fluorid sírový či fluorid dusitý (Zpráva Enviros, s.r.o. 2017). Biopaliva 2. a 3. generace zároveň nejsou hrozbou pro zásobování potravinami a nepůsobí škody, které vznikají na zemědělské půdě v důsledku pěstování plodin pro biopaliva 1. generace, a jsou velmi vhodnou alternativou konvenčních fosilních paliv (Nanda et al. 2018). Jedním z problémů spojených s využíváním zemědělské půdy pro pěstování rostlin pro výrobu biopaliv, je kontaminace podzemních i povrchových vod pesticidy a herbicidy a také produkty jejich rozkladu, jakými jsou i dusičnany či fosfáty. Jedná se tak o negativní dopady na životní prostředí, které s sebou využívání fosilních paliv nepřináší. K produkci biomasy jsou využívány i některé oblasti, které byly jinak ponechány přírodě. Konkrétně se to týká produkce kokosového a palmového oleje, kvůli kterému jsou ve velké míře káceny tropické deštné pralesy (Knothe et al. 2010).

Alternativami fosilních paliv je například bionafta z rostlinných olejů, použitých odpadních kuchyňských olejů, živočišných tuků a dalších triglyceridů (Nanda et al. 2018). Bionafta je obecně považována za palivo šetrné k životnímu prostředí. Celkově má využívání biopaliv několik výhod pro životní prostředí. Konkrétně je to lepší využití půdy i odpadu, snížení emisí skleníkových plynů a s tím související snížení znečištění ovzduší. Dále se jedná o vyšší účinnost spalování biopaliv a sekvestraci uhlíku (Zabed et al. 2019). Sekvestrace uhlíku neboli jeho vázání, je proces, kdy je oxid uhličitý odstraňován z atmosféry do uhlíkových rezervoárů, tj. dlouhodobé uložení jiné než hromadění v ovzduší. Jedná se o například oceán, půdu či geologické vrstvy (Lal 2008). Dalším důležitým pojmem je úspora emisí CO₂, která redukuje skleníkový efekt. Čím větší bude podíl obnovitelné energie na celkovém množství energie, tím menší bude množství uvolňovaného CO₂ do ovzduší (SMA 2020).

3.3.2 Druhy biopaliv dle využití

Biopaliva můžeme dělit nejen dle skupenství, ale i dle jejich využití. Nejběžnějšími plynými biopalivy je bioplyn a vodík. Mezi nejčastěji využívaná kapalná biopaliva pro vznětové motory patří bionafta a HVO, pro zážehové motory je to bioethanol.

3.3.2.1 Vodík

Vodík je sekundárním zdrojem energie, který je získáván z obnovitelných i neobnovitelných zdrojů na bázi uhlovodíků. Má nejvyšší hodnotu výhřevnosti a je proto považován za jednu z nejslibnějších alternativ fosilních paliv. Při spalování vodíku se neuvolňuje do ovzduší oxid uhličitý, ale pouze voda. Lze jej tedy považovat za čisté palivo.

Vodík je nosičem energie. Lze jej využívat v palivových článcích i ve spalovacích motorech. Vodík je možné získat z jakékoliv konvenční suroviny jako například uhlí, ropa či zemní plyn. Z obnovitelných zdrojů vodíku se jedná o odpady ze zemědělství a lesnictví a další toky odpadů (Nanda et al. 2018).

3.3.2.2 Bioplyn

Bioplyn vzniká anaerobní fermentací probíhající ve vlhké biomase bez přístupu vzduchu za přítomnosti bakterií. Biomasa je procesem biologického rozkladu přeměňována na vodu, oxid uhličitý a methan. Právě tyto plyny jsou zachycovány v bioplynové stanici, jejímž jádrem je vytápěný fermentor. Ve fermentoru jsou zajištěné homogenní podmínky a substrát je zde promícháván. Bioplyn získaný z bioplynové stanice je složený převážně z hořlavého methanu (50–75 %) a z oxidu uhličitého (25–45 %). V malém množství se v bioplynu vyskytují kyslík, dusík, vodní páry, voda, amoniak a sirovodík. Následuje odsíření a čištění bioplynu, který je následně uložen do zásobníku. Výtěžnost bioplynu, ale i produkty zplyňování jsou velmi odlišné podle biosubstrátu, ze kterého jsou získávány. Pro příklad u kukuřičné siláže můžeme očekávat výtěžnost bioplynu cca 200 m³/t, naopak u kejdy od hovězího dobytka je tato výtěžnost výrazně nižší, a to cca 45 m³/t. Bioplyn má využití hlavně u spalovacích motorů. Osvědčené jsou modifikované vznětové a plynové zážehové spalovací motory. Bioplyn může také vyrábět elektrickou energii, pokud je daný motor poháněn elektrickým generátorem (Quaschnig 2010). Bioplyn lze též využít ve dvoupalivovém systému v dieslovém motoru, přičemž palivová směs se skládá zejména z LPG plynu, ale z části palivová směs obsahuje konvenční naftu, která je používána ke vznícení palivové směsi. Motor uzpůsobený pro dvoupalivový systém plyn-nafta spotřebovává až 90 % méně nafty a využití LPG plynu v dieslových motorech je jednou z možností snižování emisí (Ashok et al. 2015).

3.3.2.3 Bioethanol

Hlavní surovinou pro výrobu ethanolu je cukr. Konkrétně jsou to sacharidy glukóza, škrob nebo celulóza. Sacharidy jsou získávány především ze sacharidových plodin jako jsou cukrová řepa, cukrová třtina nebo také obilí nebo z lignocelulózní odpadní biomasy. Výhodou cukru, konkrétně glukózy je, že ho lze kvasnými procesy přímo přeměnit na alkohol. Oproti tomu škrob či celulóza musí být nejprve rozštěpeny na oligosacharidy a monosacharidy. Odpadní produkt, který se uvolňuje reakcí kvašení cukrů na alkohol je oxid uhličitý. Oxid uhličitý je však nadále vázán rostlinami, a proto při této reakci v podstatě nevznikají žádné skleníkové plyny. Fermentací vzniká výsledný produkt, který obsahuje okolo 12 % ethanolu a nazývá se rmut. Následuje destilace, po níž se koncentrace surového alkoholu pohybuje okolo 90 % a surový alkohol je následně zbaven vody dehydratací, přičemž již vznikne ethanol s vysokým stupněm čistoty. Odpad a zbytky jsou následně použity k dalšímu zpracování jako krmiva. Při výrobě bioethanolu je však velmi vysoká spotřeba energie a klimatická bilance je naopak velmi nízká (Quaschnig 2010).

Bioethanol je biopalivo mísitelné s benzínem. Obsah příměsi bioethanolu udává tzv. číslo „E“. Proto palivo obsahující až 85 % ethanolu a 15 % benzínu, je označeno číslem E85. Běžné zážehové motory mohou bez dalších úprav spalovat benzín, který má obsah bioethanolu až do 10 %. Pokud je obsah bioethanolu vyšší, motor už vyžaduje další specifické úpravy.

Výroba bioethanolu je závislá na ceně potravin, které v posledních letech výrazně rostou, a tak přestává být výroba bioethanolu z ekonomického hlediska výhodná (Quaschnig 2010).

Výroba bioethanolu z glukózy [3.3] procesem fermentace s kvasinkami bez přístupu vzduchu.



3.3.2.4 Biobutanol

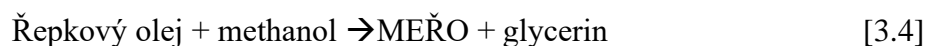
Biobutanol je rovněž alkoholové palivo a je potencionálním biopalivem 2. generace. Oproti bioethanolu je méně výbušný a těkavý. Manipulace s ním je bezpečnější, a to zejména kvůli vyššímu bodu vzplanutí a nižšímu tlaku par. Oktanové číslo butanolu je téměř srovnatelné s benzínem, a proto je s ním mísitelný v jakémkoliv poměru. To jej dostává do popředí více než jiná alkoholová paliva. Biobutanol je možné použít přímo jako přídatné palivo nebo ve směsi s benzínem či naftou. V období první a druhé světové války byly nejčastějšími surovinami pro fermentaci cukr a obiloviny. Kvůli nedostatku potravin se od výroby acetonu, butanolu i ethanolu (ABE) od těchto surovin ustoupilo. Nyní se vede výzkum, jaké levné suroviny pro fermentační výrobu butanolu mohou být využity k efektivní biosyntéze. Velmi hojně se využívá levná lignocelulózová biomasa, jakou jsou zemědělské a dřevní zbytky (Nanda et al. 2018).

3.3.2.5 Bionafta

Již v roce 1937 si nechal postup k výrobě bionafty patentovat Belgičan Chavanne. Bionafta má podobné vlastnosti jako běžně používaná nafta pro vznětové spalovací motory. Pro výrobu bionafty jsou vstupní surovinou rostlinné oleje, ale také živočišné tuky (Quaschnig 2010). Předpona bio u bionafty znamená obnovitelnost a biologickou povahu, v čemž je rozdíl oproti naftě získávané z ropy (Guerrero F. et al. 2011). Z chemického hlediska se u bionafty používá označení FAME, které znamená Fat Acid Methyl-Ester (methylester mastných kyselin). V zemích střední Evropy je nejčastější surovinou pro výrobu bionafty 1. generace řepka olejná, ze které získáváme řepkový olej. Pro výrobu bionafty 2. generace je velmi slibnou surovinou například použitý kuchyňský olej (Demirbas 2009). U olejnatých plodin se vedlejší produkty po zpracování používají jako krmiva. U řepky je to konkrétně řepková řezanka. Z řepkového oleje se dále vyrábí esterifikovaná surovina nazývaná MEŘO – methylester řepkového oleje. MEŘO se vyrábí v transesterifikačních zařízeních. Bionafta se tedy využívá jako doplňkový zdroj fosilních paliv pro motory vznětové (diesel, nafta). I pro bionaftu musí být daný motor uzpůsobený a musí mít od výrobce povolení. Pokud motor uzpůsobený není, může bionafta poškodit či zničit hadice a těsnění a tím poškodí celý motor. Pokud je do běžného fosilního paliva přimícháván jen určitý procentuální podíl bionafty, který se pohybuje okolo 5 %, není potřeba žádné speciální uzpůsobení motoru a poškození motoru nehrozí (Quaschnig 2010). Výhodami bionafty je pozitivní energetická bilance, biologická rozložitelnost, výborná mazivost, vysoký bod vzplanutí, téměř žádný obsah síry nebo celkově nižší emise výfukových plynů (Moser 2010).

Výroba methylesteru řepkového oleje – MEŘO (v EU označení FAME)

Do reakce [3.4] vstupuje řepkový olej společně s methanolem a za pomoci katalyzátoru, kterým může být například hydroxid sodný, dochází k reakci. Reakce probíhá za teploty okolo 55°C. Jako hlavní produkt vzniká MEŘO (bionafta) a vedlejším produktem je glycerin (Quaschnig 2010).



Kvůli nadměrnému zpracování potravinových plodin však bionaftu MEŘO stále více nahrazuje FAME z odpadních tuků anebo hydrogenovaný rostlinný olej (HVO – hydrotreated vegetable oil), který se ukazuje jako výhodnější varianta. Dříve byly jako bionafta označovány čistě FAME/MEŘO, ale nyní s příchodem HVO je toto označení zavádějící, nicméně se stále používá (Zeman et al. 2019).

3.3.2.6 Hydrogenovaný rostlinný olej (HVO)

HVO je biopalivo, které se svou chemickou strukturou nejvíce podobá fosilní motorové naftě. Vykazuje vyšší oxidační stabilitu, vysoké cetanové číslo, má velmi podobnou viskozitu, hustotu i bod vzplanutí. Slabinou HVO jsou jeho nízkoteplotní vlastnosti, proto je často podrobován hydroizomeraci, při které vznikají kratší uhlovodíkové řetězce s příznivějšími nízkoteplotními vlastnostmi. HVO je možné získat i z odpadních materiálů, přičemž k jeho výrobě lze využít stávající rafinérské výrobní technologie. Právě využití HVO je velmi reálnou možností, jak zvýšit obsah biopaliva v motorové naftě (Zeman et al. 2019).

3.3.2.7 Bioolej

Bioolej je biopalivo, které je nejjednodušší na výrobu, protože na jeho výrobu lze použít až okolo 1000 druhů olejnatých plodin. Třemi nejrozšířenějšími oleji pro výrobu biopaliv 1. generace jsou olej řepkový, palmový a sójový. Pro výrobu biopaliv 2. generace jsou to pak nepotravinové olejnaté rostliny. Olej je z rostlin buď extrahován nebo lisován, načež zbytky po vylisování jsou dále využívány jako krmivo pro zvířata. Bioolej však není příliš využíván jako palivo, protože k jeho používání je nutná přestavba klasických vznětových motorů. Speciální motory pro spalování rostlinných olejů se nazývají Elsbettovy motory. Bez této přestavby mohou bioolej využívat pouze některé starší typy vznětových motorů s předkomorou (Quaschnig 2010). Jako bioolej je též nazýván kapalný produkt rychlé pyrolýzy biomasy. Je proto důležité rozlišovat, zda se jedná o konkrétní biopalivo, které samo o sobě není tolik využíváno, či o vzniklý kapalný produkt rychlé pyrolýzy biomasy (Lee et al. 2019).

3.3.3 Rozdělení biopaliv dle generací a jejich porovnání

Dalším dělením biopaliv je dělení na generace, které odráží původ suroviny využitá pro jejich výrobu a související šetrnost pro životní prostředí. Biopaliva lze rozdělit do 3 generací na biopaliva 1. generace, biopaliva 2. generace a biopaliva 3. generace. Rozdíl mezi jednotlivými generacemi není ve struktuře biopaliv, ale v jejich zdrojích (Oumer et al. 2018). Biopaliva 1. generace jsou vyráběna z olejů, cukrů a škrobů, které pocházejí z potravinářských

plodin. Biopaliva 2. generace jsou vyráběna z nepotravinářských plodin, kterými jsou například dřeviny, trvalky či nepotravinářské části potravinářských plodin. Biopaliva 3. generace jsou pak vyráběna z řas, které dokáží vyprodukovat mnohonásobně vyšší výnosy (Dahiya 2015).

3.3.3.1 Biopaliva 1. generace

Biopaliva 1. generace se získávají a lisují z plodin rostoucích na zemědělské půdě (Jansen 2013). Výchozími surovinami pro biopaliva první generace jsou kukuřice pro ethanol a sójové boby pro bionaftu. Tyto suroviny jsou v současné době velmi používány a jejich produkce i výnosy se stále zvyšují (Dahiya 2015). Dalšími důležitými zdroji jsou pšenice, ječmen, čirok nebo cukrová třtina. Největším zdrojem je však výše zmíněná kukuřice, která s sebou nese několik výhod. K výrobě ethanolu z kukuřice je možné využít všechny její části a zároveň proces výroby není příliš složitý. Pěstování kukuřice pro biopaliva má však i několik nevýhod, kterými jsou vysoká cena hnojiv a pesticidů a s nimi související kontaminace vody i půdy (Oumer et al. 2018). Alkoholy, zejména ethanol nebo deriváty (ETBE) využívají benzinové motory. Ethanol je do jisté míry podobný benzínu a není nutné měnit konstrukce stávajících motorů, proto je jeho využití v současnosti nejvyšší ze všech druhů biopaliv. Oproti benzínu má ethanol až o 30 % nižší výhřevnost, ale vyšší oktanové číslo (110). Hlavní výhodou oproti čistému benzínu jsou nižší emise uhlíku. Nevýhodou biopaliv první generace je však to, že k jejich výrobě je potřeba velkého množství zejména cukerných plodin, protože právě ethanol je odvozen od glukózy, která vzniká v rostlinách procesem fotosyntézy. Tyto cukerné plodiny jsou však současně velmi důležitými potravinářskými plodinami (Osička et al. 2012).

Dalším zdrojem biopaliv 1. generace je surový rostlinný olej, který je celosvětově dostupný, snadno přeměnitelný na biopalivo a je možné ho pouze s drobnými úpravami použít přímo v dieselových motorech. Zde však dochází k jeho neúplnému spalování a může dojít k poškození motoru v důsledku usazování uhlíku. Pokud projde rostlinný olej dalšími například kuchyňskými úpravami, je možné ho využít jako surovinu pro biopaliva 2. generace (Oumer et al. 2018). Ve světě se pro pěstování plodin pro výrobu biopaliv využívá cca 1600 Mha půdy z celkového obsahu 13200 Mha. V Evropské unii jsou na pěstování plodin k výrobě biopaliv využity cca 2 % celkové plochy zemědělské půdy (ILUC 2012).

3.3.3.2 Biopaliva 2. generace

Biopaliva 2. generace jsou někdy označována jako pokročilá biopaliva. Výchozími surovinami pro biopaliva 2. generace jsou zejména zbytky. Jsou to zbytky po sklizni plodin či kácení lesů, ale také z průmyslu či domácností. Zde přichází několik možností pro vývoj technologií přeměny celulózy (Dahiya 2015). Biopaliva 2. generace se začala rozvíjet i z důvodu některých nedostatků biopaliv 1. generace. Hlavním zdrojem jsou tedy zejména plodiny, jež nemůžeme dále využít pro potravinářské účely a nevede se kvůli nim boj o zemědělskou půdu. Dalším zdrojem jsou pak plodiny, které sice zabírají zemědělskou půdu, ale mohou na ní být pěstovány opakovaně, případně je to taková půda, která kvůli své špatné kvalitě nemůže být využita pro pěstování potravinářských surovin. Zároveň nepotřebují ke svému množství přílišné množství vody ani hnojení. Mezi suroviny pro výrobu biopaliv 2. generace řadíme mimo zbytků také rychle rostoucí dřeviny, ze kterých buď enzymaticky nebo napařováním či dalšími jinými postupy oddělíme glukózu od celulózy. Takto vzniklá

glukóza je dále využita k výrobě ethanolu, který má využití u benzinových motorů a celulózu je možné přímo spalovat (Osička et al. 2012).

3.3.3.3 Biopaliva 3. generace

Výchozími surovinami pro biopaliva 3. generace jsou plodiny, které se v současné době podrobují dalšímu vývoji a výzkumu. Jsou jimi zejména rychle rostoucí stromy, rostoucí ve vlhkém prostředí, či řasy. Tyto plodiny jsou nazývány energetické plodiny a jsou pěstovány výhradně pro výrobu paliv (Dahiya 2015). Tato biopaliva jsou zkoumána kvůli nevýhodám, které s sebou nesou biopaliva 1. a 2. generace. U 1. generace biopaliv je to zatížení zemědělské půdy, konkurenční boj o ni a zvyšování cen potravin. U biopaliv 2. generace se jedná o produkci emisí skleníkových plynů či velkou spotřebu vody při pěstování energetických plodin. Proto vznikají biopaliva 3. generace, která jsou vyráběna z vodních řas a mikrobů. Využívané řasy jsou autotrofní nebo heterotrofní organismy. I tato generace s sebou nese jisté nevýhody. Je finančně velice nákladná a například řasy rostoucí v rybnících mohou být poškozeny či kontaminovány okolním prostředím (Oumer et al. 2018). Biopaliva 3. generace jsou z těchto tří generací nejméně prozkoumaná. Zjišťují se zejména možnosti získávání biopaliv z mořských řas, protože určité miniaturní druhy řas obsahují ve svém těle až 80 % lipidů, které mohou být dále využity k výrobě biopaliv (Osička et al. 2012). Osička a kol. (2012) ve své knize uvádí, že odhad výtěžnosti mořských řas by mohl být až 30x větší, než jaký je u olejnin jako je například řepka nebo slunečnice a mají tedy značný potenciál pro výrobu biopaliv.

3.3.3.4 Porovnání biopaliv 1. a 2. generace

Biopaliva 2. generace s sebou nesou několik problémů. Tyto problémy však vycházejí již z biopaliv 1. generace. Biopaliva 2. generace oproti 1. generaci nesoutěží takovým způsobem s potravinářskými plodinami o půdu, avšak ani zde to není zcela nevyhnutelné. Biopaliva 2. generace sice pocházejí z biomasy, potravinářských a dalších zbytků, pěstují se na půdě horší kvality, která by byla pro pěstování potravinářských plodin nevhodná, ale jistá konkurence je i zde. Důvodem je to, že některé rostliny rostou ve stejném klimatickém pásu jako potravinářské plodiny a také to, že energetické plodiny či celulózové zdroje např. kukuřice, nemohou být zaorány, a tím odeberou z půdy velké množství živin, které musí být následně do půdy dodány formou hnojiv. Dále postup výroby biopaliv 2. generace je oproti výrobě 1. generace výrazně komplikovanější. Je potřeba nejprve získat cukry, které jsou v biomase, oproti cukernatým plodinám, se kterými se pracuje při výrobě biopaliv 1. generace, a to znamená využití více energie a potřebu více materiálů. I proto se od biomasy postupně odstupuje a je snaha využít více druhů jiných surovin. Zároveň ale biopaliva oproti fosilním palivům přinášejí i ekonomické výhody. Avšak hlavní snaha biopaliv je zlepšení kvality životního prostředí, snížení znečištění ovzduší, snížení emisí skleníkových plynů, ale také tvorba nových pracovních míst. Díky biopalivům se snižuje závislost na dovozu ropy a znamená to tedy, že biopaliva jsou ekonomicky, sociálně i environmentálně žádoucí. Oproti výrobě biopaliv 1. generace není výroba biopaliv 2. generace ještě zcela vyzrálá a stále má do budoucna perspektivní výhled, a to zejména ve snížení nákladů a zároveň ve zvýšení efektivity výroby (Datta et al. 2019).

3.3.3.5 Porovnání biopaliv 2. a 3. generace

Biopaliva 3. generace jsou energeticky náročnější než biopaliva 1. a 2. generace. Nejsou však tak náročné na oblast pěstování a sklizně, jsou pěstovány jako levné, avšak vysoce energetické a v neposlední řadě plně obnovitelné zdroje energie. Biopalivech 3. generace se zaměřují zejména na řasy. Jejich hlavní výhodou je, že mohou růst v oblastech, které jsou nevhodné pro plodiny k výrobě biopaliv 1. i 2. generace, a tím nezatěžují ornou půdu a nevyžadují ani přísun vody, která by byla použita na úkor lidské potřeby. Mohou růst v odpadních vodách, ale i ve slaných vodách, jako jsou moře, oceány či slaná jezera. Jejich zpracování je dosud zkoumáno a jejich výroba je prozatím velmi nákladná. Aby se mohly ekonomicky dorovnat s biopalivy 2. generace je zde potřeba zajistit takové metody sklizně, které budou energeticky účinné a nákladově efektivní – jejich vstup energie bude co nejmenší. Pro výrobu biopaliv z mikrořas se používají špičkové techniky zpracování biomasy, proto je potřeba zajistit co nejmenší vstupní energii. Stále se však vyvíjí nové postupy sklizně a technologie zpracování, které mají dosáhnout nižších provozních výdajů, které jsou v současné době velmi vysoké. Biopaliva 3. generace však budou v blízké době silným konkurenčním zdrojem biopalivům 2. generace (Datta et al. 2019).

3.4 Zhodnocení biopaliv 2. generace

V roce 2007 se výrazně zvýšily ceny potravin, což bylo z velké části přičítáno tomu, že dané plodiny byly pěstovány přímo pro výrobu biopaliv. I z tohoto důvodu se hledalo řešení, které by umožnilo jistý kompromis. Vznikla tedy biopaliva 2. generace, k jejichž výrobě se využívají například nepotřebné, jinak nevyužitelné rostliny, zejména pro svoji biomasu nebo pro vysoký obsah cukru či oleje. Dále jsou k jejich výrobě využity odpadní látky, jak z lesních ekosystémů, tak zbytky ze zemědělské činnosti (Carels et al. 2012). Biopaliva 2. generace jsou také průmyslově rozvinutější než biopaliva 1. generace. Říká se jim také pokročilejší biopaliva, protože jejich těžba z těchto zdrojů je velmi náročná. Biopaliva 2. generace mají využití v kombinaci s ropnými palivy ve stávajících motorech nebo v upravených vozidlech s motory spalovacími, například DME (dimethylether) vozidla. Hlavními zdroji biopaliv 2. generace jsou BTL – nafta a lignocelulózový ethanol. Dalším zdrojem je pak bioSNG – syntetický plyn podobný zemnímu plynu (Datta et al. 2019).

3.4.1 Požadavky na biopaliva 2. generace

Biopalivo musí být obnovitelné a čisté. Obnovitelné ve smyslu, že ho můžeme opětovně vypěstovat. Dále biopalivo musí mít vysoký obsah energie. Dále se musí jednat o směs, která je lehce mísitelná s jinými palivy a která by neměla nijak ovlivnit současný chod motoru. Nemělo by dojít ke změnám ve vývoji motoru, ani jeho opětovnému použití. Dále by toto biopalivo nemělo mít žádný dopad na spolehlivost a výkon motoru, ale také na jeho bezpečnost a životnost. A samozřejmě biopaliva musí být udržitelná, tzn. neměla by negativně ovlivňovat životní prostředí (Jansen 2013).

Roland A. Jansen (2013) ve své knize uvádí, že biopaliva 2. generace, jsou stejně důležitá jako rozvoj internetu. Dodávky energie, které jsou nyní získávány z fosilních paliv (benzín,

nafta, plyn či petrolej), nejsou totiž neomezené a jejich zdroje obnovitelné. Vstupní suroviny biopaliv 2. generace jsou schopny absorbovat ze vzduchu oxid uhličitý.

3.4.2 Suroviny pro výrobu biopaliv 2. generace

Stále více se mezi suroviny pro výrobu biopaliv 2. generace řadí zbytkové odpady. Mimo lesní či zemědělské zbytky se stále více dostává do popředí zbytkový odpad z domácností či stravovacích zařízení. Biologický odpad je také jednou z možností, která může být vhodná pro energetické využití. Proto v Německu, Rakousku a Švýcarsku zavedli již v 90. letech nový systém nakládání s bioodpadem, a to kontejnery na biologický odpad. Tento systém umožnil oddělení anorganického odpadu od biologického organického, který je dále vhodný ke kompostování či fermentování. Zde se ukázalo že biologický odpad tvořil okolo 30–45 % veškerého odpadu. Struktura biologického odpadu se pak liší dle místa jeho původu (např. města, vesnice), čímž je ovlivněna i jeho vhodnost pro další možné využití (Deublein & Steinhauser 2011).

3.4.2.1 Suroviny pro výrobu bioethanolu 2. generace

Suroviny pro výrobu bioethanolu 2. generace nevyžadují a nepotřebují zemědělskou půdu. Jsou enzymaticky proměňovány v celulózoový ethanol. Tato biopaliva jsou nejčastěji používána jako přísada do benzínu. Ethanol vzniká fermentací sacharidových částí rostlinných materiálů. Pro jeho výrobu převažují škrobové a cukernaté plodiny. S vývojem pokročilejších technologií může být surovinou pro výrobu ethanolu celulózová biomasa, jako je dřevní biomasa či trávy. Ethanol má dále vícero využití. Ve své nejčistší formě je využíván jako palivo pro vozidla nebo bývá často využíván jako benzínové aditivum zvyšující oktanové číslo a snižující emise vycházející z vozidla (Jansen 2013).

Obecně lze tedy suroviny pro výrobu bioethanolu nazvat lignocelulózoovými surovinami. Lignocelulóza je nejdostupnějším nevyužitelným biologickým materiálem na planetě (Bhatia et al. 2017). Hlavními složkami těchto surovin je celulóza, hemicelulóza a lignin. Tyto složky mohou být řadou termochemických a biologických procesů přeměněny na cukry, které jsou dále fermentovány na bioethanol (Carriquiry et al. 2011). Celulóza je v buněčných stěnách rostlin a jedná se o nejrozšířenější organický polymer. Je složená z D-glukózy, jejíž jednotky jsou mezi sebou spojeny β -1,4 glykosidickou vazbou. Hemicelulóza je rozvětvený polysacharid tvořený hexózami, kterými jsou D-glukóza, D-galaktóza a D-manóza, pentózami jako D-xylóza a L-arabinóza. Dále hemicelulóza obsahuje uronové kyseliny (kyselina D-glukouronová) a také další cukerné methylderiváty. Převážně celulózou jsou tvořeny zemědělské zbytky jako rýžová sláma nebo kukuřičný klas. Lignin je rovněž důležitou součástí buněčných stěn a tvoří cca 25 % rostlinné biomasy. Je to tuhý biopolymer, který má vysokou molekulovou hmotnost. Biomasa má robustní velmi odolnou strukturu, právě kvůli úzkému propojení celulózy a hemicelulózy s ligninem vodíkovými můstky a kovalentními vazbami. Právě složení biomasy má zásadní význam v procesu výroby bioethanolu (Cheah et al. 2020).

Lignocelulózová biomasa je tedy velmi slibnou surovinou pro výrobu biopaliv. Má však jistou nevýhodu, která brání velkovýrobě biopaliv a tou jsou velmi vysoké náklady na zpracování těchto surovin, které jsou jinak velmi jednoduše dostupné a v hojném množství produkované (Cheah et al. 2020).

Zemědělské zbytky

Mezi plodiny, jejichž zbytky nacházejí využití při výrobě biopaliv patří kukuřice, ječmen, pšenice, čirok, rýže či cukrová třtina. Hlavním kladem využívání zemědělských zbytků oproti výrobě biopaliv z plodin používaných na zrno nebo vybraným energetickým surovinám je to, že nepotřebují žádnou další půdu. Je využita stejná půda jak pro zrno, které má zemědělské využití, tak současně získáme zbytky pro výrobu biopaliv. Výroba biopaliv ze zbytků by neměla výrazně ovlivňovat přímý dopad na ceny potravin. Zamezí se tak hospodářskému soupeření o půdu a také emisím skleníkových plynů, které jsou spojeny se změnami ve využívání půdy. Odstraňování zbytků má kladný, ale i záporný vliv. Přínosné může být pro některé plodiny, protože pomáhá s regulací škůdců a chorob. Dále příznivě ovlivňuje teplotu půdy na jaře, která je tímto vyšší a usnadňuje klíčení semen. Zbytky plodin jsou však také důležité pro udržení důležitých vlastností půdy, zadržování vody či odlučování uhlíku v půdě. Nadměrné odstraňování půdních zbytků tedy může nepříznivě ovlivnit jak vlastnosti půdy, tak životní prostředí či rostlinnou výrobu (Carriquiry et al. 2011).

Zbytky z lesů

Mezi lesní zbytky řadíme zbytky po těžbě dřeva, palivové dřevo, které je vyextrahované z lesních porostů a dále pak zbytky ze zpracování dřeva, ať už primárního nebo sekundárního. Z lesních zbytků jsou to například štěpka z tvrdého dřeva, ořezy z jehličnanů, piliny či kůra (Ganguly et al. 2021). Je zde několik faktorů, které omezují potenciální využití lesních zbytků pro výrobu biopaliv. Carriquiry a kol. (2011) ve své studii uvádí 2 faktory. První faktor je ekonomický, konkrétně jsou to náklady na dopravu, protože omezená dostupnost zvyšuje provozní náklady. Druhý faktor se týká ochrany životního prostředí. Je jím potenciální snižování využitelnosti ve sklizňových oblastech. Mimo lesní zbytky se sem mohou zařadit i zbytky z parků či zahrad, jako jsou větve, trávy či listí (Ganguly et al. 2021).

Organický odpad

Pro výrobu biopaliv zejména 2. generace, biopaliv z odpadních materiálů, hraje organický odpad významnou roli. V EU se jedná zejména o tuhý komunální odpad (TKO), který tvoří zbytky z papírenského průmyslu jako papíry a kartony, živočišné tuky a další vedlejší živočišné produkty, kuchyňský odpad jako jsou použité, recyklované rostlinné oleje, zahradní odpad, ale také textil. TKO je do jisté míry biologicky odbouratelný, uvádí se v průměru z 65 %. Právě tato biologicky odbouratelná frakce je velmi významná při výrobě biopaliv a lze ji tedy považovat, za alternativní udržitelný zdroj. Toto splňují například bioplyn či bioethanol (Antizar-Ladislao & Turrion-Gomez 2008). Jako organický odpad lze použít i odpad z průmyslu, jako jsou použitá zrna z lihovarů nebo vypražená zrna z pivovarů, přičemž hlavní složkou těchto zbytkových surovin je celulóza (Ganguly et al. 2021).

Bylinné a dřevité plodiny

Energetické plodiny jsou používány jako pevná biomasa využívaná v elektrárnách k výrobě energie nebo jako plynná biomasa používaná k produkci bioplynu. Pokud jsou energetické

plodiny zpracovány na kapalné palivo, zahrnujeme je do kapalné biomasy. Potenciálním zdrojem surovin pro výrobu biopaliv jsou nepotravinářské energetické plodiny, tzv. jednoúčelové energetické plodiny. Oproti energetickým plodinám k výrobě 1. generace biopaliv, kterými jsou například kukuřice či sója, jsou energetické plodiny druhé generace zahrnuty do travních a dřevinných energetických plodin. Travní energetické plodiny jsou převážně byliny a vytrvalé pícniny. Velmi dobrým zdrojem pro biopaliva 2. generace jsou například proso prutnaté (*Panicum virgatum*) a ozdobnice (*Miscanthus sp.*). Proso nemá náročné požadavky na výživu a růst a snadno se přizpůsobí i nízké kvalitě půdy. I pěstování prosa má však nevýhodu, že plné zahájení produkce přichází až za 2 až 3 roky. Dále má omezeně dostupný genotyp a jsou zde také zřetelné ztráty v období zimy. Dřevinné energetické plodiny jsou významnými surovinami pro výrobu biopaliv, a to hlavně pro jejich vysoký výnosový potenciál a široké rozšíření po celém světě. Jako nejčastější dřeviny pro výrobu biopaliv jsou uváděny vrba, topol a eukalyptus. Energetické plodiny, které jsou určeny jako suroviny zlepšují půdní vlastnosti, snižují erozi a jsou celkově méně náročné. Na jednotku půdy z energetických plodin získáme výrazně větší množství energie a je tedy i výrazně vyšší podíl biomasy. Aby se zabránilo konkurenčnímu hospodářskému boji o půdu, který se vede zejména s potravinářskou výrobou, je vhodné tyto energetické plodiny, kterými jsou právě dřeviny a pícniny pěstovat na půdě, která je nevhodná pro pěstování potravinářských plodin, ale i pro pastviny a pro další výrobní činnost (Carriquiry et al. 2011).

3.4.2.2 Suroviny pro výrobu bionafty 2. generace

Pro výrobu bionafty 2. generace jsou používány zejména oleje ze stromů a rostlin, u kterých není nutné, aby rostly na kultivované zemědělské půdě. Je to hlavní rozdíl oproti surovinám pro výrobu biopaliv 1. generace, kterými jsou oleje z rostlin, které jsou pěstované na kultivované zemědělské půdě, jako řepkový olej, slunečnicový olej, sójový či palmový olej. Dalšími surovinami pro výrobu bionafty 2. generace jsou živočišné a recyklované tuky (Jansen 2013). Bionafta 2. generace je získávána z olejů ze stromů jako jsou *Jatropha curcas*, *Pongamia pinnata* či *Camelina sativa* (Kumar & Saluja 2020). Pro výrobu bionafty se také využívají primární a sekundární alkoholy, které mají ve svém řetězci od 1 do 8 uhlíků. Mezi tyto alkoholy patří například methanol, ethanol, propanol či butanol (Guerrero F. et al. 2011).

Odpadní kuchyňský olej

Odpadní kuchyňský olej se získává převážně z procesu smažení, kde je potřeba velké množství oleje. Při smažení je potravina v oleji, který má teplotu více než 180 °C, celá ponořená čímž vzniká velké množství odpadního produktu. Opětovné použití tohoto oleje ke kuchyňským účelům je již nevhodné, protože při takto vysokých teplotách dochází v oleji ke změnám v chemické i fyzikální struktuře, které následně ovlivňují kvalitu potravin (Guerrero F. et al. 2011). Výhodou odpadního oleje pro výrobu biopaliv je zejména to, že byl již využitý, a pro potravinářské účely tak nemá žádnou hodnotu. Další výhodou je, že je celosvětově dostupnou surovinou, a že jeho přeměna na bionaftu není složitý proces. Je-li správně rafinován a smíchán s naftou, má potenciál být jedním z nejlepších zdrojů biopaliv (Oumer et al. 2018). Odpadní kuchyňský olej je tedy důležitým ekonomicky přijatelným a životaschopným biologickým zdrojem pro pyrolýzní výrobu kapalných biopaliv. Největším zdrojem použitého

rostlinného oleje jsou fastfoodové řetězce, restaurace, hotelové kuchyně, menzy nebo nemocniční kuchyně (Ben Hassen Trabelsi et al. 2018).

Odpadní kuchyňský olej k výrobě bionafty musí před použitím projít několika úpravami. Nejprve dochází k filtraci, kde se odstraní pevné látky, anorganické látky a další kontaminanty. Filtrace probíhá při teplotě 60 °C, přičemž dochází k odstranění uhlíkatých látek vzniklých spálením organického materiálu a dalších odpadních materiálů. Další fází úpravy odpadního oleje je odkyselení. Při tomto procesu dochází k odstranění volných mastných kyselin různými způsoby. Například neutralizací alkalickým roztokem, extrakcí rozpouštědly, destilací mastných kyselin či jejich odstranění iontovou výměnou. Velmi produktivní metodou je právě neutralizace. Další úpravou před použitím odpadního oleje k výrobě bionafty je bělení (Guerrero F. et al. 2011).

Kafilérní tuky

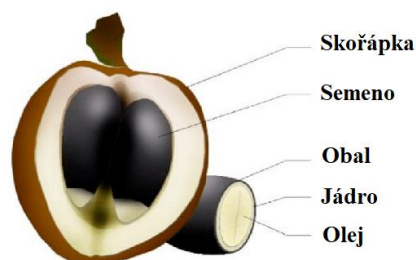
Kafilérní tuky jsou získávány zejména jako vedlejší produkt na porážkách masných zvířat či při kafilérním zpracování uhynulých zvířat. Hlavními živočišnými tuky jsou lůj ze zpracování skotu, sádlo ze zpracování prasat či drůbeží tuk ze zpracování drůbeže. Využití kafilérních tuků pro výrobu bionafty s sebou nese výhody v oblasti hospodářství, životního prostředí i bezpečnosti potravin. Tyto tuky však mají vysoký obsah nasycených mastných kyselin a kontaminantů, což komplikuje výrobu biopaliv, a jsou proto vyžadovány složitější výrobní techniky. Bionafta z kafilérních tuků má tedy nižší fyzikální a chemickou kvalitu, ale oproti tomu vysokou výhřevnost, vysokou oxidační stabilitu a vysoké cetanové číslo (Adewale et al. 2015).

***Jatropha curcas* (Dávivec černý)**

Jatropha curcas je nepotravinová rostlina, jejíž olej je využíván pro výrobu bionafty 2. generace. Pochází ze Střední Ameriky a dále se rozšiřuje do Severní Ameriky, Indie, Afriky a dalších oblastí tropického a subtropického pásu (Procházka et al. 2019). *Jatropha curcas* je výhodná zejména z ekonomického hlediska pro vysokou výtěžnost oleje a zároveň nemá vysoké požadavky na vodu a dodávané živiny. Sklizeny jsou plody, ze kterých jsou získávána olejnatá semena. Průřez plodem *Jatropha curcas* je znázorněn na Obr. 3.7. Obsah oleje v semenech je okolo 37 %. Než olej projde destilací je hořlavý, a je proto využíván jako palivo (Singh et al. 2021). Bionafta vyrobená z *Jatropha curcas* je často nazývána jako zelená nafta. Tuto bionaftu je možné použít do standartních vznětových motorů, ale zásadní využití nachází v letecké dopravě. *Jatropha curcas* roste i na takových typech půdy, na kterých většina potravinových plodin není schopná růst (Oumer et al. 2018). Olej z *Jatropha curcas* je považován za jednu z nevýznamnějších surovin pro biopaliva v letecké dopravě. Ve srovnání s další energetickou plodinou *Camelina sativa* má *Jatropha curcas* vyšší výtěžnost na hektar a zároveň má olej z ní získaný lepší profil mastných kyselin. Je zde velké zastoupení mastných kyselin s uhlíkovými strukturami C₁₆–C₁₈, které svou strukturou po deoxygenaci odpovídají motorové naftě (Alherbawi et al. 2021).

Biopaliva z *Jatropha curcas* mají využití zejména v letecké dopravě, kde se očekává do roku 2050 expanzivní růst. Očekávání jsou taková, že mezi lety 2008 a 2025 vzroste poptávka po těchto palivech o 38 %. V současné době jsou biopaliva Jet Biofuel (JBF) pro společnost

spolehlivou náhradou za běžná paliva z neobnovitelných zdrojů (Jet-A). Právě olej z jatrophy je pro JBF zásadní surovinou, kterou je možné hydrogenačním zpracováním snížit emise skleníkových plynů až o 75 % ve srovnání s palivy Jet-A (Alherbawi et al. 2021).



Obr. 3.7 - Průřez plodem *Jatropha curcas* (Alherbawi et al. 2021)

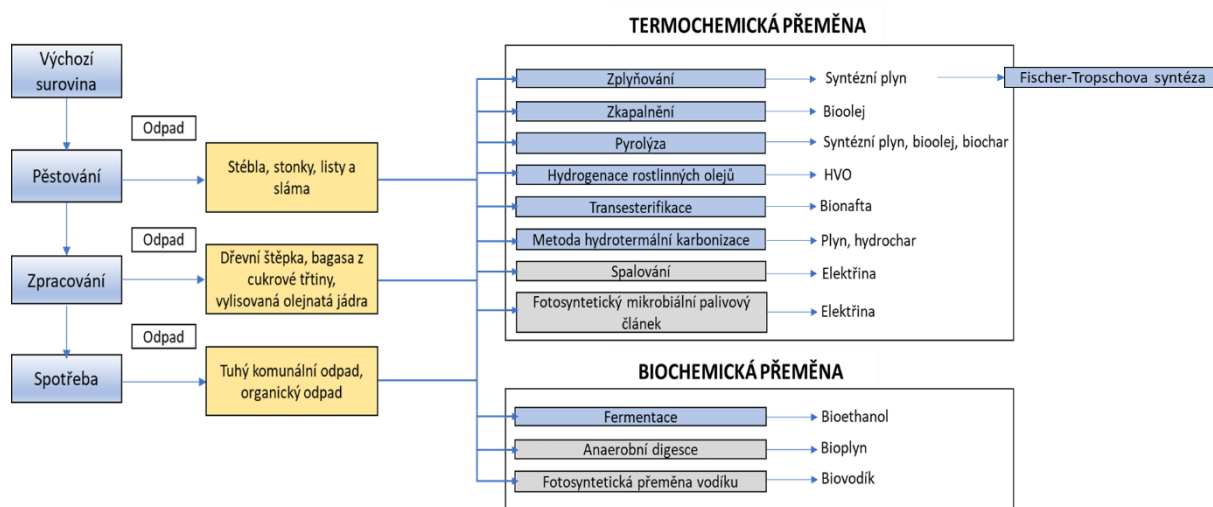
***Camelina sativa* (Lnička setá)**

Camelina sativa je další semenná plodina pro výrobu biopaliv 2. generace. Je to energetická plodina z čeledi *Brassicaceae*, která je schopna růst i v severnějších oblastech světa. Výhodou je, že ji lze pěstovat v rotačním cyklu s ozimou pšenicí, kde zabraňuje růstu plevelů na půdě, která by byla jinak nevyužitá. Z jejích semen je možné vyextrahovat až 40 % oleje. *Camelina sativa* má nižší požadavky na vodu, než běžně využívané olejninu jako je řepka, slunečnice či sója, ale zároveň vyšší, než má *Jatropha curcas*. Bionafta z oleje z *Camelina sativa* je slibným řešením pro paliva v letecké dopravě. Accelergy Corp., Biojet Corp., LLC nebo Altair, jsou některé z firem, které pracují na výrobě obnovitelné bionafty z *Camelina sativa* pro leteckou dopravu. Oproti ropným palivům vykazuje za celý svůj život výrazně nižší emise skleníkových plynů a je velmi slibnou alternativou k ropným palivům (Moser 2010).

3.4.3 Technologie výroby biopaliv 2. generace

Výroba biopaliv 2. generace vychází z technologií výroby biopaliv 1. generace, liší se však zpracovávanými surovinami. Biopaliva 2. generace jsou vyráběna zejména biochemickým či termochemickým procesem. Obr. 3.8 znázorňuje vznik odpadní biomasy a její následné zpracování pro výrobu biopaliv 2. generace. U metod biochemické přeměny biomasy dochází nejprve k předúpravám lignocelulózy biomasy, aby došlo ke snadnějšímu uvolnění cukrů. Cukr je následně fermentován na bioalkohol. Předúpravy se provádí kvůli lepší výtěžnosti alkoholů procesem fermentace (Bhatia et al. 2017). Termochemickou přeměnu biomasy a výrobu biopaliv z ní lze rozdělit do několika stupňů. Nejprve probíhá zplyňování biomasy za přítomnosti vody ve formě páry a kyslíku. Zde při vysokých teplotách vzniká syntézní plyn někdy nazývaný synplyn. Je to plyn složený převážně z oxidu uhelnatého a vodíku. Následuje rafinace plynu, kde do procesu opět vstupuje voda a při různých stupních čištění se oddělují od syntézního plynu příměsi, kterými jsou oxid uhličitý, prach a další nežádoucí látky, jako například oxidy dusíku, oxid siřičitý a další sloučeniny síry. Dále následuje chemická syntéza. Procesem syntézy je syntézní plyn přeměněn na kapalné uhlovodíky (převážně methanol), které dále procházejí finalizací produktu, na jejímž konci zušlechťením vznikají biopaliva 2. generace a vedlejší produkty. Nejznámější a nejrozšířenější syntézou je Fischer-Tropschova syntéza. Také biooleje se získávají z biomasy zejména pomocí extrakčních procesů a tepelné energie,

Lze je však získat i biochemickými procesy jako je fermentace, digesce nebo hydrolýza. Dalšími technologiemi termochemické přeměny jsou zkapalnění, pyrolýza, transesterifikace a další (Jayasinghe & Hawboldt 2012).



Obr. 3.8 – Znárodnění metod výroby biopaliv 2. generace (Hu et al. 2010; Lee et al. 2019; Ganguly et al. 2021); vlastní zpracování)

3.4.3.1 Technologie výroby biopaliv 2. generace biochemickou přeměnou

Biochemickou přeměnou je v současné době vyrobený téměř veškerý lignocelulózový bioethanol. Při biochemické přeměně dochází nejprve k předúpravě lignocelulózové biomasy, následně k enzymatické hydrolýze a na závěr k mikrobiální fermentaci (Zhang et al. 2016).

Předúpravy lignocelulózové biomasy

Předúprava lignocelulózové biomasy se provádí s cílem její frakcionace na jednotlivé složky. Lignocelulózová biomasa se skládá z organických sloučeniny jako je lignin, celulóza a hemicelulóza, přičemž cílem těchto předúprav je narušit ligninovou vrstvu kolem celulózy, aby došlo k lepšímu uvolňování volných sacharidů a snadnější a efektivnější fermentaci. Předúpravy lignocelulózové biomasy mohou být chemické, fyzikální, fyzikálně-chemické a biologické (Bhatia et al. 2017).

- **Chemické předúpravy**

Některé z používaných chemických předúprav jsou předúprava zředěnou kyselinou siřičitou či oxidem siřičitým. Dalšími využívanými kyselinami jsou kyselina chlorovodíková, kyselina sírová, kyselina mravenčí, kyselina octová, kyselina fosforečná, kyselina dusičná, kyselina šťavelová a kyselina maleinová. Další metodou je předúprava s řízeným pH. Dále předúprava vápnem, kde též dojde k rozbití ligninového obalu, zlepší se přístupnost enzymů k celulóze a výtěžek cukru po fermentaci je vyšší (Kesharwani et al. 2019).

- **Fyzikální předúpravy**

Mezi fyzikální metody předúpravy patří využití štěpení, broušení, frézování, mikrovln či ultrazvuku. Cílem je zmenšení velikosti suroviny a zvýšení poměru povrch/objem. Dojde k narušení vláknité struktury, čímž se zvyšuje její výhřevnost. Další fyzikální předúpravou je metoda pulzních elektrických polí, kde vysoké napětí vytvoří v buněčných membránách póry a následně dochází k snadnějšímu štěpení celulózy na volné sacharidy (Bhatia et al. 2017).

- **Fyzikálně-chemické předúpravy**

Mezi fyzikálně-chemické předúpravy patří metoda předúpravy s expanzí čpavkových vláken (AFEX). Při této předúpravě dochází k mísení biomasy a vodného roztoku amoniaku. Při změnách tlaku dochází k narušení ligninového obalu a následně během fermentace a hydrolýzy je celulóza lépe přístupná enzymům a dochází k vyšší výtěžnosti ethanolu (Kesharwani et al. 2019). K předúpravě se využívá horká voda, exploze páry či exploze CO₂. Těmito procesy dochází ke krystalizaci a nabobtnání celulózy a ta se stává přístupnou pro enzymy (Bhatia et al. 2017).

- **Biologické předúpravy**

Biologické metody předúpravy jsou ekologičtější než předchozí a lze je provádět s použitím mikroorganismů nebo enzymatických koktejlů (Bhatia et al. 2017). Využívají se zejména bakterie, houby či jejich enzymy. Předúpravy houbami mají nevýhodu vysoké inkubační doby, která může být týdny až měsíce, avšak mají vysokou účinnost (Zabed et al. 2019). Využívané houby jsou houby bílé hniloby, houby hnědé hniloby či houby měkké hniloby. Tyto houbové kultury produkují enzymy peroxidázu a laktázu, které způsobují degradaci ligninu (Bhatia et al. 2017). Předúpravy bakteriemi či enzymy je možné dokončit během několika hodin případně dnů (Zabed et al. 2019).

Katalyzátory využívané při výrobě biopaliv

Při výrobě bionafty u transesterifikačních reakcí jsou využívány katalyzátory homogenní, ty jsou v průběhu reakce rozpustné, heterogenní nebo enzymové. Homogenními katalyzátory mohou být zásady, jako hydroxid sodný či hydroxid draselný nebo kyseliny, jako kyselina sírová, kyselina chlorovodíková nebo kyselina fosforečná. Kyselé katalyzátory mají vysokou účinnost, teplota jejich působení se pohybuje okolo 100 °C a potřebují ke svému působení dlouhý čas. Příkladem může být výtěžek glycerolu získaný pomocí kyseliny chlorovodíkové a pomocí kyseliny sírové. Při použití kyseliny chlorovodíkové je výtěžek glycerolu 61 % přičemž při použití kyseliny sírové je výtěžek glycerolu až 80 %. Zásadité katalyzátory zvyšují reakční rychlost reakce, ale kvůli velkému množství vody a volných mastných kyselin produkují mýdlo, což je nežádoucí sekundární reakce. Při použití hydroxidu sodného o koncentraci 1 % je výtěžek glycerolu až 85 %. Mezi využívané heterogenní katalyzátory patří oxidy kovů, jako oxid vápenatý či hořečnatý a Lewisovy kyseliny. Výhodou těchto katalyzátorů je, že nejsou korozivní pro daný reaktor a výtěžek glycerolu se pohybuje

okolo 60 %. Reakční doba je vyšší než u reakcí katalyzovaných homogenními katalyzátory (Guerrero F. et al. 2011).

Enzymatická hydrolýza celulózy

Enzymatickou hydrolýzou dochází k úplné depolymerizaci celulózy na fermentovatelnou glukózu (Zhang et al. 2016). V lignocelulóзовých surovinách jsou celulózové a hemicelulózové složky tvořeny uhlohydráty. Ty jsou dále pomocí enzymů nebo kyselin přeměněny na monosacharidy, a tyto monosacharidy jsou dále využity například ve formě HMF (5-hydroxymethylfurfural) nebo furfuralu. Lignin je aromatický polymer tvořený polyfenoly a slouží jako bariéra pro sacharifikaci celulózy a hemicelulózy (Jing et al. 2019).

Vzhledem k heterogenitě biomasy je k degradaci lignocelulózy potřeba použít koktejl enzymů, protože jeden konkrétní enzym by nebyl pro degradaci účinný. Pro rozdílné druhy biomasy je potřeba použít rozdílné druhy enzymových koktejlů. Proto musí být enzymy neustále technologicky zkoumány, aby došlo k co nejvýhodnější kombinaci a co nejúčinnější degradaci lignocelulózy. Nejčastěji využívanými skupinami enzymů jsou celulózy hydrolyzující celulózu, xylanázy hydrolyzující xylan, který je hlavní složkou hemicelulózy. Dále jsou využívány peroxidázy a lakázy, které napomáhají degradaci ligninu. Přehled enzymů hydrolyzující jednotlivé složky lignocelulózy je uveden v Tab. 3.3. Aktivitu celulózy zvyšují pomocné proteiny. Dalšími využívanými enzymy jsou mikrobiální glykosidové hydrolázy, které napomáhají hydrolýze biomasy (Binod et al. 2019).

Tab. 3.3 - Přehled enzymů hydrolyzujících jednotlivé složky lignocelulózové biomasy (Zhang et al. 2016)

Lignin	lakázy, manganperoxidáza, ligninperoxidáza
Celulóza	celobiohydroláza, endoglukanázy, β -glukosidáza
Hemicelulóza	endoxylanáza, β -mannosidáza, acetylxylanesteráza, esteráza kyseliny ferulové, β -xylosidáza, esteráza kyseliny p-kumarové, endomannanáza, α -galaktosidáza, α -L-arabinofuranosidáza, α -glukuronidáza

Mikrobiální fermentace lignocelulózového a potravinového odpadu

Mikrobiální fermentace je biologická metoda, při které je dosahováno vysoce hodnotných produktů za působení mikroorganismů (Wainaina et al. 2018). Mikroorganismy transformují molekulu suroviny na konkrétní produkt. Ethanolovou fermentací dochází ke vzniku ethanolu z glukózy. Fermentace musí probíhat při nízkém pH, aby se zamezilo mikrobiální kontaminaci. Komerční význam je zatím přikládán pouze kvasinkám *Saccharomyces cerevisiae* a *Zygomonas mobilis*. *Saccharomyces cerevisiae* je schopná fermentovat monosacharidy glukózu, fruktózu, galaktózu a manózu, dále disacharidy maltózu a sacharózu či trisacharidy maltotriózu a rafinózu. Kvasinky nejsou schopné fermentovat polysacharidy s delším řetězcem jako je škrob a celulóza, proto musí docházet k předúpravám. *Zygomonas mobilis* je schopná nativní fermentace glukózy a fruktózy, některé kmeny jsou schopny fermentovat sacharózu (Zhang et al. 2016). Mikrobiální fermentace potravinového

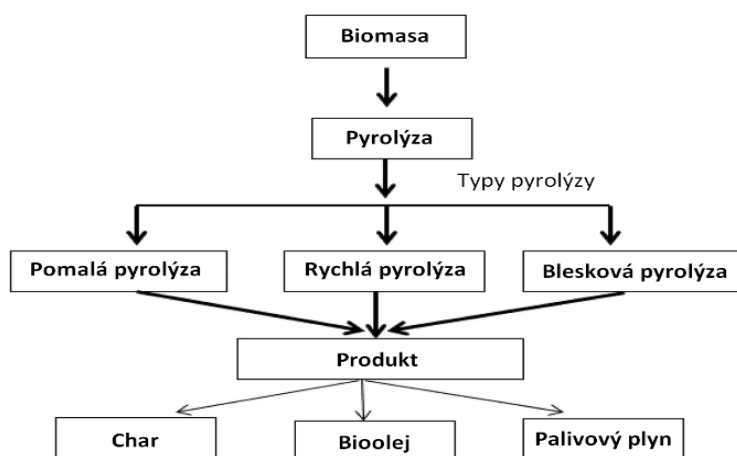
odpadu pro výrobu biopaliv by mohla být velmi udržitelným a ekonomickým řešením pro nakládání s potravinovým odpadem (Sharma et al. 2020).

3.4.3.2 Technologie výroby biopaliv 2. generace termochemickou přeměnou

Termochemickou přeměnou biomasy a odpadních produktů se rozumí proces vysokoteplotní chemické reformace, při kterém dochází k přeměně organické hmoty na tuhý biochar, syntézní plyn či kapalný bioolej. Biochar vzniká při teplotách do 1000 °C, syntézní plyn či bioolej pak při teplotách vyšších (Ganguly et al. 2021). Třemi hlavními výrobními procesy jsou pyrolýza, zplyňování a zkapalňování. Využívané jsou však i další technologické procesy (Lee et al. 2019).

Pyrolýza

Pyrolýza je tepelný rozklad biomasy probíhající za nepřítomnosti kyslíku v rozmezí teplot nejčastěji okolo 350–550 °C, teplota však může dosáhnout až 700 °C. Pyrolýzou jsou organické materiály rozkládány na pevnou, kapalnou a plynnou směs. Procesem pyrolýzy je nejčastěji produkováno kapalné palivo nazývané pyrolýzní olej neboli bioolej. Výhodou tohoto biooleje je snadná skladovatelnost a přeprava. Pyrolýzu je možné rozdělit na 3 typy (viz Obr. 3.9), na pomalou, rychlou a bleskovou, přičemž výsledné složení produktu je ovlivněno provozními podmínkami. Produktem pomalé pyrolýzy je char, produktem rychlé pyrolýzy je bioolej a produktem bleskové pyrolýzy je topný plyn (Lee et al. 2019).



Obr. 3.9 – Typy pyrolýzy biomasy (Lee et al. 2019)

V poslední době je stále častěji přistupováno ke společné pyrolýze (kopyrolýze) biomasy s různými odpadními materiály, například odpadními plasty. Kopyrolýza je simultánní tepelný rozklad dvou komponentů (2 druhy odpadů, odpad a biomasa atd.) v inertní atmosféře za zvýšené teploty (Gin et al. 2021). Kopyrolýza je výhodná metoda, která zvyšuje jak množství vyrobeného oleje, tak jeho kvalitu. Lepší kvalita je zejména ve vysoké výhřevnosti, což je způsobeno tím, že syntetické plasty jsou organické polymery, které jsou odvozeny z ropných produktů s vysokým obsahem uhlíku a vodíku, a které neobsahují téměř žádný kyslík. Mají tedy velmi vysokou výhřevnost, která je srovnatelná s konvenčními fosilními palivy, kterými

jsou nafta či benzín (Uzoejinwa et al. 2018). Kopyrolýza se dostává v současné době velmi do popředí. Mimo to, že vede ke zkvalitnění vzniklých produktů, tak ani neuvolňuje do životního prostředí škodlivé látky (Gin et al. 2021).

Kopyrolýza biomasy s odpadními plasty se tedy ukázala jako výhodnější než běžná pyrolýza. Výsledkem je dosažení jednoduššího řešení k dosažení efektivního nakládání s odpadovým materiálem, ke snížení závislosti na fosilních palivech, ale také zvýšení energetické bezpečnosti celých národů (Uzoejinwa et al. 2018). Vznikají větší možnosti likvidace odpadů, čímž se snižuje riziko negativního dopadu na životní prostředí. Zároveň kopyrolýza může přispívat ke snížení výrobních nákladů na vzniklá paliva. Mezi nejvhodnější plasty pro kopyrolýzu patří polystyren, polyethylen a polypropylen (Gin et al. 2021).

Kopyrolýza vykazuje synergický účinek, kdy kombinace dvou nebo více prvků či komponentů vykazuje vyšší účinek než součet účinků jednotlivých prvků. To způsobuje vyšší kvalitu i kvantitu výsledného produktu. Mnoho vědců vysvětluje právě synergický účinek kopyrolýzy biomasy s odpadními plasty jako hlavní faktor zlepšení kvality i množství oleje (Uzoejinwa et al. 2018).

Zplyňování surovin biomasy

Zplyňování je proces, při kterém dochází k přeměně biomasy působením tepla, kyslíku a páry. Biomasa je tímto procesem přeměňována na oxid uhličitý, oxid uhelnatý, vodík, dále na lehčí uhlovodíky jako je methan, ethan nebo propan a na těžší uhlovodíky, jako je například dehet. Pro vznik těžších uhlovodíků dosahuje teplota působící na biomasu k 700 °C. Dále dochází k dalším reakcím. Například k reakci oxidu uhelnatého s vodou, přičemž vzniká oxid uhličitý a vodík. Dochází k posunovací reakci voda-plyn, což dále umožní vzniklému vodíku oddělení se a očištění (Foong et al. 2020). Stále více se zkoumá snaha o propojení zplyňování s fermentací syntézního plynu. Cílem je zajistit podmínky zplyňování tak, aby vznikl poměr $H_2:CO:CO_2$, který bude vhodný pro následnou fermentaci tohoto plynu. Je nutné vytvořit ideální podmínky pro mikroorganismy, a proto je potřeba odstranit látky, které by mohly inhibovat jejich aktivitu. Cílem je získat co nejlepší kvalitu syntézního plynu (Liakakou et al. 2020).

Zplyňování potravinového odpadu

Potravinový odpad je zejména odpad ze zpracovatelského průmyslu, kuchyní a domácností, který většinou obsahuje zhruba 30 % pevných organických látek. Potravinový odpad se velmi často mísí s jinými druhy odpadu. K likvidaci potravinového odpadu slouží skládky, tzv. forma skládkování. Je to běžná metoda, která však s sebou nese mnoho negativních vlivů na ekosystém. Potravinový odpad na skládkách při rozkladu vylučuje skleníkové plyny, a to zejména methan. Další vznikající nežádoucí sloučeniny jsou uvolňovány například do podzemních vod. A proto právě zplyňování potravinového odpadu pro výrobu biopaliv, ale i pro výrobu dalších chemikálií, je bráno jako velmi výhodné a užitečné využití tohoto odpadu jako potenciálního zdroje pro další zpracování. Zplyňování potravinového odpadu se rovněž ukázalo jako výhodnější metoda než pyrolýza, a to zejména z pohledu tepelného zpracování. Při srovnání s pyrolýzou byl u spalování vyšší průtok i výtěžek vodíku

i syntézního plynu, výstupní výkon, ale i tepelná účinnost. Avšak i zplyňování potravinového odpadu má svá negativa. Hlavním negativem je velmi vysoká vlhkost odpadu, a proto je výhodné zplyňovat potravinový odpad s jiným materiálem, jako je například dřevní biomasa, čímž se celková vlhkost sníží, což vede i ke zvýšení kvality oxidu uhelnatého a vodíku (Wainaina et al. 2018).

Zkapalňování biomasy

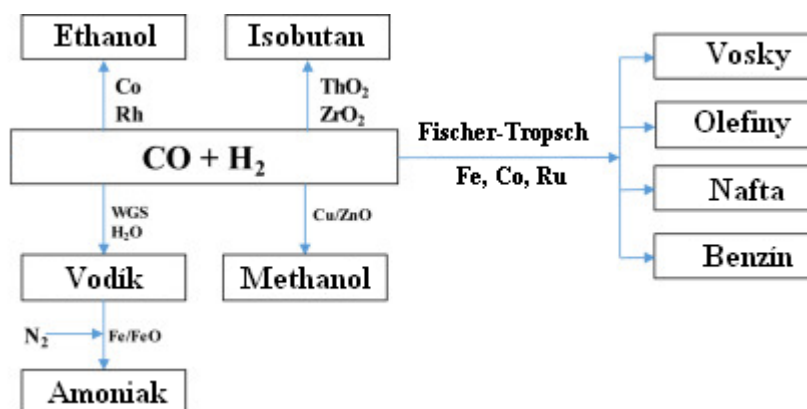
Procesem zkapalňování dochází k výrobě biooleje za nízkých teplot a vysokého tlaku za přítomnosti vodíku. Hydrotermálním zkapalňováním neboli vodní pyrolýzou dochází k přeměně biomasy na bioolej. Probíhá v subkritické vodě při teplotách 250–374 °C a při provozním tlaku 40–220 barů. Vysoký tlak pomáhá udržet vodu v kapalném skupenství. Pro zkapalňování je využívána zejména vlhká či mokrá biomasa, která v tomto případě nemusí být vysušena ani odvodňována, čímž se snižují náklady na její zpracování. Konkrétně se pro zkapalňování využívá dřevní odpad, dřevní biomasa či biomasa na bázi vodních řas (Lee et al. 2019). Hydrotermální zkapalňování biomasy může mimo vodní prostředí probíhat v alkoholech, acetonu případně ve směsích rozpouštědel. Proces může probíhat za účasti katalyzátorů, ale i bez jejich přítomnosti. Využívanými katalyzátory jsou hydroxid sodný, uhličitán sodný, Raneyův nikl, kyselina chlorovodíková či síran železnatý (Bajpai 2020).

Při hydrotermálním zkapalňování nedochází k přeměně všech organických látek na bioolej, ale některé tyto látky v kapalině zůstávají ve formě posthydrotermální zkapalňovací vody. Je dokázáno, že zhruba 20 % uhlíkatých látek ze suroviny odchází do posthydrotermální zkapalňovací vody. Je zde tedy prostor pro zlepšení technologie, aby bylo možné i zbývající uhlíkaté látky přeměnit na produkty s vysokou hodnotou. To by mohlo z hlediska produktivity i z hlediska nákladů zvýšit životaschopnost hydrotermálního zkapalňování (Bajpai 2020).

Fischer-Tropschova syntéza (FT syntéza)

Fischer-Tropschova syntéza (dále jen „FT syntéza“) byla vyvinuta v roce 1925 a pojmenována je po 2 pracovnících, kterými byli Franz Fischer a Hans Tropscher (Santos & Alencar 2020). FT syntézou dochází k přeměně syntézního plynu na parafíny, olefiny a kapalné uhlovodíky, viz Obr. 3.10 (Van de Loosdrecht et al. 2013). FT syntéza je zkoumána již po několik desetiletí a zahrnuje dvě hlavní chemické reakce. Nejprve dojde k porušení hlavní molekulární struktury a následně ke vzniku monomerů a jejich polymerací ke vzniku větších chemických struktur. Je to vysoce exotermický proces, při kterém je oxid uhelnatý a vodík za vysoké teploty (200–350 °C) a vysokého tlaku (30 Bar) přeměněn na vyšší kapalné uhlovodíky. Je založená na kovové katalýze, kde hlavními katalyzátory jsou železo, kobalt a ruthenium, které syntézní plyn přeměňují na uhlovodíky a další chemické prekurzory (Santos & Alencar 2020). Dochází tedy k adsorpci oxidu uhelnatého na povrch katalyzátoru a následnému štěpení C-O vazeb za vzniku oxidů a karbidů (Evans & Smith 2012). FT syntéza je v podstatě hydrogenace oxidem uhelnatým za vzniku kyslíkatých sloučenin a vyšších uhlovodíků. Tyto kovy jsou relativně citlivé na přítomnost kontaminantů. Kvůli větší selektivitě a přeměně jsou kovové katalyzátory výhodné v komerčních procesech FT syntézy (Santos & Alencar 2020). Volba katalyzátoru a provozních podmínek zásadně ovlivňuje celkovou fyzikální povahu uhlovodíkového produktu, přičemž může dojít ke vzniku kapalného či voskového produktu,

případně k jejich kombinaci (Evans & Smith 2012). Cílem FT syntézy je získat z bio syntézního plynu vysoce výkonná syntetická paliva, i proto je tato syntéza stále více začleňována mezi udržitelné procesy výroby kapalných syntetických paliv (Santos & Alencar 2020).

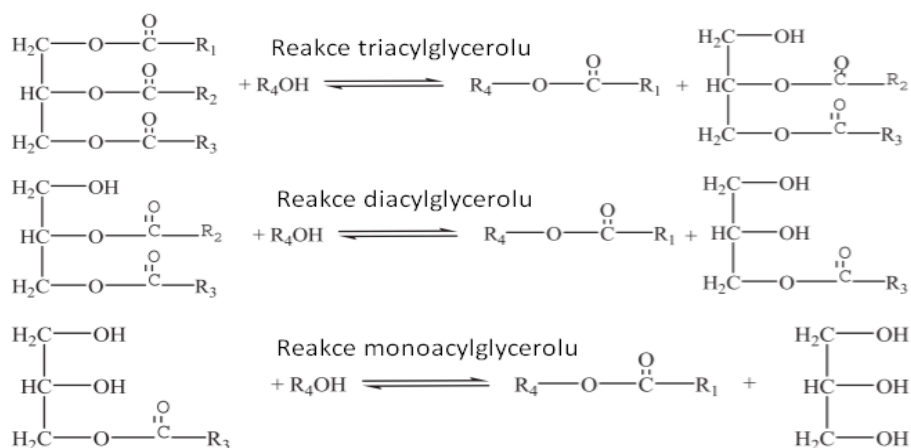


Obr. 3.10 - Fischer-Tropschova syntéza (Santos & Alencar 2020)

Transesterifikace triglyceridů

Triglyceridy jsou jednou z hlavních složek alkoholů a olejů, jak jedlých, tak nejedlých. Právě transesterifikací triglyceridů se vyrábí bionafta. Bionafta vyráběná z nejedlých a zbytkových olejů je zásadní alternativou obnovitelné energie k současným fosilním palivům. Produkuje nízké emise skleníkových plynů, je netoxická a biologicky odbouratelná, má i vyšší kvalitu mazání. Kromě transesterifikace jsou zde i další postupy výroby bionafty, zatím však většina z nich není výhodná. Jejich nevýhodou jsou různá omezení, například potíže s oddělováním produktů, tvorba příliš velkého množství odpadní vody, dlouhá reakční doba nebo nedostupná množství rozpouštědel (Keneni et al. 2020).

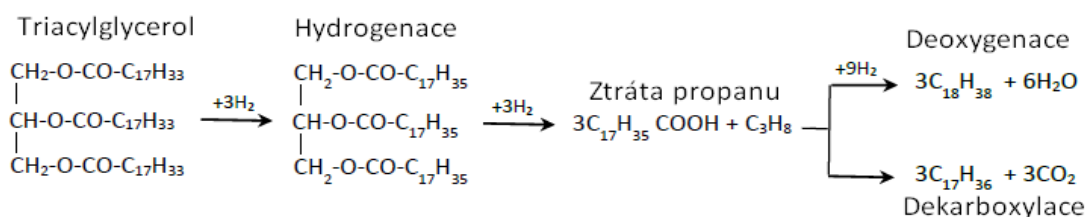
Transesterifikační reakcí probíhá také výroba bionafty z odpadního kuchyňského oleje. Protože likvidace použitého kuchyňského oleje způsobuje velké problémy a zátěž pro životní prostředí, je výroba bionafty z něj velmi výhodným využitím. Pro představu jeden litr použitého kuchyňského oleje, který je nalitý do vodního toku je schopný znečistit až 1000 vodních nádrží, které mají objem okolo 500 l. Olej vypuštěný do vodního toku mění vodní ekosystém, protože kvůli rozdílné hustotě se na hladině vytvoří vrstva, přes kterou dochází velmi špatně nebo vůbec k výměně kyslíku. Při odtoku se kvůli oleji zanášá i vodovodní potrubí, což s sebou nese řadu problémů a negativních dopadů jak na lidské zdraví, tak na životní prostředí. I kvůli těmto důvodům docházelo ke snaze použítý kuchyňský olej znovu použít a upotřebit. Mezi rostliny, které jsou využívány pro extrakci olejů ke kuchyňským účelům patří palma olejná, slunečnice, olivy, řepka, sója, bavlna či sezam. Jak je znázorněno na Obr. 3.11, probíhá transesterifikace triacylglycerolu pomocí 3 po sobě jdoucích reverzibilních reakcí, kde dochází nejprve k přeměně triacylglycerolu na diacylglycerol a následně na monoacylglycerol, ze kterého vznikne glycerol. Při každé jednotlivé reakci dochází k uvolnění jednoho molu methylesteru. Při této reakci může dojít k sekundárním reakcím jako je zmýdelňování nebo neutralizace volných mastných kyselin (Guerrero F. et al. 2011).



Obr. 3.11 - Reakční schéma transesterifikace (Mansir et al. 2018)

Hydrogenace rostlinných olejů

Hydrogenací rostlinných olejů je možné získat kvalitnější dieselové palivo. Pro bionaftu 2. generace je k tomuto účelu využíváno nejedlých rostlinných olejů jako olej z *Jatropha curcas*, *Camelina sativa*, *Pongamia pinnata* a další, případně odpadních materiálů. Při tomto procesu jsou uhlovodíkové řetězce nenasycených mastných kyselin, vázané v molekulách triacylglycerolu, částečně či úplně hydrogenovány. Na Obr. 3.12 je znázorněna hydrogenace triacylglycerolu a následný vznik uhlovodíků. Produktem úplné hydrogenace je směs triacylglycerolů nasycených mastných kyselin, které při výrobě bionafty nejsou žádané. Žádoucím produktem jsou uhlovodíky, a tak je potřeba dalších úprav za zvýšené teploty a tlaku (Šimáček et al. 2017). Při hydrogenaci olejů jsou molekuly vodíku zaváděny do molekul surového oleje, přičemž dochází k redukci uhlíkatých sloučenin (Zeman et al. 2019). Nejznámějším a největším výrobcem HVO v Evropě je finská společnost Neste Oil (Šimáček et al. 2017).



Obr. 3.12 – Hydrogenace triacylglycerolu (ETIP Bioenergy)

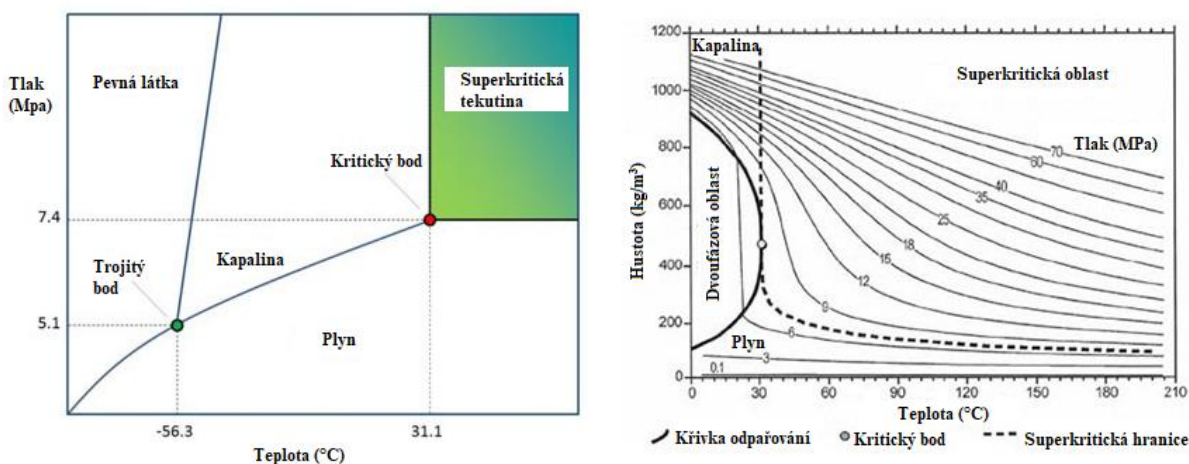
Metoda hydrotermální karbonizace (HTC)

Tato metoda se stává nejvíce preferovanou mezi výzkumnými pracovníky, zejména z důvodu několika nevýhod, které s sebou přináší odpadní biomasa a které jsou překážkou pro snadnou výrobu obnovitelné energie. Těmito nevýhodami jsou vysoká vlhkost, hydrofilní a vláknitá povaha, vysoký objem či nízká výhřevnost. HTC je metoda, která dokáže zpracovávat mokrý odpad. Dochází zde k eliminaci procesu předsušení, který je velmi energeticky náročný a který je nutno využít u metod jako je pyrolýza nebo spalování (Sharma et al. 2020). Při

hydrotermální karbonizaci v podstatě dochází ke kombinaci dehydratace a dekarboxylace s cílem zvýšení obsahu uhlíku a dosažení vyšší výhřevnosti paliva. Dochází k aplikaci vysokých teplot (180–220 °C) na vlhkou biomasu několik hodin pod nasyceným tlakem. Při tomto procesu dochází k přeměně biomasy o vysoké vlhkosti na kvalitní palivo s požadovanými vlastnostmi (Funke & Ziegler 2010). Biomasa pro proces hydrotermální karbonizace je buď ze surových rostlin nebo z izolovaných sacharidů. Je to zejména bioodpad jako rýžové slupky, piliny, kukuřičné klasy nebo tráva. Celý tento proces můžeme rozdělit do dvou hlavních domén. První z nich je hydrotermální zplyňování v superkritické nebo podkritické vodě, kdy jsou pevné uhlíkaté materiály s pomocí katalyzátorů nebo bez přeměňovány na směs hořlavých plynů. Druhou doménou je hydrotermální karbonizace v horké stlačené vodě (Hu et al. 2010).

- **Hydrotermální zplyňování v superkritické nebo podkritické vodě**

Vlhká až mokrá biomasa a organický odpad mohou být za hydrotermálních podmínek účinně zplyňovány, přičemž vzniká palivový plyn, který je velmi bohatý na vodík (Schmieder et al. 2000). Jak je oddělená podkritická a superkritická oblast je znázorněno na Obr. 3.13. Superkritická kapalina je voda, která je nad kritickou teplotou 374,29 °C a nad tlakem 22,089 MPa. Superkritická voda má hustotu podobnou vodě, ale vykazuje parní difuzivitu. Mezi tlakem a vodou existuje přímá úměra, tzn. čím vyšší je teplota vody, tím vyšší musí být tlak, aby voda byla v kapalně fázi. Voda je subkritická, pokud se tlak i teplota vody pohybují těsně pod kritickou hodnotou. Teplota je těsně pod hodnotou nasycení (Basu 2013). Hydrotermálním zplyňováním se vyrábí také samotný vodík. Reakce se uskutečňuje v nadbytku vody při teplotě až do 700 °C a tlaku okolo 30 MPa. Hydrotermálním zplyňováním v subkritických podmínkách se vyrábí také methan (Dinjus & Kruse 2004).



Obr. 3.13 - Znázornění podkritické a superkritické oblasti (SciMed 2021)

- **Hydrotermální karbonizace v horké stlačené vodě**

Je to proces chemické předúpravy, kdy se v horké stlačené vodě zpracovává biomasa za vzniku hydrocharu (Reza et al. 2014). Hydrochar se vyrábí při teplotě 180–260 °C v podkritické vodě. Hydrochar vykazuje snížený obsah popela, protože při procesu jeho vzniku je z biomasy odstraněna většina anorganických struskotvorných činidel (Basu 2018). Po procesu

hydrotermální karbonizace můžeme tedy získat pevný uhlíkatý materiál, ale také organickou kapalinu rozpustnou ve vodě. Kapalný bioolej je možné extrahovat etherem nebo ethylacetátem. Pomocí plynové chromatografie a hmotnostní spektrometrie bylo zjištěno, že bioolej se skládá z běžně komerčně používaných chemikálií jako jsou ketony, karboxylové kyseliny nebo deriváty fenolů. Abychom dosáhli většího výtěžku biooleje, je potřeba přidat katalyzátory, které urychlují reakce. V tomto případě jsou to nejčastěji alkalické soli jako hydroxid draselný, hydroxid sodný, uhličitan sodný či uhličitan draselný. Pro další pevné uhlíkaté materiály se někdy používá označení biochar. Vědecký poradní výbor International Biochar Initiative definuje biochar jako jemně zrnité dřevěné uhlí, které má vysoký obsah uhlíku a je částečně odolné vůči rozkladu. Biochar má tedy procesem zpracování metodou HTC menší odolnost vůči rozkladu, ale zato nejvyšší výtěžek zuhelnatění (Hu et al. 2010). Rozdíl mezi hydrocharem a biocharem je zejména ve způsobu jejich výroby. Zatímco hydrochar se vyrábí v podkritické vodě, biochar se vyrábí v prostředí, které vykazuje nedostatek suchého kyslíku. Biochar je často využíván k sanaci půdy, hydrochar je využíván v průmyslu a má další přidanou hodnotu (Basu 2018).

V subkritickém a superkritickém stavu vykazuje horká stlačená voda takové fyzikální a chemické vlastnosti, které jsou schopny měnit své chování a plynule přecházet od chování plynu po chování kapaliny. Příkladem mohou být rozpouštědla, kde se z nepolárního chování, které vykazují organická rozpouštědla, stane takové rozpouštědlo, které má iontové vlastnosti, například solné taveniny. Tato skutečnost je velmi slibná pro některé chemické reakce a separační procesy, kdy je možné za superkritických podmínek homogenně míchat velké množství plynů a organických látek s vodou. Tu lze později úpravou subkritických podmínek opět oddělit (Dinjus & Kruse 2004).

3.4.4 Ekonomické zhodnocení

Biopaliva 2. generace vyráběna z nepoživatelné lignocelulóзовé biomasy s sebou nesou několik sociálních a ekonomických výhod. Jsou to např. udržitelnost a recyklovatelnost surovin, nulová konkurence mezi palivem a potravinami, snižování emisí CO₂ a jejich vstup do atmosféry. Dále usnadnění růstu hospodářského vývoje a vytváření nových pracovních příležitostí pro vědce, specialisty na fermentaci, inženýry či výzkumné pracovníky a mnoho dalších pozic. Výroba biopaliv 2. generace s sebou nese také snahu zajistit bezpečnost pohonných hmot, pro země, které jsou doposud na zdrojích ropy závislé (Ganguly et al. 2021).

Mnohé technologie výroby biopaliv 2. generace jsou prozatím velmi nákladné a je nutné je dále vyvíjet. Mimo investic do biopaliv 2. generace jsou důležité investice i do biopaliv 3. generace, do solární energie či do energie oceánu (Energy roadmap 2050 2012). Současné technologie výroby biopaliv 2. generace nejsou v současné době podrobně prozkoumané a jsou zde překážky, kvůli kterým je jejich výroba prozatím nákladově neefektivní. Velmi ekologickým způsobem, jak získat palivo z lignocelulózy je mikrobiální fermentace, avšak v současné době není tento způsob komerčně reálný. Technologie se neustále zdokonalují, stále však nejsou na komerční úrovni. Nejvyšší je prozatím stále produkce biopaliv 1. generace, zejména ethanolu z krmiv, a bionafty z rostlinných olejů. Více než 45 % fermentačního procesu představují náklady na suroviny, a proto je nutné najít takové suroviny, které snadno rostou,

snadno se skladují a přepravují, mají velké výnosy a jsou dostupné po celý rok (Bhatia et al. 2017).

Pokud budou vyvinuty účinné a ekonomicky životaschopné technologie, je očekávatelné, že neekonomičtějším procesem výroby biopaliv a energie z obnovitelných zdrojů bude využití odpadů, a to jak odpadní biomasy, tak odpadů z domácností či ze stravovacích zařízení. To s sebou zároveň přináší environmentální výhodu, snížení znečištění ovzduší související s produkcí odpadů (Lee et al. 2019).

Celosvětově jsou zkoumány různé technologie pro výrobu biopaliv 2. generace, v současné době je ale ve větším měřítku využitelná pouze termochemická a biochemická přeměna, přičemž biochemická přeměna vyžaduje nejprve předúpravy lignocelulózové biomasy, které jsou v současné době velmi nákladné (Ganguly et al. 2021). Předběžná úprava biomasy, využívaná před jejím samotným technologickým zpracováním vede mimo žádané uvolnění celulózy také k tvorbě některých toxických látek, které negativně ovlivňují fermentaci a k jejichž odstranění z hydrolyzátu je nutné využít detoxifikační metody. Tyto technologie jsou v současné době příliš nákladné a neúčinné (Bhatia et al. 2017).

Ke komercializaci biopaliv 2. generace je potřeba podpory vlád jednotlivých zemí a financování výzkumu v této oblasti. Zároveň je nutná mezinárodní spolupráce, která by mohla snížit náklady, ale i riziko pro investory (Bhatia et al. 2017).

Slibnou surovinou pro výrobu biopaliv 2. generace je použitý kuchyňský olej. Tento olej je 2,5–3,5 x levnější než surový rostlinný olej, což může výrazně snížit náklady na výrobu bionafty (Demirbas 2009). Právě použití kuchyňského odpadního oleje místo surového oleje se jeví jako velmi účinná metoda ke snížení nákladů na materiál při výrobě bionafty. Použitý kuchyňský olej je v současné době považován za ekonomicky a sociálně životaschopnou surovinu pro nízkonákladovou výrobu bionafty v komerčním měřítku (Lee et al. 2019).

Náklady na suroviny jako jsou trávy a stromy jsou obecně nižší, než náklady na cukrové plodiny či obilí. Pokud se podaří snížit náklady na zpracování těchto celulózových surovin a výrobu ethanolu z nich, mohly by celkové výrobní náklady klesnout pod cenu ethanolu z cukrových potravinářských surovin (Demirbas 2009). Znamená to tedy, že pro výrobu biopaliv 1. generace jsou oproti 2. generaci biopaliv vyšší náklady na suroviny a u biopaliv 2. generace jsou vyšší výrobní náklady. V příštích 10–20 letech jsou odhadovány jako nízkonákladové suroviny pro výrobu bioethanolu technologicky a s použitím mikroorganismů také piliny, bagasa či třísky. Je předpokladem, že termochemický proces výroby bioethanolu bude možné komerčně využít během několika let. Tato cesta by měla být velice ekonomicky výhodná, zejména v rozvojových zemích. Odhaduje se, že v následujících letech je předpoklad snížení nákladů na suroviny, enzymy i přeměnu surovin pro výrobu biopaliv 2. generace. Oblasti, kde se nejvíce očekává snížení nákladů jsou metody předúpravy lignocelulózové biomasy, nové integrované metody či optimální využití nákladů na enzymy (Ganguly et al. 2021).

3.4.5 Trendy a vyhlídky

Celosvětová populace roste a predikcí je, že by mohla v roce 2030 narůst na 8,5 miliardy obyvatel a v roce 2050 na 9,7 miliardy obyvatel. S narůstající populací roste i produkce odpadů, což má vážný negativní dopad na životní prostředí a s tím související globální oteplování.

Přístup k odpadu se nyní stále vyvíjí a vznikající inovace z něj dělají nový zdroj energie. Celosvětově je v obrovském množství produkován například zemědělský a lesní odpad, který je velmi důležitým zdrojem pro výrobu biopaliv 2. generace, což je podstatné pro snížení závislosti na fosilních palivech (Song et al. 2020). Rychlá urbanizace zároveň přináší zvýšenou produkci potravinového odpadu z průmyslu, zemědělství i z domácností. V současné době je ročně téměř třetina celkové produkce potravin zbytečná. Vzhledem k tomu, že potravinový odpad je bohatý na organické látky, mohlo by jeho spalování či skládkování působit vážné problémy v životním prostředí. Zároveň je výhodné použití potravinového odpadu k přeměně na biopaliva, zejména za použití mikroorganismů (Sharma et al. 2020). Nyní je nutný rozvoj technologií, které budou zajišťovat neustálý přísun obnovitelné energie, aby mohl být umožněn udržitelný rozvoj. Inteligentní využití odpadů může pomoci v plnění stanovených kritérií udržitelnosti (Song et al. 2020).

Dle probíhajících průzkumů se očekává, že do roku 2045 bude neustále stoupat poptávka po biopalivech (Sandesh & Ujwal 2021) a vývojové trendy pokročilých biopaliv směřují k všestrannému vývoji typů biopaliv, ale také k aktivnímu využití nově vznikajících zdrojů surovin. Nově vznikající suroviny jsou potom například řasy. Zároveň je nutné plnit požadavky udržitelnosti. Biopaliva 2. generace mají však větší potenciál nahradit fosilní paliva v dopravě než biopaliva 1. generace (Lin & Lu 2021).

Aby byla biopaliva z dlouhodobého hlediska výhodná musí být udržitelná. Na udržitelnosti biopaliv se podílí mnoho faktorů a jejím cílem je uspokojit lidské potřeby s ohledem na ekonomickou dostupnost, sociální přijatelnost a zároveň šetrnost k životnímu prostředí. Obr. 3.14) znázorňuje jednotlivé faktory, jejichž propojení je zásadní pro udržitelnost biopaliv (Nizami et al. 2017).



Obr. 3.14 - Jednotlivé faktory udržitelnosti biopaliv (Nizami et al. 2017)

Poté, co se v Evropě rozšířila myšlenka oběhového hospodářství, se stal zdrojem energie odpad. Obchodní a podnikatelský sektor EU predikuje, že takovéto ekonomické přechody, jakým je oběhové hospodářství, mohou ročně přinést výrobnímu odvětví EU až 600 miliard eur. Novým úspěšným trendem je mobilita, kterou zajišťuje právě cirkulační ekonomika oběhového hospodářství. Je to nový model toku odpadu a energie, který je velmi důležitým

základem pro výrobu biopaliv. Zároveň se tak snadněji upustí od předchozího trendu skládkování, které se ukázalo jako velmi neekologické a způsobující závažné škody v životním prostředí i na lidském zdraví. Pro oběhovou ekonomiku je velmi důležité, aby byly vznikající produkty od začátku navrženy k použití pro více životních cyklů, aby mohly být následně, co nejlépe zpracovány a zachovaly si vysokou hodnotu i nadále po prvotním využití (Song et al. 2020).

Pro biopaliva 2. generace se z hlediska životního prostředí zdá výhodné používání jako zdroje k výrobě paliva tuhý komunální odpad (TKO). Výroba biopaliv z TKO nezatěžuje životní prostředí tak, jako například energetické plodiny. Zpracování TKO je poměrně výhodné i z ekonomického hlediska. Snížením toku materiálu na skládky se ušetří velké množství půdy, a kromě nákladů na sběr a třídění nejsou vyžadovány téměř žádné další investice. Výhodou jsou taková místa, kde je možné zpracování odpadu v místě jeho vzniku. Nejsou zde vysoké nároky na půdu a přináší menší uhlíkovou stopu. Tyto oblasti jsou průmyslově výhodné, protože se díky zpracování odpadu v místě vzniku zamezuje jeho převozu motorovými vozidly, což negativně ovlivňuje životní prostředí. Příkladem může být Severní Irsko, kde je bioethanol vyráběn z bramborových slupek, z rostlin, které byly předem určeny jako potenciální zdroj paliva (Antizar-Ladislao & Turrion-Gomez 2008). Analýzou probíhající mezi roky 2004 až 2017 bylo zjištěno, že největšími producenty bioethanolu a bionafty v EU jsou Německo, Polsko a Francie. Německo a Francie mají ve výrobě bionafty a ethanolu zásadní význam. Mezi roky 2003 a 2017 vzrostla produkce bionafty z 719,32 mil. litrů na 13323 mil. litrů, což je nárůst cca o 1852 %. V posledních 3 letech této analýzy, tj. mezi roky 2014 a 2017, byla zaznamenána stagnace, přičemž produkce bionafty klesla z 13673 mil. litrů na 13323 mil. litrů. Avšak předpokladem je, že do roku 2030 stále poroste produkce ethanolu a esterů rostlinných olejů, kvůli čím dál větší poptávce po zelené energii a s ní související situaci na trhu, což by mohlo výrazně prospět tomuto odvětví výroby biopaliv (Borawski et al. 2019).

Obavy z rostoucích globálních problémů jako jsou klimatické změny, znečištění životního prostředí, devastace biologické rozmanitosti Země či vyčerpání přírodních zdrojů vedou stále více k přechodu na oběhové hospodářství. Oběhové hospodářství je regenerační a podporuje jak zachování přírodních zdrojů, tak snížení či eliminaci vzniku odpadu. Snahou oběhového hospodářství je navržení takových produktů, u kterých bude snadnější recyklace a možnost opětovného použití. Dále je snahou oběhového hospodářství v současné době výrazné snížení závislosti na fosilních zdrojích, kterými jsou uhlí, ropa či zemní plyn a snížení produkce odpadu využíváním obnovitelných zdrojů. Jsou dvě základní podmínky, které musí technologie splňovat, aby mohla být nazývána udržitelnou. První podmínkou je využívání přírodních zdrojů v rozumné míře, aby nedošlo k jejich vyčerpání a druhou podmínkou je vytvoření maximálně takového množství odpadu, které je příroda schopna asimilovat (Sheldon 2020).

S cirkulární ekonomikou je často spojována bioekonomika. Bioekonomika je v současné době zaměřena především na suroviny pro výrobu biopaliv 1. generace. Protože se však stále více zjišťuje, že zdroje surovin pro biopaliva 1. generace nejsou dlouhodobě udržitelnou alternativou, zejména kvůli konkurenčnímu boji s potravinami, je v EU kladen stále větší důraz na využívání biomasy pro výrobu 2. generace. Snahou je využití zejména lignocelulózy biomasy a odpadních tuků a olejů (Sheldon 2020). Je též předpokladem, že právě biomasa bude mít klíčovou roli v plnění globálních klimatických cílů, které jsou stanoveny v Pařížské dohodě (viz kapitola 3.2.1.3). Aby bylo dosaženo jejího účinného a co největšího využití, je stále častěji

kladen zřetel na koncept cirkulární bioekonomiky. Jednotlivé elementy cirkulární bioekonomiky jsou znázorněny na Obr. 3.15 (Stegmann et al. 2020).



Obr. 3.15 – Jednotlivé elementy cirkulární bioekonomiky (Stegmann et al. 2020)

Srdcem oběhového hospodářství založeného na technologiích může být přeměna lignocelulózového odpadu na produkty s přidanou hodnotou. V současné době je celosvětová roční produkce lignocelulózového odpadu jako je například bagasa z cukrové třtiny, kukuřičný klas, pšeničná sláma a další vyšší, než roční produkce petrochemikálií jako je ethylen, propylen či para-xylen. Nadměrné množství odpadu vzniká i z potravinového řetězce přes sklizeň po další zpracování potravin. Vznik tohoto odpadu je z velké části nevyhnutelný, ale je možné ho přeměnit na produkty s přidanou hodnotou (Sheldon 2020).

V přechodu na oběhové hospodářství hrají významnou roli biorafinérie a na jejich zavedení do oběhového hospodářství mají důležitý vliv odpady z biomasy. Aby celulózové rafinérie uspěly na trhu, musí být ekonomicky životaschopné a zároveň nízkouhlíkové (Konda et al. 2016).

4 Závěr

S rostoucí populací roste poptávka po energii a snižují se zásoby neudržitelných fosilních zdrojů. Zároveň spalování fosilních paliv způsobuje celosvětové globální problémy a je nutné postupně přejít od fosilních zdrojů energie ke zdrojům alternativním. S přechodem od fosilních zdrojů energie na alternativní udržitelné zdroje souvisí přechod z neudržitelné ekonomiky na udržitelnou, založenou na biotechnologiích. V současné době jsou stále nejvíce komercializována biopaliva 1. generace, která nejsou tak výhodná, jak se nejprve předpokládalo. Jsou vyráběna z potravinových zdrojů, kvůli kterým vznikají konkurenční boje o půdu, vodu i samotné potraviny. Tento konkurenční boj má potenciálně nepříznivé dopady na ILUC i bezpečnost potravin. Produkce potravinářských plodin pro výrobu biopaliv přináší zemědělcům vyšší a jistější příjmy a je pro ně proto výhodnější. Tím klesá dostupnost potravin a zvyšují se jejich ceny. I z tohoto důvodu jsou biopaliva 1. generace hodnocena též jako neudržitelná.

Vhodnou alternativou se zdají být biopaliva 2. generace, která jsou z odpadních materiálů, zbytků biomasy či nepotravinářských plodin. Tato biopaliva zatím nejsou ekonomicky přijatelná a nelze je vyrábět v takové míře, ve které by mohla nahradit biopaliva 1. generace. Vývoj nových technologií pro zpracování odpadní biomasy může minimalizovat sociální a environmentální rizika. Zároveň je do bioodpadu vkládána naděje, že bude mít největší zásluhu v budování biohospodářství. Díky odpadním materiálům by mohla být technologie výroby biopaliv 2. generace v následujících letech plošně dostačující a ekonomicky přijatelná. Současné výrobní technologie jsou stále podrobeny důkladnému výzkumu, aby mohly co nejdříve a v co největší míře nahradit biopaliva 1. generace. Náklady na biomasu nejsou oproti výrobní technologii příliš vysoké, protože cena nepoživatelných částí zemědělských plodin je výrazně nižší než požitelných částí, jako například zrno. Proto se očekává, že až dojde k vývoji ekonomicky přijatelné technologie, budou biopaliva 2. generace cenově přijatelnější, než biopaliva 1. generace.

V současné době je stále více zkoumáno znovuzpracování použitého kuchyňského oleje ze stravovacích zařízení i z domácností jako náhrada neudržitelné bionafty 1. generace. Využití použitého kuchyňského oleje k výrobě biopaliv je zároveň velmi výhodnou formou jeho likvidace. Rostlinný olej je zpracováván v domácnostech a stravovacích zařízeních po celém světě a jeho produkce je obrovská. Předpokládá se, že pokud by se tento použitý olej znovuvyužíval k energetickým účelům a výrobě pokročilých biopaliv, velmi by to ulehčilo životnímu prostředí. Nebyl by použitým olejem znečišťován ekosystém, zejména vodní toky. Zároveň je použitý kuchyňský olej levnou a velmi výhodnou surovinou pro technologické zpracování k výrobě pokročilých biopaliv.

Na odpadech a jejich znovuzpracování je postaven i koncept oběhového hospodářství, k němuž je cílem Evropy i České republiky přejít. Odpady vznikají ve všech odvětvích, v průmyslu, zemědělství, dalšími příklady jsou organický odpad, potravinový odpad či komunální odpad a cílem je odpad co nejvíce opětovně využívat. Cílem Evropy i České republiky je také dosažení snížení emisí a zamezení globálnímu oteplování. Proto stanovila EU strategické cíle, kterými se všechny státy EU musí řídit a musí předkládat jejich plnění, zejména v oblasti biopaliv.

5 Seznam literatury

Adewale P, Dumont M-J, Ngadi M. 2015. Recent trends of biodiesel production from animal fat wastes and associated production techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **45**:574-588.

Aktualizace Národního programu snižování emisí České republiky. 2019. Ministerstvo životního prostředí, Praha.

Aktualizace politiky druhotných surovin České republiky pro období 2019-2022: POD ČR. 2018.. Ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha.

Alherbawi M, McKay G, Mackey HR, Al-Ansari T. 2021. *Jatropha curcas* for jet biofuel production: Current status and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **135**.

Antizar-Ladislao B, Turrion-Gomez JL. 2008. Second-generation biofuels and local bioenergy systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* **2**:455-469.

Ashok B, Denis Ashok S, Ramesh Kumar C. 2015. LPG diesel dual fuel engine – A critical review. *Alexandria Engineering Journal* **54**:105-126.

Bajpai P. 2020. Biomass conversion processes. *Biomass to Energy Conversion Technologies*:41-151. Elsevier.

Basu P. 2013. Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: Practical design and theory, Second edition.. Academic Press is an imprint of Elsevier, Amsterdam.

Basu P. 2018. Torrefaction. *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction Chapter 4*:93-154. Elsevier.

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

Borawski P, Beldycka-Borawska A, Szymańska EJ, Jankowski KJ, Dubis B, Dunn JW. 2019. Development of renewable energy sources market and biofuels in The European Union. *Journal of Cleaner Production* **228**:467-484.

Carels N, Sujatha M, Bahadur B. 2012. *Jatropha, Challenges for a New Energy Crop: Farming, Economics and Biofuel*. Springer Science + Business Media New York, New York.

Carriquiry MA, Du X, Timilsina GR. 2011. Second generation biofuels: Economics and policies. *Energy Policy* **39**:4222-4234.

Dahiya A. 2015. *Bioenergy Biomass to Biofuels*. Elsevier Inc., Academic press, USA.

Datta A, Hossain A, Roy S. 2019. An Overview on Biofuels and Their Advantages and Disadvantages. *Asian Journal of Chemistry* **31**:1851-1858.

Demirbaş A. 2001. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management* **42**:1357-1378.

- Demirbas A. 2009. Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. *Applied Energy* **86**:S108-S117.
- Deublein D, Steinhauser A. 2011. Biogas from waste and renewable resources: an introduction, Second, revised and expanded edition.. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim.
- Dinjus E, Kruse A. 2004. Hot compressed water—a suitable and sustainable solvent and reaction medium? *Journal of Physics: Condensed Matter* **16**:S1161-S1169.
- Dopravní politika České republiky pro období 2021-2027 s výhledem do roku 2050. 2021. Dopravní politika a MFDI, Ministerstvo dopravy, Praha. Available at <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Strategie/Dopravni-politika-a-MFDI/Dopravni-politika-CR-pro-obdobi-2014-2020-s-vyhled> (accessed April 12, 2021).
- Emisní faktor CO₂: Emisní faktor k výpočtu ušetřených emisí CO₂ při výrobě elektrické energie. 2020. SMA Solar Technology. Available at <https://files.sma.de/downloads/SMix-UCZ091910.pdf> (accessed March 26, 2021).
- Energy roadmap 2050. 2012. European Union, Luxembourg.
- Evans G, Smith C. 2012. Biomass to Liquids Technology. *Comprehensive Renewable Energy*:155-204. Elsevier.
- Foong SY, Chan YH, Cheah WY, Kamaludin NH, Tengku Ibrahim TNB, Sonne C, Peng W, Show P-L, Lam SS. 2020. Progress in waste valorization using advanced pyrolysis techniques for hydrogen and gaseous fuel production. *Bioresource Technology* **320**.
- Funke A, Ziegler F. 2010. Hydrothermal carbonization of biomass: A summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. *Biofuels Bioproducts & Biorefining*:160–177. Society of Chemical Industry and John Wiley.
- Ganguly P, Sarkhel R, Das P. 2021. The second-and third-generation biofuel technologies: comparative perspectives. *Sustainable Fuel Technologies Handbook*:29-50. Elsevier.
- Gin AW, Hassan H, Ahmad MA, Hameed BH, Mohd Din AT. 2021. Recent progress on catalytic co-pyrolysis of plastic waste and lignocellulosic biomass to liquid fuel: the influence of technical and reaction kinetic parameters. *Arabian Journal of Chemistry* **14**:20. King Saud University.
- Guerrero F. CA, Guerrero-Romero A, E. F. 2011. Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Biodiesel-Feedstocks and Processing Technologies*. InTech.
- Herzog AV, Lipman TE, Kammen DM. 2001. Renewable Energy Sources: Energy Resource Science and Technology Issues in Sustainable Development. “Perspectives and Overview of Life Support Systems and Sustainable Development,”:63. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, USA.
- Hu B, Wang K, Wu L, Yu S-H, Antonietti M, Titirici M-M. 2010. Engineering Carbon Materials from the Hydrothermal Carbonization Process of Biomass. *Advanced Materials* **22**:813-828.

Cheah WY, Sankaran R, Show PL, Tg. Ibrahim TNB, Chew KW, Culaba A, Chang J-S. 2020. Pretreatment methods for lignocellulosic biofuels production: current advances, challenges and future prospects. *Biofuel Research Journal* **7**:1115-1127.

Chen W, Geng W. 2017. Fossil energy saving and CO₂ emissions reduction performance, and dynamic change in performance considering renewable energy input. *Energy* **120**:283-292.

Indirect Land Use Change (ILUC). 2012., Memo. EUROPEAN COMMISSION, Brussels.

Jansen RA. 2013. *Second Generation Biofuels and Biomass*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., Switzerland.

Jayasinghe P, Hawboldt K. 2012. A review of bio-oils from waste biomass: Focus on fish processing waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16**:798-821.

Jing Y, Guo Y, Xia Q, Liu X, Wang Y. 2019. Catalytic Production of Value-Added Chemicals and Liquid Fuels from Lignocellulosic Biomass. *Chem* **5**:2520-2546. CellPress Reviews.

Kameš J. 2012. *Fosilní paliva: uhlí, ropa a zemní plyn*. [s.n.], Praha.

Keneni YG, Hvoslef-Eide AK (T), Marchetti JM. 2020. Optimization of the production of biofuel from *Jatropha* oil using a recyclable anion-exchange resin. *Fuel* **278**:9.

Kesharwani R, Sun Z, Dagli C, Xiong H. 2019. Moving second generation biofuel manufacturing forward: Investigating economic viability and environmental sustainability considering two strategies for supply chain restructuring. *Applied Energy* **242**:1467-1496.

Knothe G, Krahl J, Van Gerpen J. 2010. *The Biodiesel Handbook*, 2.nd. AOCS Press, USA.

Konda M, Loqué D, Scown CD. 2016. Towards economically sustainable lignocellulosic biorefineries. 321-337 in *Valorization of Lignocellulosic Biomass in a Biorefinery*. Chapter 10. Nova Science Publishers, Berkeley, CA, US.

Konference OSN v Paříži o změně klimatu, 30. listopadu – 12. prosince 2015: Rada Evropské unie, Evropská rada. 2015.. Paříž. Available at <https://www.consilium.europa.eu/cs/meetings/international-summit/2015/11/30/> (accessed February 28, 2021).

Kumar V, Saluja RK. 2020. The effect of operating parameters on performance and emissions of DI diesel engine fuelled with *Jatropha* biodiesel. *Fuel* **278**:21.

Lackne M, Winter F, Agarwal AK. 2010. *Handbook of Combustion: Gaseous and Liquid Fuels*, Vol.3.. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., Weinheim.

Lal R. 2008. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **363**:815-830.

Lee SY, Sankaran R, Chew KW, Tan CH, Krishnamoorthy R, Chu D-T, Show P-L. 2019. Waste to bioenergy: a review on the recent conversion technologies. *BMC Energy* **1**.

Liakakou ET, Infantes A, Neumann A, Vreugdenhil BJ. 2020. Connecting gasification with syngas fermentation: Comparison of the performance of lignin and beech wood. *Fuel* **290**.

Lin C-Y, Lu C. 2021. Development perspectives of promising lignocellulose feedstocks for production of advanced generation biofuels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **136**:16.

Matějovský V. 2005. *Automobilová paliva*. Grada, Praha.

Ministerstvo životního prostředí (MŽP). 2021. *Biopaliva*. Praha. Available at <https://www.mzp.cz/cz/biopaliva> (accessed February 05, 2021).

Ministerstvo životního prostředí (MŽP). 2021. *Odpadové hospodářství*. Praha. Available at https://www.mzp.cz/cz/odpadove_hospodarstvi (accessed February 06, 2021).

Moser BR. 2010. Camelina (*Camelina sativa* L.) oil as a biofuels feedstock: Golden opportunity or false hope? *Lipid Technology* **22**:270-273.

Nanda S, Rana R, Sarangi PK, Dalai AK, Kozinski JA. 2018. A Broad Introduction to First-, Second-, and Third-Generation Biofuels. *Recent Advancements in Biofuels and Bioenergy Utilization*:1-25. Springer Singapore, Singapore.

Nářízení vlády č. 189/2018 Sb., o kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot: ve znění pozdějších změn. 2021. Vláda České republiky, Praha.

Nářízení vlády č. 352/2014 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024. 2014. Vláda České republiky, Praha.

Nizami A-S, Mohanakrishna G, Mishra U, Pant D. 2017. Trends and sustainability criteria for the liquid biofuels. 60-88 in *Biofuels: Production and Future Perspectives*. Taylor & Francis Group, USA.

Odpadová data 2019: Každý Čech vyprodukoval 551 kilogramů “komunálu”: Tisková zpráva. 2020.. Ministerstvo životního prostředí (MŽP). Available at https://www.mzp.cz/cz/news_20201124-odpadova-data-2019-Kazdy-Cech-vyprodukoval-551-tun-komunalu (accessed March 16, 2021).

Osička J, Černoch F, Ocelík P, Vlček T. 2012. *Technicko-ekonomické aspekty energetiky*. Muni press-Masarykova univerzita, Brno.

Otázky a odpovědi k balíčku o oběhovém hospodářství. 2015.. Evropská komise, Brusel. Available at https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/MEMO_15_6204 (accessed March 05, 2021).

Oumer AN, Hasan MM, Baheta AT, Mamat R, Abdullah AA. 2018. Bio-based liquid fuels as a source of renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **88**:82-98.

Petroleum.cz: Doprava a skladování ropy. Ústav technologie ropy a alternativních paliv, Česká národní rada světové rady pro ropu (WPC). Available at <http://www.petroileum.cz/doprava/index.aspx> (accessed April 19, 2021).

Plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015-2024 (POH). 2014.. Ministerstvo životního prostředí, Praha.

- Politika ochrany klimatu v ČR. 2017. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Produkce, využití a odstranění odpadů Generation, recovery and disposal of waste. 2021.. Český statistický ústav (ČSÚ), Praha.
- Procházka P, Smutka L, Höinig V. 2019. Using Biofuels for Highly Renewable Electricity Systems: A Case Study of the *Jatropha curcas*. *Energies* **12**.
- Quaschnig V. 2010. Obnovitelné zdroje energií. Grada Publishing, Praha.
- Renewable energy directive: The recast directive 2018/2001/EU. 2021.. European Commission. Available at https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview_en (accessed March 03, 2021).
- Reza MT, Andert J, Wirth B, Busch D, Pielert J, Lynam JG, Mumme J. 2014. Hydrothermal Carbonization of Biomass for Energy and Crop Production. *Applied Bioenergy* **1**:19.
- Ritchie H. 2017. Fossil Fuels. *Our World in Data*:25.
- Sandesh K, Ujwal P. 2021. Trends and perspectives of liquid biofuel – Process and industrial viability. *Energy Conversion and Management*: X:14.
- Santos RG dos, Alencar AC. 2020. Biomass-derived syngas production via gasification process and its catalytic conversion into fuels by Fischer Tropsch synthesis: A review. *International Journal of Hydrogen Energy* **45**:18114-18132.
- Sdělení komise Evropskému parlamentu, Evropské radě, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů: Zelená dohoda pro Evropu. 2019. Evropská komise, Brusel.
- Sdělení komise Evropskému parlamentu, Evropské radě, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů: Uzavření cyklu – akční plán EU pro oběhové hospodářství. 2015.. Evropská komise, Brusel.
- Sharma HB, Sarmah AK, Dubey B. 2020. Hydrothermal carbonization of renewable waste biomass for solid biofuel production: A discussion on process mechanism, the influence of process parameters, environmental performance and fuel properties of hydrochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **123**:22.
- Sheldon RA. 2020. Biocatalysis and biomass conversion: enabling a circular economy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **378**.
- Schmieder H, Abeln J, Boukis N, Dinjus E, Kruse A, Kluth M, Petrich G, Sadri E, Schacht M. 2000. Hydrothermal gasification of biomass and organic wastes. *The Journal of Supercritical Fluids* **17**:145-153.
- Singh D, Sharma D, Soni SL, Inda CS, Sharma S, Sharma PK, Jhalani A. 2021. A comprehensive review of physicochemical properties, production process, performance and emissions characteristics of 2nd generation biodiesel feedstock: *Jatropha curcas*. *Fuel* **285**:19.

Směrnice Evropského parlamentu a rady (ES) č. 98/2008: o odpadech a o zrušení některých směrnic. 2008.. Úřední věstník Evropské unie.

Směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) č. 2018/2001: o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů (Směrnice RED II). 2018.. Úřední věstník Evropské unie, přepracované znění.

Song C, Zhang C, Zhang S, Lin H, Kim Y, Ramakrishnan M, Du Y, Zhang Y, Zheng H, Barceló D. 2020. Thermochemical liquefaction of agricultural and forestry wastes into biofuels and chemicals from circular economy perspectives. *Science of The Total Environment* **749**.

Spliethoff H. 2010. *Power Generation from Solid Fuels*. Springer-Verlag, Berlin.

Statistika dovozu ropy do ČR: Informace o vývoji dovozů ropy v letech 2010—2019. 2021.. Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO). Available at <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/ropa-ropne-produkty/statistika-dovozu-ropy-do-cr--259953/> (accessed March 11, 2021).

Státní energetická koncepce České republiky (SEK ČR). 2014.. Ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha.

Stegmann P, Londo M, Junginger M. 2020. The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. **6**.

Strategický rámec: Česká republika 2030. 2017.. Úřad vlády České republiky, Odbor pro udržitelný rozvoj, Vláda ČR, Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO).

Šimáček P, Vrtiška D, Mužíková Z, Pospíšil M. 2017. Motorová paliva vyráběná hydrogenací rostlinných olejů a živočišných tuků. *Chemické listy*:206-212. Ústav technologie ropy a alternativních paliv.

Tabak J. 2009. *Biofuels. Facts On File*, New York.

Tisková zpráva: Česko v roce 2019 vyprodukovalo 37 mil. tun odpadu. 2021.. Český statistický ústav (ČSÚ), Praha. Available at <https://www.czso.cz/csu/czso/cesko-v-roce-2019-vyprodukovalo-37-mil-tun-odpadu> (accessed March 08, 2021).

Tisková zpráva: Zásadní transformace dopravy: Komise představila svůj plán ekologické, inteligentní a cenově dostupné mobility. 2020. Evropská komise, Brusel. Available at https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/ip_20_2329 (accessed March 13, 2021).

Toppr. 2020. Introduction to Fuel and Fuel Efficiency. Available at <https://www.toppr.com/guides/chemistry/combustion-and-fuel/introduction-to-fuel-and-fuel-efficiency/> (accessed February 22, 2021).

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC): The Paris Agreement. 2021.. United National Climate Change. Available at <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (accessed February 28, 2021).

Uzoejinwa BB, He X, Wang S, El-Fatah Abomohra A, Hu Y, Wang Q. 2018. Co-pyrolysis of biomass and waste plastics as a thermochemical conversion technology for high-grade biofuel production: Recent progress and future directions elsewhere worldwide. *Energy Conversion and Management* **163**:468-492.

Van de Loosdrecht J, Botes FG, Ciobica IM, Ferreira A, Gibson P, Moodley DJ, Saib AM, Visagie JL, Weststrate CJ, Niemantsverdriet JW. 2013. Fischer–Tropsch Synthesis: Catalysts and Chemistry. *Comprehensive Inorganic Chemistry II*:525-557. Elsevier.

Vyhláška o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů). 2021. Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo zdravotnictví, Praha

Wainaina S, Horváth IS, Taherzadeh MJ. 2018. Biochemicals from food waste and recalcitrant biomass via syngas fermentation. *Bioresource Technology* **248**:113-121.

Zabed HM, Akter S, Yun J, Zhang G, Awad FN, Qi X, Sahu JN. 2019. Recent advances in biological pretreatment of microalgae and lignocellulosic biomass for biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **105**:105-128.

Zákon č. 201/2012 Sb., 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. 183/2017 Sb. a zákona č. 225/2017 Sb. a zákona č. 172/2018 Sb. 2012. Parlament České republiky, Praha.

Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech. 2020.. Parlament České republiky, Praha.

Zeman P, Höning V, Kotek M, Táborský J, Obergruber M, Mařík J, Hartová V, Pechout M. 2019. Hydrotreated Vegetable Oil as a Fuel from Waste Materials. *Catalysts* **9**.

Zhang X, Athmanathan A, Mosier NS. 2016. Biochemical conversion of biomass to biofuels. 79-141 in *Valorization of Lignocellulosic Biomass in a Biorefinery*. Chapter 3. Nova Science Publishers, US.

Zpráva Enviros, s.r.o.: Metodika tvorby a hodnocení politik a opatření pro snižování emisí skleníkových plynů. 2017. Technologická agentura České republiky. Available at https://www.enviros.cz/media/2018/03/Zpr%C3%A1va_metodika-.pdf (accessed March 12, 2021).

5.1 Seznam obrázků

Obr. 3.1 - Technologie přeměny biomasy (Zabed et al. 2019).....	16
Obr. 3.2 – Transformace ekonomiky EU dle Zelené dohody pro Evropu (Evropská komise 2019).....	18
Obr. 3.3 - Uzavření cyklu oběhového hospodářství (Evropská databanka 2021).....	22
Obr. 3.4 - Energetický vývoj v dopravě a struktura konečné spotřeby energie (SEK ČR 2014)	25
Obr. 3.5 – Plánované snížení emisí CO ₂ do roku 2030 oproti roku 2005 (Politika ochrany klimatu 2017)	27
Obr. 3.6 - Produkce odpadu v ČR v letech 2017-2019 (ČSÚ 2021).....	28
Obr. 3.7 - Průřez plodem <i>Jatropha curcas</i> (Alherbawi et al. 2021).....	44
Obr. 3.8 – Znázornění metod výroby biopaliv 2. generace (Hu et al. 2010; Lee et al. 2019; Ganguly et al. 2021); vlastní zpracování).....	45
Obr. 3.9 – Typy pyrolýzy biomasy (Lee et al. 2019).....	48
Obr. 3.10 - Fischer-Tropschova syntéza (Santos & Alencar 2020).....	51
Obr. 3.11 - Reakční schéma transesterifikace (Mansir et al. 2018).....	52
Obr. 3.12 – Hydrogenace triacylglycerolu (ETIP Bioenergy).....	52
Obr. 3.13 - Znázornění podkritické a superkritické oblasti (SciMed 2021).....	53
Obr. 3.14 - Jednotlivé faktory udržitelnosti biopaliv (Nizami et al. 2017)	56
Obr. 3.15 – Jednotlivé elementy cirkulární bioekonomiky (Stegmann et al. 2020)	58

5.2 Seznam tabulek

Tab. 3.1– Dovoz ropy do ČR v letech 2010–2019 (MPO 2021)	12
Tab. 3.2 – Hlavní skupiny katalogu odpadů související s výrobou biopaliv (Katalog odpadů 2021).....	32
Tab. 3.3 - Přehled enzymů hydrolyzujících jednotlivé složky lignocelulózové biomasy (Zhang et al. 2016)	47