



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

BIOPALIVA NOVÉ GENERACE

NEW GENERATION OF BIOFUELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Pražák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Vojtěch Pražák
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

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

Biopaliva nové generace

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jednou z podporovaných cest eliminace emisí skleníkových plynů a zvyšování energetické bezpečnosti je výroba tzv. biopaliv, tedy hořlavých kapalin a plynů, které jsou přimíchávány do standardních paliv fosilního původu nebo fosilní paliva nahrazují. Vývoj technologií a přístupů pro výrobu těchto biopaliv doznal za léta značných změn. Po první generaci, která je postavena na výrobě paliv z potravin (kukuřice, řepka), přišla druhá generace využívající jako vstupní surovinu především bioodpady. V současné době se už mluví i o třetí a čtvrté generaci biopaliv. Tato rešeršní práce se bude věnovat technologiím výroby biopaliv jednotlivých generací. Student popíše základní principy, užité technologie, výhody a omezení, rozšíření jednotlivých technologií a příspěvek do portfolia výroby biopaliv v rámci EU.

Cíle bakalářské práce:

- popis základních technologií získávání biopaliv,
- určení výhod a omezení jednotlivých technologií,
- rozšíření jednotlivých technologií a příspěvek do portfolia výroby biopaliv v rámci EU.

Seznam doporučené literatury:

VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá jednotlivými generacemi biopaliv. Jejich výhodami i nevýhodami a problematikou spojenou s jejich použitím v praxi. První část je zaměřená převážně na legislativu a seznámení s problematikou biopaliv jako celku. Druhá část je zaměřena na seznámení a popis jednotlivých biopaliv s příklady využití v praxi. V závěru práce je provedena analýza jednotlivých generací, zastoupení na trhu s palivy a jejich účinností.

Klíčová slova

Biopaliva, e-Paliva, vodík, řasy, biomasa, odpad

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with different generations of biofuels. Their advantages and disadvantages and problems associated with their use in practice. The first part of the theses focuses on legislation and acquaintance with the issue of biofuels as a whole. The second part is focused on acquaintance and description of individual biofuels with examples of use in practice. At the end of the work there is an analysis of individual generations, representation in the fuel market and their efficiency.

Key words

Biofuels, eFuels, hydrogen, algae, biomass, waste

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PRAŽÁK, Vojtěch. *Biopaliva nové generace* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132084>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Marek Baláš.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Biopaliva nové generace** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Marku Balášovi Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Úvod do problematiky biopaliv	12
1.1 Co jsou to biopaliva	12
1.2 Legislativní vymezení biopaliv.....	12
1.3 Proč se vyvíjí nové generace biopaliv	13
1.4 Typy pokročilých biopaliv	14
1.4.1 Biobutanol	15
1.4.2 BioDME (dimethylether)	16
1.4.3 Biovodík.....	16
1.4.4 Biometan	17
1.4.5 Celulóзовý etanol.....	17
1.4.6 Biomass to Liquid (BtL)	17
1.4.7 Hydrogenačně upravené rostlinné oleje (HVO).....	18
1.4.8 Pyrolýzní olej	18
1.4.9 Biopaliva z řas	19
2 Generace biopaliv	20
2.1 Biopaliva podle zdroje použité biomasy.....	20
3 První generace biopaliv	21
3.1 Bioetanol první generace	21
3.2 Bionafta první generace	22
3.3 Bioplyn první generace.....	23
3.4 Výhody a nevýhody biopaliv první generace	23
4 Druhá generace biopaliv	25
4.1 Bioetanol druhé generace.....	25
4.1.1 Zpracování celulózy na bioetanol společností Sekab.....	26
4.2 Bionafta druhé generace	28
4.3 Biometan druhé generace.....	29
4.4 Výhody a nevýhody biopaliv druhé generace.....	29
5 Biopaliva třetí generace	31
5.1 Výhody a nevýhody biopaliv třetí generace	33
6 Biopaliva čtvrté generace	34
6.1 Haru Oni: Palivo z větru a vody	35
6.2 Jak funguje projekt Haru Oni.....	35
6.3 Účinnost a potřebná vstupní energie.....	36
6.4 Výhody a nevýhody biopaliv čtvrté generace.....	37
7 Výroba biopaliv v rámci EU.....	38
ZÁVĚR.....	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	42
SEZNAM OBRÁZKŮ	47
SEZNAM TABULEK	48

ÚVOD

V dnešní době, kdy jsme odkázáni na co nejrychlejší a nejpohodlnější přepravu z místa na místo, roste dopravní zatížení na silnicích, ve vzduchu, ale i na vodě. Ať už se jedná o osobní, pracovní, nebo komerční přepravu, souvisí s tím i čím dál vyšší spotřeba paliv. Tyto paliva jsou ovšem zdroji stále většího znečištění ovzduší skleníkovými plyny (CO₂), které mají výrazný vliv na změnu klimatu a oteplování. Aby se vliv používání paliv a znečišťování ovzduší snížil, vznikl požadavek na snížení vypouštěných emisí při spalování pohonných hmot. Tohoto snížení má být dosaženo za pomoci udržitelných paliv, tzv. biopaliv, které jsou vyráběny z biomasy.

Cílem této bakalářské práce je provést rešerši technologií jednotlivých generací biopaliv, popisem základních principů, použitých technologií a srovnání výhod, nevýhod a jejich omezení. Na závěr bude provedeno vyhodnocení příspěvku jednotlivých technologií do portfolia výroby biopaliv v rámci EU.

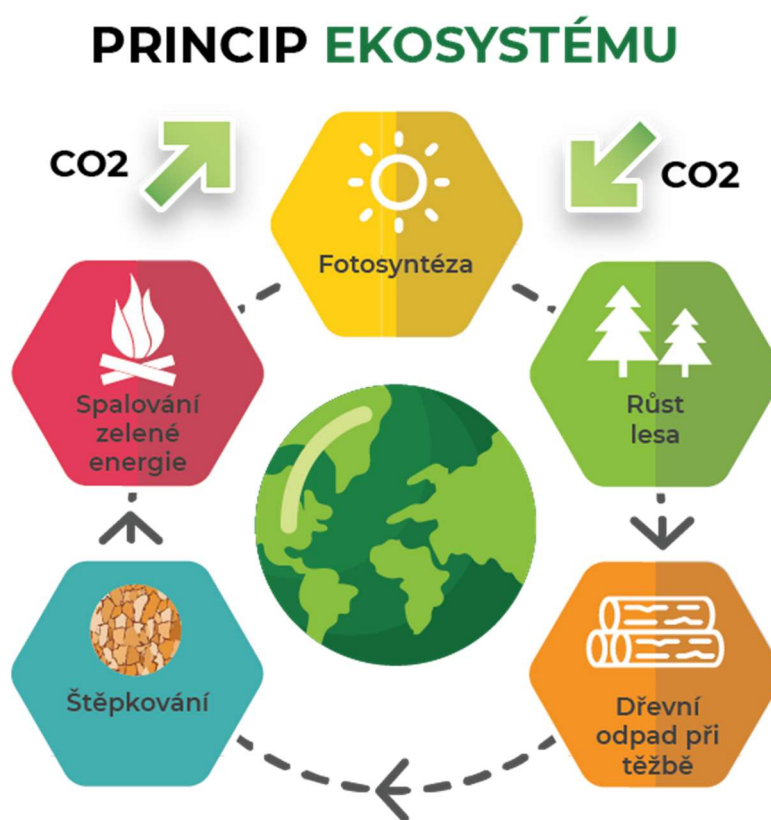
1 Úvod do problematiky biopaliv

1.1 Co jsou to biopaliva

Biopaliva jsou paliva, která lze získat z obnovitelných zdrojů energie. Za obnovitelné zdroje energie se v této souvislosti považuje využití biomasy a výroba syntetických paliv.

Pod pojem biomasa lze zahrnout všechny živé organismy, které se nachází v přírodě v rostlinné a živočišné podobě. Téměř všechny organismy, které se vyskytují na zemi, obsahující ve své struktuře uhlík, v jakékoliv podobě, mohou být zpracovány pro energetické účely.

Biopaliva se dělí podle skupenství na tři části: pevná, kapalná a plynná. Každé skupenství se využívá k jinému energetickému účelu [1].



Obrázek 1 Grafické znázornění významu OZE [2]

1.2 Legislativní vymezení biopaliv

Pravidly pro výrobu biopaliv se v České republice zabývá několik nařízení a zákonů. Mezi nejdůležitější lze zahrnout § 3 a § 4 nařízení vlády č. 189/2018 Sb., o *kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot* s platností od 29.8.2018 a účinností od 1.9.2018 [3]. Toto nařízení bylo změněno nařízením vlády č. 492/2020 Sb., o *Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 189/2018 Sb., o kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot* s platností od 2.12.2020 a účinností od 1.1.2021 [4].

Biopalivy, biomasou a jejich udržitelností se zabývá § 21 zákona č. 201/2012 Sb., o *ochraně ovzduší* s platností od 13.6.2012 a účinností od 1.9.2012 [5].

Požadavky složení pohonných hmot se zabývá § 2 a § 3 vyhlášky č. 516/2020 Sb., o *požadavcích na pohonné hmoty a provedení některých dalších ustanovení zákona o pohonných*

hmotách s platností od 11.12.2020 a účinností od 1.1.2021 [6]. Tato vyhláška má dělenou účinnost, která se vztahuje k § 3 odst. 1 písm. n) vyhlášky č. 516/2020 Sb., o požadavcích na pohonné hmoty a provedení některých dalších ustanovení zákona o pohonných hmotách.

Výroba biometanu se řídí § 3 vyhlášky č. 477/2012 Sb., o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů s platností od 31.12.2012 a účinností od 1.1.2013 [7].

Evropská unie se aktuálně řídí Směrnicí evropského parlamentu a rady (EU) 2018/2001 ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů [8].

1.3 Proč se vyvíjí nové generace biopaliv

Nové generace biopaliv se vyvíjí z důvodu snížení emisí CO₂ a nepřímo jako mezikrok při přechodu na elektromobilitu. Biopaliva mohou přispět k výraznému snížení celkového množství emisí CO₂, za předpokladu, že jsou vyráběny udržitelně a nezpůsobují nepřímé změny ve využívání půdy [9].

S první generací biopaliv vzrostl i nedostatek potravinářských a hospodářských plodin. Konkrétně se jedná o tyto plodiny: kukuřice, obiloviny, řepka olejka, slunečnice a další. Tyto plodiny se využívají především pro jejich vysoký podíl sacharidů a tuků a snadné zpracování při přeměně na bioetanol, bionaftu, a jiná paliva. Pro výrobu bioetanolu, se využívají plodiny s vysokým obsahem sacharidů. Sacharidy obsažené v plodinách se pomocí kvašení a následné destilace přemění na výše zmíněný bioetanol, který se přimíchává do benzínu.

Při výrobě bionafty se naopak využívají plodiny bohaté na tuky, které se za pomoci chemických procesů přeměňují na metylestery mastných kyselin. Bionafta i bioetanol mají podobné, ne-li stejné vlastnosti jako nafta a benzín, a proto není potřeba žádný konstrukční zásah do spalovacích motorů. Vše záleží hlavně na výsledném poměru smíchané směsi biopaliva s jeho fosilní variantou.

V současné době mají nejvyšší komerční podíl na trhu biopaliva první generace. Směsi s konvenčními fosilními palivy jsou kompatibilní s existující palivovou infrastrukturou a většina vozidel a plavidel je kompatibilní s aktuálně dostupnými upravenými palivy. Benzínová směs obsahuje až 10 % bioetanolu (označuje se E10), v českých podmínkách se aktuálně nejčastěji prodává varianta E5 – tj. v palivu je zastoupeno 5 % bioetanolu. Pokud jde o směs fosilní nafty a bionafty, prodává se nafta s označením B7 – kdy podíl bio-složky obsažené v naftě dosahuje 7 % [9].

Aby se podpořila produkce plodin pro konzumaci, vznikla nová generace biopaliv. Tato generace biopaliv se nazývá pokročilá, ale známější je pod názvem *druhá generace biopaliv*. Tyto paliva již nevyužívají hospodářské plodiny, ale naopak se snaží využívat rychle rostoucí biomasu a odpadní materiál. Do této oblasti lze zařadit dřevo, slámu, hnůj, traviny, řasy [1].

Význam biopaliv, počínaje převážně druhou generací, má za úkol výrazné snížení hodnoty emisí a s tím spojený nárůst skleníkových plynů obsažených v ovzduší a atmosféře. Tyto emise mají prokazatelně za následek globální oteplování planety Země. Vytváří kolem Země obal, který zadržuje teplo ze Slunce. Myšlenka druhé generace biopaliv spočívá v tom, že biomasa použita k výrobě biopaliv obsahuje stejné, nebo podobné množství CO₂, které spotřebovali živé organismy pomocí fotosyntézy ke svému růstu. Zavedení tohoto druhu biopaliva do provozu má za následek významné snížení emisí CO₂ v ovzduší [1].

1.4 Typy pokročilých biopaliv

Pokročilá biopaliva jsou definována jako biopaliva vyrobená ze surovin uvedených v části A, přílohy IX návrhu Směrnice evropského parlamentu a rady (EU) o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů z 21.12.2018, konkrétně se jedná o směrnici 2018/2001 [8].

Příloha IX, část A:

„Suroviny pro výrobu bioplynu pro dopravu a pokročilých biopaliv, jejichž příspěvek k minimálním podílům uvedených v čl. 25 odst. 1 prvním a čtvrtém pododstavci lze považovat za dvojnásobek jejich energetického obsahu:

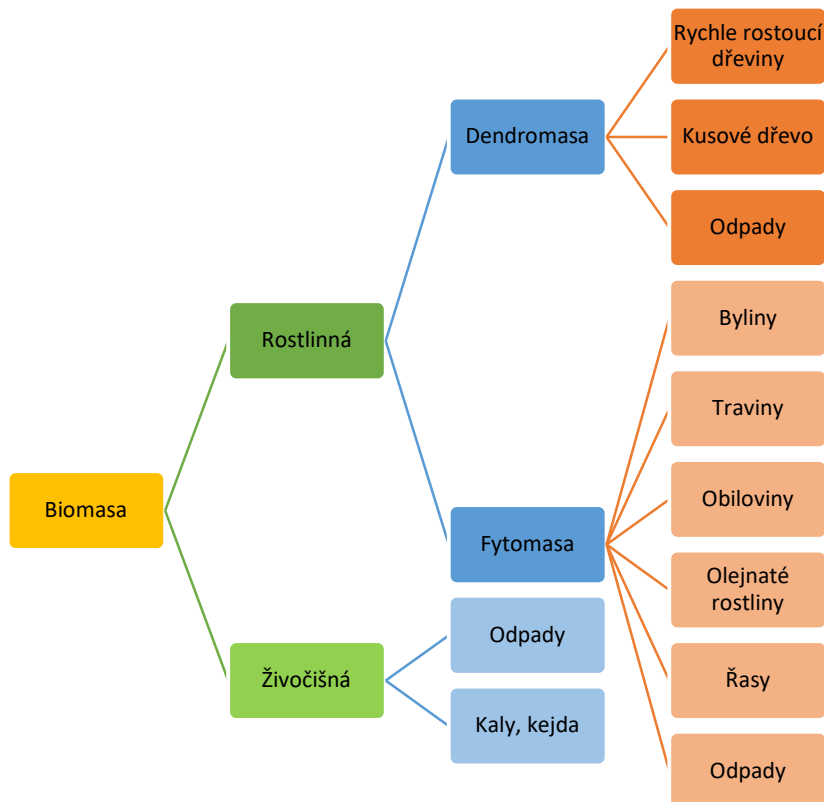
- a) řasy, pokud jsou pěstovány ve vodních nádržích či fotobioreaktorech;*
 - b) podíl biomasy na směsném komunálním odpadu, nikoli však tříděný domácí odpad, který spadá pod cíle recyklace podle čl. 11 odst. 2 písm. a) směrnice 2008/98/ES;*
 - c) biologický odpad ve smyslu čl. 3 bodu 4 směrnice 2008/98/ES ze soukromých domácností, na který se vztahuje tříděný sběr ve smyslu čl. 3 bodu 11 uvedené směrnice;*
 - d) podíl biomasy na průmyslovém odpadu, který není vhodný pro využití v potravinovém či krmivovém řetězci, včetně materiálů pocházejících z maloobchodu a velkoobchodu a zemědělsko-potravinářského průmyslu, jakož i odvětví rybolovu a akvakultury, ale ne suroviny uvedené v části B této přílohy;*
 - e) sláma;*
 - f) chlévská mrva a kal z čistíren odpadních vod;*
 - g) odpadní vody z lisovny palmového oleje a trsy prázdných palmových plodů;*
 - h) dehet z tálového oleje;*
 - i) surový glycerin;*
 - j) bagasa;*
 - k) matoliny a vinné kaly;*
 - l) ořechové skořápky;*
 - m) plevy;*
 - n) kukuřičné klasy zbavené zrn;*
 - o) podíl biomasy na odpadu a zbytcích z lesnictví a z dřevozpracujících odvětví, jako jsou kůra, větve, nekomerční pročišťky, listí, jehličí, koruny stromů, piliny, hobliny, černý louh, hnědý louh, kal z vláknovin, lignin a tálový olej;*
 - p) další nepotravinářské celulózové vláknoviny;*
 - q) další lignocelulózové vláknoviny, s výjimkou pilařského dřeva a dýhařského dřeva.*
- [8]“

Článek 25, odst. 1, první pododstavec:

„V zájmu všeobecného rozšíření využívání energie z obnovitelných zdrojů v odvětví dopravy uloží každý členský stát dodavatelům paliv povinnost zajistit, aby nejpozději v roce 2030 činil podíl energie z obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie v odvětví dopravy alespoň 14 % (minimální podíl), v souladu s orientační trajektorií stanovenou členským státem vypočtenou v souladu s metodikou stanovenou v tomto článku a v člancích 26 a 27. Komise tuto povinnost posoudí s cílem předložit do roku 2023 legislativní návrh na její zpřísnění, pokud budou náklady na výrobu energie z obnovitelných zdrojů dále významně sníženy, bude-li třeba splnit mezinárodní závazky Unie ohledně dekarbonizace nebo bude-li toto zvýšení odůvodněno významným snížením spotřeby energie v Unii[8].“

Článek 25, odst. 1, čtvrtý pododstavec:

„V rámci minimálního podílu uvedeného v prvním pododstavci musí příspěvek pokročilých biopaliv a bioplynu vyrobených ze surovin uvedených v příloze IX části A vyjádřený jako podíl na konečné spotřebě energie v odvětví dopravy představovat v roce 2022 alespoň 0,2 %, v roce 2025 alespoň 1 % a v roce 2030 alespoň 3,5 % [8].“



Obrázek 2 Rozdělení biomasy [1]

1.4.1 Biobutanol

Butanol je alkohol, který lze použít jako pohonnou hmotu. Každá molekula obsahuje čtyři atomy uhlíku, a to je více než dva atomy v etanolu.

Biobutanol lze vyrábět fermentací biomasy metodou A.B.E. Metoda využívá bakterii *Clostridium acetobutylicum*, známou také pod názvem *Weizmannův organismus*, nebo *Clostridium beijerinckii*. Chaim Weizmann byl prvním, kdo použil *Clostridium acetobutylicum* k výrobě acetonu ze škrobu (s hlavním využitím acetonu pro výrobu korditu¹) v roce 1916. Butanol byl vedlejším produktem fermentace (bylo vyrobeno dvakrát větší množství butanolu). Tento proces také vytváří využitelné množství H₂ a řadu dalších vedlejších produktů: kyselinu octovou, mléčnou a propionovou, isopropanol a etanol. Největším problémem je relativně nízká výtěžnost a pomalé kvašení [11][13].

Biobutanol lze vyrobit také s použitím *Ralstonia eutropha* H16. Tento proces vyžaduje použití elektro-bioreaktoru a vstup oxidu uhličitého a elektřiny [12].

¹ Kordit – bezdýmná výbušnina vynalezena mezi polovinou 19. století a polovinou 20. století, jako pohonná směs do nábojů střelných zbraní (od ručních zbraní po těžká děla)

V neupravených benzínových (zážehových) motorech lze použít 85% směs butanolu a benzínu. Lze ho přepravovat ve stávajících benzínových potrubích a produkuje více energie na litr než etanol. Jako surovinu pro výrobu lze použít obilniny, cukrovou třtinu, cukrovou řepu atd. ale je možné ho vyrobit i z celulózových surovin. Rozdíl oproti výrobě etanolu spočívá především ve fermentaci suroviny a drobných změnách v destilaci.

V současné době neexistuje žádná komerční produkce biobutanolu a demonstrační závod s plánovaným začátkem výstavby v roce 2016, jihokorejskou rafinerií GS Caltex, není zrealizován [11][13].

1.4.2 BioDME (dimethylether)

Dimethylether (obvykle zkráceně DME) známý také pod názvy ether dřeva, methylether nebo dymethyloxid, je nejjednodušší ether. Jedná se o bezbarvý, lehce narkotický, netoxický vysoce hořlavý plyn v okolních podmínkách, ale lze s ním nakládat jako s kapalinou, pokud je lehce stlačený. Výrobní kapacita DME v Evropě je 140 kilotun a poptávka je okolo 80 kilotun ročně. V Evropě se používá hlavně jako náhrada aerosolového spreje. BioDME lze vyrábět použitím biometanolu vyrobeného ze syntetického plynu z biomasy. Komerční biometanolvý závod se nachází v Nizozemí s výrobní kapacitou 440 kilotun. Technologie výroby DME je vyspělá a celosvětově existuje mnoho závodů zabývajících se komerční výrobou. DME a BioDME mají řadu využití ve výrobcích a nejčastěji se používají jako náhrada propanu v kapalném ropném plynu (LPG), zejména v Asii, ale je možné ho použít i jako náhradu za motorovou naftu v dopravě. Kromě toho, že lze vyrobit DME z obnovitelných a udržitelných zdrojů, má další výhodu oproti fosilní naftě díky vysokému cetanovému číslu. To vede k tomu, že motor upravený ke spalování DME může díky důkladnějšímu spalování, dosáhnout vyšší účinnosti, lepšího dojezdu, a především snížení emisí CO₂ [14][15].

1.4.3 Biovodík

Vodík může být potenciálně vyrobený z biomasy několika způsoby. Jednou z možností je zachycení vodíku při produkci řas. Další možnost představuje elektrolýza vody při použití obnovitelných zdrojů elektřiny. Vodík získaný touto cestou, je možné použít přímo jako palivo pro pohon vozidel, nebo jej lze přeměnit na syntetický metan, který slouží jako vstupní surovina při výrobě dalších syntetických e-paliv.

Jednou z možností, jak získat plně obnovitelný vodík, je pěstování řas produkujících vodík H₂. Řasy mají díky schopnosti produkování vodíku obrovský potenciál ke zbavení se závislosti na fosilních palivech. Mikrořasy jsou fotosyntetické autotrofy², které za specifických podmínek mohou produkovat H₂. Při využití řasových systémů by bylo možné eliminovat několik problémů najednou. Jedním z příkladů řešení, se jeví pěstování řas na slunečním světle, kdy řasy za fotosyntézy spotřebují CO₂ z atmosféry, při produkci H₂ za současné produkce lipidů a dalších látek. V reálných podmínkách není množství H₂ významné a obvykle se shoduje s temnotou, anoxií³ nebo jiným zdůrazněním omezení síry nebo dusíku [16].

Druhou možností je využití OZE k výrobě vodíku. K výrobě se využívá elektrolýzy. Nejvhodnějším způsobem se jeví metoda PEM (Proton Exchange Membrane), která není náchylná k nestabilnímu přísunu energie z OZE, kterými jsou např. větrné a fotovoltaické elektrárny [38].

² Autotrofie – způsob získávání uhlíku pro stavbu uhlíkatých skeletů vlastních organických látek. Získávání uhlíku z anorganických látek (zpravidla oxidu uhličitého)

³ Anoxie – úplný nedostatek kyslíku v organismu nebo tkáni

1.4.4 Biometan

Biometan lze použít pro dopravu podobným způsobem, jako CNG. Biometan je bioplyn vyrobený anaerobním⁴ trávením, z kterého je odstraněn CO₂ a další nečistoty a takto připravený je vhodný k přepravě [9]. Biometan se využívá v podobě BioCNG a BioLNG. BioLNG vykázalo během měsíčního zkušebního provozu snížení emisí CO₂ o 90 % oproti dieselu a o 25 % nižší náklady ve srovnání s HVO. Toto řešení představuje spolehlivé a stabilní řešení pohonných hmot pro vnitrostátní přepravu [53].



Obrázek 3 Výsledky měsíčního zkušebního období [53]

1.4.5 Celulózový etanol

Etanol z celulózy lze vyrobit hydrolýzou a fermentací lignin-celulózového zemědělského odpadu, kterým je například sláma, kukuřičné klasy bez zrna, energetické traviny nebo další energetické plodiny. Koncový produkt je stejný, jako konvenční bioetanol, který je smíchaný s benzínem [9].

Směs celulózového etanolu a benzínu E20 v poměru 20:80 má oktanové číslo vyšší než 100 a díky tomu má i vyšší účinnost. Tato kombinace zároveň přispívá i k celkovému snížení emisí CO₂ o 20 %. Důvod snížení emisí o 20 % je ovlivněn tím, že při spalování celulózového etanolu vznikají téměř nulové emise [54].

1.4.6 Biomass to Liquid (BtL)⁵

Kapalné palivo se obvykle vyrábí zplyňováním (zahříváním při částečné přítomnosti kyslíku za vzniku oxidu uhelnatého a vodíku). Mezi suroviny patří dřevní zbytky, odpady nebo energetické plodiny. Po zplyňování následuje ochlazení a následná syntéza paliva pomocí Fischer-Tropschovy syntézy nebo proces přeměny metanolu na benzín. BtL se používá ve vznětových motorech. Bylo schváleno i jako letecké palivo. Vysokoteplotní plazmové zplyňování umožňuje přeměnu širšího spektra surovin na syntézní plyn, který může být vyčištěn a přeměněn na paliva [10].

⁴ Anaerobní – biologický proces, kdy reakce probíhá při omezeném přísunu kyslíku

⁵ Biomass to Liquid (BtL) – přeměna biomasy na kapalná paliva

1.4.7 Hydrogenačně upravené rostlinné oleje (HVO)

HVO a HEFA paliva nemají nepříznivé účinky bionafty esterového typu, kterými jsou zvýšené emise NO_x , tvorba usazenin, problémy se stabilitou při skladování, rychlejší stárnutí oleje nebo špatné vlastnosti za studena. HVO jsou parafinické uhlovodíky s přímým řetězcem, které neobsahují aromatické látky, kyslík ani síru a mají vysoké cetanové číslo. Jsou také schválené pro použití jako leteckého paliva. Cílem je vyrábět HVO paliva z udržitelných obnovitelných zdrojů [10].

Současná generace vozidel DAF umožňuje spalovat HVO paliva bez nutnosti technických úprav a nedochází ke snížení výkonu. Podle analýzy „well-to-wheel“⁶ může použití HVO vést ke snížení emisí CO_2 až o 90 %.

V porovnání s první generací bionafty nemá výroba HVO výrazný vliv na produkci potravin. HVO je vyráběna z hydrogenovaných rostlinných olejů a odpadních olejů a tuků. Při výrobě se využívá namísto methanolu, vodík. Tento postup výroby byl pro firmu DAF důležitým okamžikem k výrazné propagaci bionafty [17].



Obrázek 4 DAF HVO [18]

1.4.8 Pyrolýzní olej

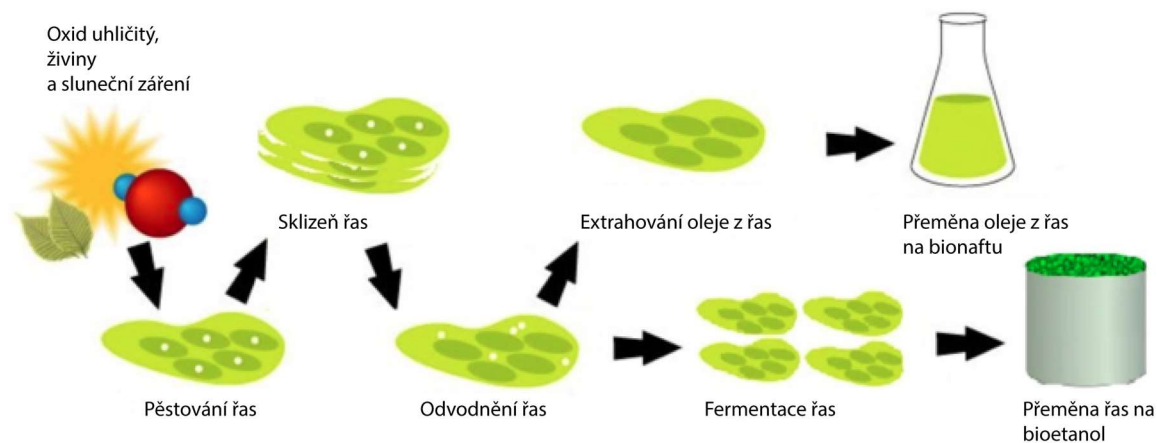
Pyrolýzní olej, nebo také bio-olej/bio-ropa se vyrábí pyrolýzou, procesem, který využívá rychlého zahřívání nebo přehřátou vodu k přeměně organické hmoty na olej. Rychlá pyrolýza zahrnuje rychlé zahřátí (1-2 sekundy) jemného materiálu až na teplotu 500 °C. Termomechanická přeměna využívá přehřátou vodu k přeměně organické hmoty na bio-olej. Poté může následovat bezvodé krakování⁷/destilace. Kombinovaný proces je známý jako termální depolymerizace (TDP). Bio-olej je možné využít jako topné palivo, nebo ho lze dalším zpracováním přeměnit na pokročilá biopaliva [10].

⁶ Well-to-wheel – jedná se o metodu srovnání účinnosti rozdílných řešení v boji proti emisím skleníkových plynů [19]

⁷ Krakování – termický rozklad uhlovodíků s delším řetězcem na uhlovodíky s kratším

1.4.9 Biopaliva z řas

Biopaliva lze vyrobit z makro řas (mořských řas) a mikrořas pomocí řady technologií. Spousta projektů a testovacích zařízení nyní vyhledává nejvhodnější druhy řas pro použití a nejlepší možné výrobní technologie. Biopaliva z řas vzbudila velký zájem tím, že nekonkurují potravinářským plodinám, a i tím, že pro zvýšenou produkci nepotřebují zabírat velkou plochu zemědělské půdy. Řasy lze pěstovat v nádržích a jejich produkce je proti konvenčním surovinám, vysoká. Konvenční suroviny jsou sklizeny jednou ročně, některé vícekrát. Některé typy řas potřebují k produkci dostatečného množství řas řádově týdny, nikoliv měsíce. To vzbuzuje významnou atraktivitu pro komerční využití řas k produkci biopaliv. Bohužel současné technologie přeměny řas na biopaliva nejsou zatím natolik vyspělé, jako u jiných pokročilých biopaliv [10].



Obrázek 5 Proces přeměny řas na biopaliva [20]

2 Generace biopaliv

2.1 Biopaliva podle zdroje použité biomasy

Biomasa zpracovaná na pevné biopalivo, je nejčastěji spalována při výrobě elektrické energie. Výhodou spalování biomasy na přeměnu v elektrickou energii je, že škodliviny (CO_2 , NO_x , oxidy síry), které se dostávají spalováním do ovzduší, jsou na rozdíl od spalování fosilních paliv, téměř CO_2 neutrální. Tato skutečnost je způsobena tím, že suroviny, které se využívají, absorbují CO_2 z ovzduší fotosyntézou, a takto spotřebované CO_2 je následně uvolněné zpět. Hlavní surovinou jsou rostliny, které přeměňují sluneční energii pomocí fotosyntézy na sacharidy [21].

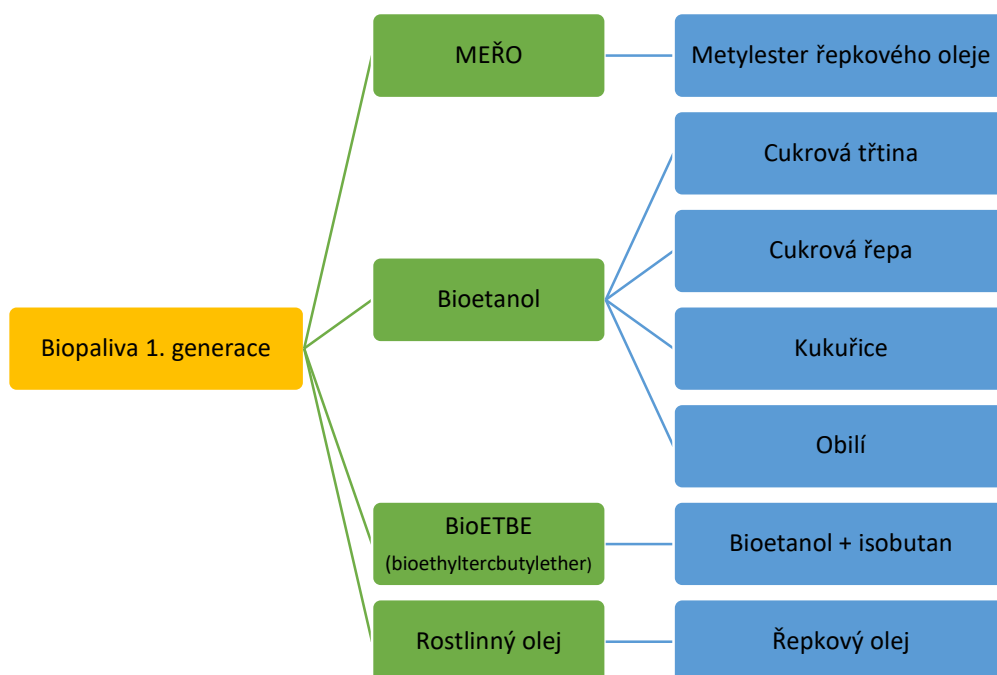
Jako palivo se nejčastěji používá při výrobě elektřiny dřevěný odpad ve formě štěpky, piliny ve formě pelet nebo briket. Lze použít i slámu, jak obilnou, tak z olejnin. Nejčastější olejninou, ze které se zpracovává odpadní materiál pro energetické účely, je řepka olejná, která se lisuje, nebo se z ní vyrábí brikety a granule [21].

V Česku existuje několik míst, která spalují biomasu k energetickým účelům. Nejvýznamnějším distributorem je společnost ČEZ, která v roce 2018 dodala do domácností 531 GWh elektřiny z biomasy. Pro představu se jedná o roční spotřebu až pro 200 tisíc domácností. Elektrárna s nejvyšším podílem vyrobené elektřiny se nachází v Hodoníně a v roce 2018 vyrobila 296 GWh. Pro spalování biomasy využívá elektrárna fluidní kotel s elektrickým výkonem až 30 MW a spotřeba biomasy je 1250 tun, z toho fluidní kotel č. 1 spotřebuje 700 tun. [22][23].

Mezi energetické rostliny patří velké množství jednoletých, dvouletých a vytrvalých druhů. Nejpoužívanějšími a nejrozšířenějšími jsou například laskavec, konopí seté, sléz přeslenitý, pupalka dvouletá, komonice bílá, mužák prorostlý, čičorka pestrá. Z energetického hlediska je nejperspektivnějším šťovík krmný. Vysazují se i další rychle rostoucí dřeviny, zástupci této skupiny jsou především topoly, vrby, olše, akáty, platany apod. Tyto dřeviny mají jedno společné, jsou velmi nenáročné na vegetační podmínky. Přirozeně se velmi dobře rozšiřují za pomoci větru [21].

3 První generace biopaliv

Biomasa pro výrobu biopaliv první generace má nejvýhodnější podmínky k produkci v oblastech tropického pásma. Tyto podmínky jsou podmíněné především dostatkem úrodné půdy a přírodními podmínkami. Díky kombinaci těchto faktorů, lze dosahovat vysokých ročních výnosů. Tyto výnosy jsou dvakrát až třikrát výhodnější než v lokalitě mírného podnebného pásu. Z pohledu výnosnosti energetických plodin je to přínosné pro energetický průmysl. Z pohledu dopadu na přírodní ekosystém z dlouhodobého hlediska, lze předpokládat projevy negativních vlivů spojených s pěstováním. Mezi nejzávažnější lze považovat používání pesticidů, ztráta biodiverzity, používání umělých hnojiv za účelem navýšení výnosnosti úrody, a i ovlivnění přirozené kyselosti půdy. Nejčastěji se v těchto oblastech pěstuje cukrová třtina pro svoji nenáročnost a vysokou výnosnost. K pěstování se využívají původní ekosystémy lesů, mokřin a pastvin, které jsou nahrazeny plantážemi bioenergetických plodin.



Obrázek 6 Rozdělení biopaliv 1. generace

3.1 Bioetanol první generace

Při výrobě etanolu se využívá proces kvašení, kdy je jako vstupní surovina použita biomasa bohatá na sacharidy a škroby. Ve chvíli, kdy biomasa obsahuje cukry, je proces kvašení jednoduchý. Pokud rostlinná biomasa obsahuje sacharidy v podobě škrobů, je důležité nejdříve tyto dlouhé uhlíkové řetězce za pomoci vhodných enzymů, nebo jiným způsobem upravit na jednodušší cukry, které zvládnou kvasinkové kultury přetvořit na kvas.

Ve chvíli, kdy kvasinky obsažené v kvasu dokončí svoji činnost, lze z této směsi následnou destilací získat etanol, který lze použít jako palivo.

Bioetanol lze použít v jeho čisté podobě, nebo jej smíchat s fosilními palivy (benzínem), nejčastěji v koncentraci 5-10 %. Přidáním bioetanolu do benzínu se zvýší jeho oktanové číslo a vlivem tohoto procesu dochází ke snížení emisí CO₂.

Zajímavým faktem je použití čistého bioetanolu pro pohon vozidel v Brazílii. V 80. letech minulého století, dvě třetiny automobilů, které zde byly v provozu, měli speciální úpravu motoru pro použití čistého bioetanolu. Tento bioetanol se připravoval z cukrové třtiny. V dnešní době už se nevyrábí automobily s takto upravovanými motory, ovšem bioetanol se nadále

přidává do benzínu, kde je zastoupen 26 % třtinového alkoholu. Tato koncentrace umožňuje dnešním motorům spalovat takto upravené palivo.

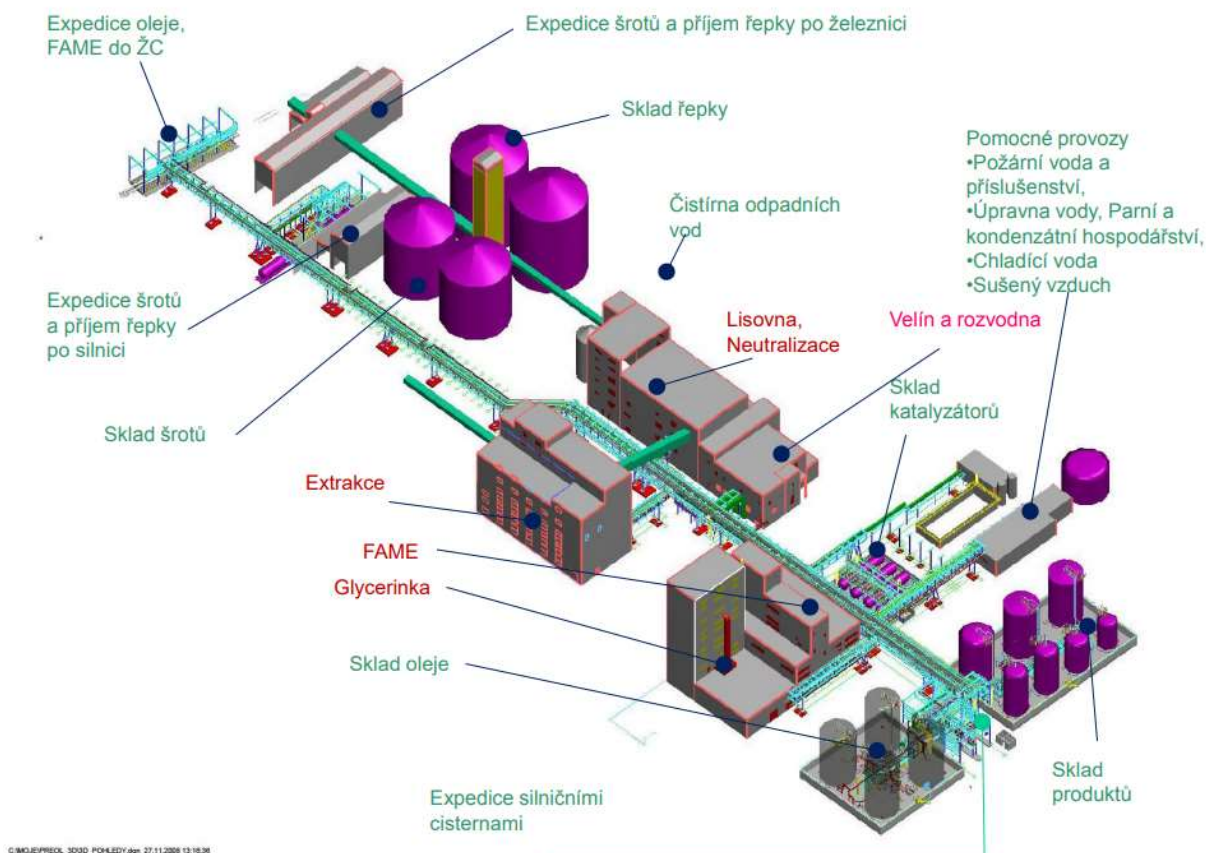
V USA se získává bioetanol převážně z kukuřice. Tento bioetanol se přidává do většiny benzínu v USA, kdy se množství bioetanolu pohybuje nejčastěji okolo 10 % [24].

3.2 Bionafta první generace

Z pohledu spalování v dopravě, je nejrozšířenějším biopalivem bionafta. Bionafta se získává procesem, který se nazývá transesterifikace, kdy dochází k nahrazení metanolu za glycerin, obsažený v oleji. Pro výrobu se používá nejčastěji řepkový olej a metanol. Tento produkt se označuje zkratkou MEŘO (metylester řepkového oleje). Vedlejším produktem je glycerol. Jeho množství je vysoké. Hlavní využití nachází pro technické účely, méně potom pro potřeby kosmetického, farmaceutického a potravinářského průmyslu [24][56].

Hlavní předností bionafty získané z řepkového oleje je skutečnost, že je pro přírodu netoxická a snadněji se rozkládá. Má podobné vlastnosti i výhřevnost, jako motorová nafta. Z pohledu spalování v motoru je její hlavní výhodou až o 60 % menší množství CO_2 , které se spalováním dostává do ovzduší, na rozdíl od spalování klasické nafty vyrobené rafinací z ropy.

Výsledné složení bionafty závisí na způsobu použití. Při použití vysokého množství bionafty ve vznětovém spalovacím motoru, může dojít k poškození kaučukových materiálů a polyuretanových pěn. Aby se snížilo riziko takového poškození, je bionafta míchaná s naftou vyrobenou z ropy. V našich podmínkách je se jedná o naftu s označením B7, kdy množství bionafty dodané do nafty je 7 %. Množství energie, které je potřebné pro výrobu MEŘO činí 17 % vlastního energetického obsahu. [24][55].



Obrázek 7 Schéma závodu PREOL na výrobu MEŘO [56]

3.3 Bioplyn první generace

Bioplyn se od bionafty a bioetanolu liší svými vlastnostmi, primárně složením. Zároveň jej lze považovat za jedno z nejdůležitějších paliv. Za běžných podmínek je bioplyn směsí plynů, které mají následující složení a procentuální zastoupení viz. Tabulka 1

Tabulka 1 Složení bioplynu první generace

Složení bioplynu		
<i>Název plynu</i>	Chemické označení	Procentuální zastoupení
<i>Metan</i>	CH ₄	40-75 %
<i>Oxid uhličitý</i>	CO ₂	25-55 %
<i>Voda</i>	H ₂ O	0-10 %
<i>Dusík</i>	N ₂	0-10 %
<i>Kyslík</i>	O ₂	0-2 %
<i>Vodík</i>	H ₂	0-1 %
<i>Čpavek</i>	NH ₃	0-1 %
<i>Sulfan</i>	H ₂ S	0-1 %

Bioplyn vzniká mikrobiálním procesem, který se projevuje nepřítomností kyslíku (jedná se o anaerobní proces) například na skládkách (plyn vzniklý na takovém místě se nazývá skládkový). Pro využití bioplynu jako paliva se využívá produkce bioplynu v bioplynových stanicích a anaerobních čistírnách odpadních vod.

Tento proces pozitivně ovlivňuje zpracování biologického odpadu pomocí bakterií a bioplyn je produktem zpracování tohoto odpadu. V bioplynových stanicích se zpracovává tuhý biologický odpad. Produktem tohoto procesu zpracování biologického odpadu je bioplyn a hnojivo. Anaerobním čištěním odpadních vod dochází ke snižování organického znečištění vody a produktem tohoto procesu zpracování je bioplyn. Bioplyn získaný anaerobním čištěním se nejčastěji využívá k výrobě elektrické energie. Bioplyn se využívá i jako palivo pro spalovací zážehové motory [24].

3.4 Výhody a nevýhody biopaliv první generace

Mezi výhody zavedení používání biopaliv lze s jistotou zařadit snížení závislosti na ropě a produktech z ní získaných a tím snížení její spotřeby.

Nejvýraznější negativní dopad používání biopaliv první generace bylo výrazné zdražování potravin. Toto zdražování bylo způsobeno poskytováním dotací, zemědělcům pěstujícím plodiny pro energetické účely (řepka, obilí, kukuřice atd.), z EU (45 EUR na hektar). Zemědělci byli zároveň motivováni k pěstování plodin k výrobě biopaliv, zaručeným odběrem vypěstovaných produktů. Zemědělci, kteří se věnují pěstování zemědělských plodin k výrobě potravin, jsou díky tomuto přístupu dotací znevýhodňováni, a to vedlo k poklesu výsadby potravinářských plodin na úkor pěstování plodin energetických.

Původní myšlenka na snížení emisí CO₂, dotováním pěstování potravinářských plodin pro energetické účely, má za následek zvyšování cen potravin. Některé studie poukazují na problematiku naplnění limitu nahrazením 5,75 % benzínu v celé EU, bioetanolem. Aby byl tento cíl realizovatelný, bylo by nutné uvolnit k pěstování obilí pro výrobu bioetanolu 25 % orné půdy. Naplnění jedné nádrže osobního auta čistým bioetanolem, by přitom představovalo stejně velkou spotřebu obilí, jako je roční spotřeba jídla pro jednoho člověka.

Z ekologického úhlu pohledu nejsou první generace biopaliv tak šetrné, jak se myslelo. Aby bylo možné vyrábět biopaliva, je nutné využít energii získanou pomocí fosilních paliv. Již

tento krok při výrobě nepřispívá ke snížení uhlíkové stopy. Při výrobě ekologického paliva se tímto procesem vytváří vyšší produkce CO₂. Pokud jde o uhlíkovou neutralitu, tak tento přístup při čistém zavedení bioetanolu, jako paliva, sníží emise CO₂ jen o 13 % v porovnání s benzínem. Závěr je takový, že pro výrobu ekologického biopaliva je spotřebováno přibližně o 30 % více energie, než je energie získaná během jeho spalování. Brazílie a země nacházející se v tropickém podnebném pásu, přistoupili v souvislosti s výrobou bioetanolu z cukrové třtiny a dalších energetických plodin pro výrobu biopaliv ke kácení a vypalování deštných pralesů.

Za předpokladu, že tyto paliva nebudou dotována z evropských dotací, je jejich výroba vysoce ztrátová. Proto byla představena druhá generace biopaliv – tzv. generace pokročilých paliv, která má za cíl tyto nedostatky první generace, díky technologickému pokroku, odstranit.

4 Druhá generace biopaliv

Druhá generace biopaliv má za cíl společně s třetí generací napravit nedostatky první generace. Nejvýraznějším nedostatkem první generace bylo použití potravinářských plodin pro energetické účely. Toto se s druhou generací mění. Druhá generace biopaliv je zaměřena na produkci biopaliv ze zemědělského odpadu. Tímto odpadem jsou především dřevnaté rostliny obsahující cukry, které vzniknou štěpením celulózy za pomoci vhodných enzymů. Tyto dřeviny se používají k výrobě bioetanolu za pomoci kvašení (fermentace). Při předpokladu využívání obnovitelných zdrojů energie v elektrárnách a jaderné energie, jako hlavních zdrojů elektrické energie pro výrobu, nebo v případě dobíjení automobilů přímo ze sítě, by mohla být následně využita biopaliva v lodní a námořní dopravě, v letectví, nebo v aplikacích, u kterých není možné použití síťového napájení.

Hlavní zdroj pro paliva druhé generace jsou tzv. nepoživatelné zbytky. Z dlouhodobého hlediska se jedná a přeměnu zdrojů druhé generace – trávy, odpadního dřeva, papíru a jiných nepoživatelných odpadů potravinářských plodin – na biopaliva. Suroviny pro použití na výrobu biopaliv druhé generace jsou blíže specifikovány ve směrnici 2018/2001 v příloze IX, část A.

Důležitým palivem je bioetanol, který lze přidávat do benzínu, nebo by mohl časem benzín zcela nahradit. Velmi zajímavá je výzkumná studie americké Biotechnology Industry Organisation se sídlem ve Washington, D. C. Tato studie se zabývala dovozem benzínu do USA, kdy bioetanol získaný z odpadního materiálu by pomohl snížit náklady na dovoz benzínu do roku 2022 za téměř 70 miliard dolarů. Podle analýzy Bruce Dale z Office of Biobased Technology z Michigan State University, by mohla být biomasa druhé generace biopaliv zdrojem až 350 milionů litru biopaliv ročně. Toto množství biopaliva odpovídá ročnímu dovozu ropy do USA [25].

4.1 Bioetanol druhé generace

Výroba bioetanolu druhé generace prošla značnou optimalizací. První generace zpracovala na bioetanol přibližně třetinu biomasy cukrové třtiny. To znamená, téměř dvě třetiny biomasy skončily nevyužité. Aby bylo možné efektivně zpracovat další část nevyužité biomasy, je nutné získat více znalostí z oblasti struktury rostliny. Problematikou přeměny nepoživatelných částí rostlin se zabývá biolog Marcus Buckenridge z University of Sao Paulo. Zde se zabývá programem Biogen, který je součástí státního výzkumného střediska. Tento biolog, který se věnuje studii buněčných stěn více jak 20 let, se domnívá, že se podaří získat technologii výroby fermentačních cukrů z nepoživatelných částí rostlin, během krátké doby [25].

Výroba etanolu z celulózy je finančně nákladná. Velká část biomasy je tvořena dřevnatou směsí ligninu a celulózy. Lignin, z pohledu hoření, má dobré vlastnosti, na kapalné palivo je ale přeměna problematická. Z pohledu druhé složky dřevin, celulózy, je dobrou zprávou, že má podobnou strukturu jako škrob. Celulózu tvoří dlouhé řetězce glukózy, kterou lze fermentovat a získat etanol. Komplikací při získávání celulózy je oddělení od ligninu. Výroba celulóзовého etanolu z kukuřice je o 50 % nákladnější než výroba etanolu ze škrobu. V USA existuje okolo 30 projektů, které se zaměřují na výrobu celulóзовého etanolu. Na vývoj a výzkum výroby celulóзовého etanolu vláda USA poskytla 385 milionů dolarů [25].

Pokud pochází energie, využitá k přeměně nepotravinářských surovin na etanol, z biomasy, množství energie z fosilních paliv je významně sníženo. Další výhodou celulóзовého etanolu je, že vede k nižším hladinám emisí skleníkových plynů [26].

Největší komplikací biopaliv druhé generace je způsob rozkladu celulózy. Po získání celulózy následuje přeměna na cukry pomocí enzymů. Po zkvašení cukrů a destilaci získáme bioetanol.

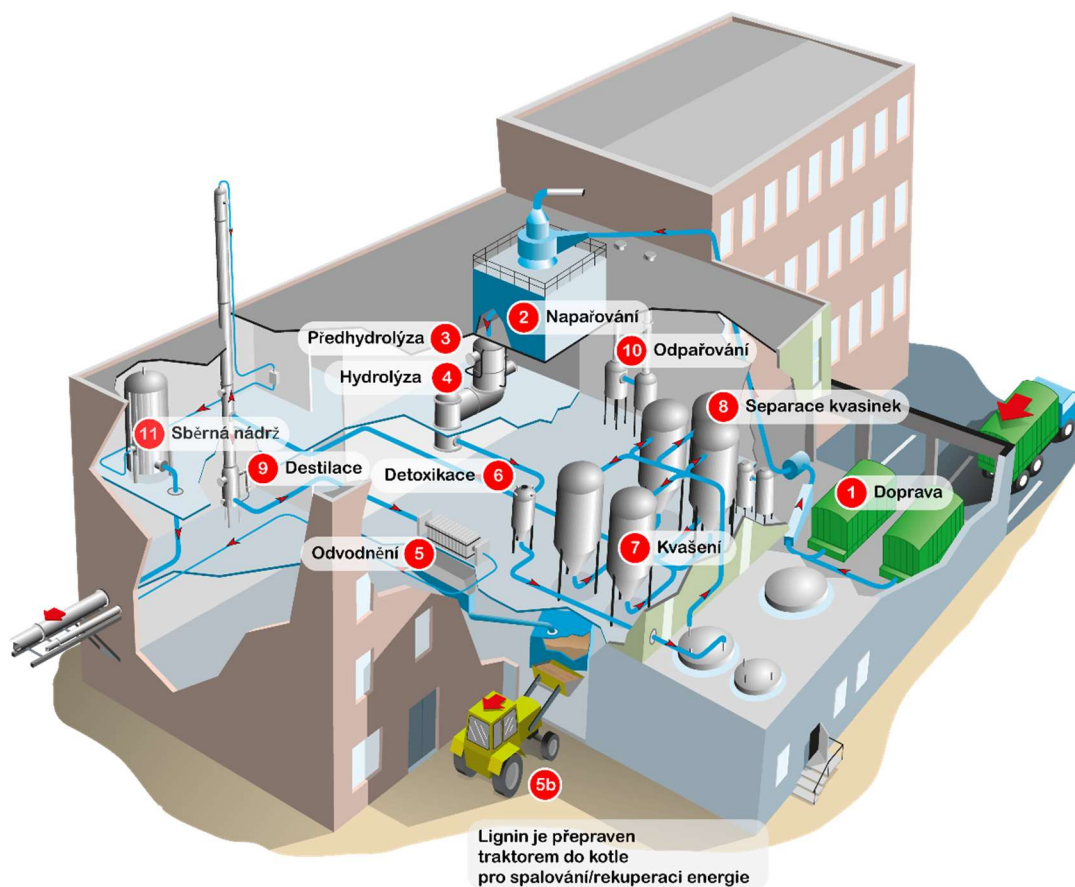
Existuje několik technologií, pomocí kterých lze narušit celulózová vlákna. Jednou z možností je proces AFEX (Ammonia Fibre Expansion). Tuto technologii vyvinul Bruce Dale.

Technologie AFEX spočívá ve zpracování biomasy v komoře naplněné čpavkem o teplotě 100 °C a tlaku 20 atmosfér. Po pěti minutách následuje rychlé snížení tlaku v komoře. Tento krok vede k tomu, že se dojde k porušení buněčné stěny a celulózová vlákna se oddělí od ligninu, následuje přístup enzymů k molekulám celulózy. Přeměnou získáme větší množství celulózy, které je zpracováno na cukry. Cukry se fermentují kvasinkovými kulturami, nebo bakteriemi na bioetanol nebo jinou formu paliv. Předpoklad je, že bude možné přeměnit až 90 % celulózy na biopaliva. Pro příklad z jedné tuny materiálu lze získat až 300 litrů biopaliva ve srovnání se 160 litry u komerčních technologií [25].

Australská firma Microbiogen používá zředěnou kyselinu sírovou k narušení jiné části buněčné stěny rostliny, kterou je složitý polymer označovaný jako hemicelulóza. Hlavní složkou hemicelulózy tvoří cukr xylóza. Tento proces vyvinula National Renewable Energy Laboratory [25].

4.1.1 Zpracování celulózy na bioetanol společností Sekab

Švédská společnost Sekab vyvinula proces, který se skládá převážně ze čtyř kroků: příprava, hydrolýza za pomoci enzymů, fermentace a přepracování. Surový materiál je dopraven do zařízení k jeho dalšímu zpracování, kde je přepraven do nádoby, ve které je provedeno ošetření pomocí kyseliny (kyselina sírová nebo oxid siřičitý) a páry, při teplotě 170-200 °C (v závislosti na vstupním materiálu). Tímto dojde k uvolnění cukrů z hemicelulózy. Vzniklý materiál má kašovitou strukturu. V dalším kroku dochází k neutralizaci kyseliny, která byla použita pro narušení struktury celulózy. To vede k vytvoření vhodných podmínek pro další zpracování.



Obrázek 8 Schéma procesu výroby bioetanolu z celulózy firmou Sekab [28]

Kašovitá směs je následně přepravena do další nádoby s enzymy. Enzymy mají za úkol rozložit celulózu na cukr. Vzniklý cukr může být oddělen a použit na jiné účely. V případě výroby etanolu nebo jiné chemikálie, které používají kvasnice, jsou přidány kvasnice a voda. Kvasnice přemění kvašením cukr z hemicelulózy a celulózy na etanol a jiné chemikálie. Společnost Sekab spolupracovala s firmou Taurus Energy a dalšími výrobci kvasnic na nalezení vhodných kvasnic, pro průmyslové použití. Běžné potravinářské kvasnice umí přeměnit šesti uhlíkové cukry, tzv. hexózy. Tím, že produkty zemědělství a listnaté stromy obsahují tzv. pentózy, bylo žádoucí najít kvasnice, které zvládnou přeměnit, jak hexózy, tak pentózy.

Pro získání etanolu je vzniklá kaše destilována a získaný etanol je odebrán, čištěn a odvodněn. Kašovitá směs po destilaci obsahuje převážně pevný lignin, který je odfiltrován a vysušen. Vlhkost ligninu se pohybuje okolo 50 %. Vysušený lignin může být použit jako biopalivo nebo zpracován na jiné produkty. Zbývající kapalina obsahuje zbytky rozpuštěných látek. Pomocí bakterií dochází ke štěpení na bioplyn. Získaný bioplyn může být použit k výrobě energie pro závod, nebo rafinován a prodán [27].

Pokud jde o otázku zpracování ligninu k jiným účelům, než je spalování a přeměna na teplo a elektřinu, firma Sekab ve spolupráci se společností Peab spolupracují na vývoji ekologické asfaltové směsi. Původní asfaltová směs používá jako pojivo bitumen získaný z ropy. Lignin je možné, za vysoké teploty 160 °C a vysoké rychlosti míchání, získat přírodní produkt s vlastnostmi bitumenu. Hlavní nevýhodou ligninu je, že obsahuje vysoké procento vlhkosti. Při měření se zjistilo, že vlhkost dosahuje kolem 50 %.

Tento projekt je možné najít jako projekt REWOFUEL – Lignin to asphalt. Z pohledu snížení produkce emisí CO₂ se zde projevuje provázanost jednotlivých částí procesu výroby asfaltové směsi od přípravy, až po konečné položení asfaltového povrchu. Firma Peab se rozhodla snížit svoji ekologickou stopu tím, že nahradila fosilní paliva biopalivy. Tímto krokem se jí podařilo snížit emise CO₂ při výrobě asfaltu o více jak 60 % ve švédsku.

První použití této nové směsi, obsahující lignin, bylo při opravě frekventovaného úseku silnice ve švédském městě Sundsvall v létě 2020. Během této fáze bylo nahrazeno 10 % fosilního bitumenu ligninem [29][31].

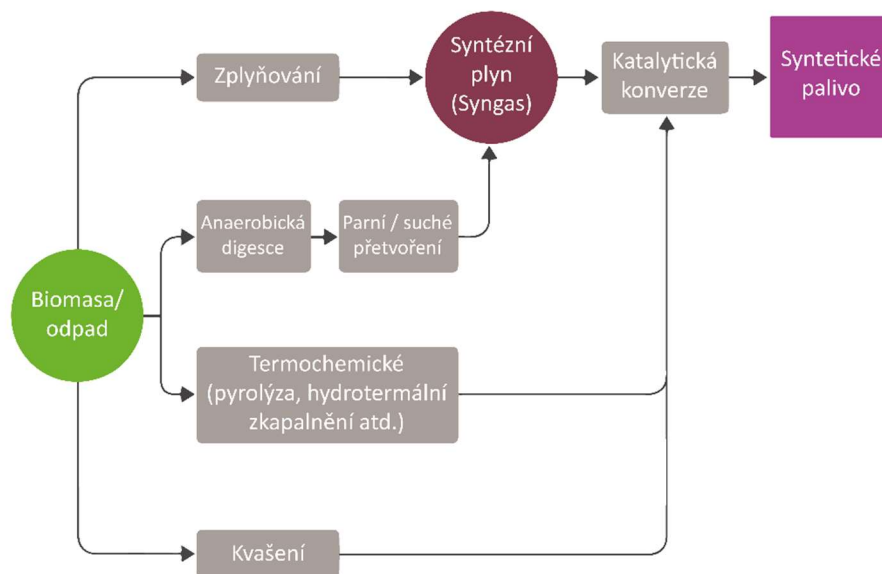
Tabulka 2 Vliv biopaliv při výrobě asfaltu na produkci emisí CO₂ [29]

<i>Asfalt vyrobený:</i>	s použitím fosilních paliv	s využitím biopaliv během výroby	s maximálním využitím biopaliv
<i>Bitumen</i>	12 kg CO ₂ /t	11 kg CO ₂ /t	6 kg CO ₂ /t
<i>Přeprava bitumenu</i>	0,5 kg CO ₂ /t	0,5 kg CO ₂ /t	0,1 kg CO ₂ /t
<i>Výroba</i>	13 kg CO ₂ /t	4 kg CO ₂ /t	4 kg CO ₂ /t
<i>Přeprava</i>	2,5 kg CO ₂ /t	2,5 kg CO ₂ /t	0,3 kg CO ₂ /t
<i>Kamenivo</i>	2,5 kg CO ₂ /t	2,3 kg CO ₂ /t	1 kg CO ₂ /t
<i>Pokládání</i>	2,5 kg CO ₂ /t	2,5 kg CO ₂ /t	0,3 kg CO ₂ /t
Celkové množství CO₂/t	33 kg CO₂/t	22,8 kg CO₂/t	11,7 kg CO₂/t

Chemici z Švýcarského federálního technologického institutu v Lausanne se zabývali způsoby, jak stabilizovat lignin, který má po extrahování nestabilní strukturu a nelze ho nijak zpracovávat. Řešení objevili v použití formaldehydu, běžně používané látky, který stabilizoval řetězce ligninu. Stabilizace zabraňuje degradaci ligninu a umožňuje jeho využití k dalšímu zpracování. Tento způsob úpravy má za následek vysokou výtěžnost molekul a s tím související širší využití při nahrazování chemikálií z fosilní ropy [30].

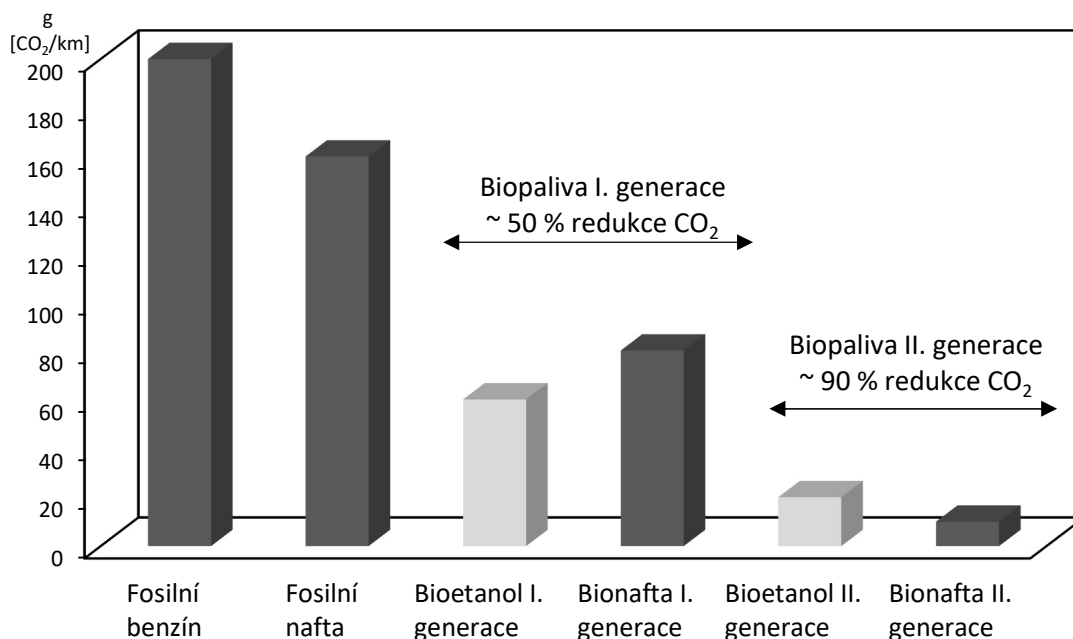
4.2 Bionafta druhé generace

Bionafta druhé generace je nejčastěji vyráběna technologií Gas-to-Liquid (GtL), nebo Biomass to Liquid (BtL). Hlavním rozdílem jsou vstupní suroviny použité k výrobě. GtL paliva se vyrábějí ze syntézního plynu a BtL využívají jako surovinu biomasu. Obě metody využívají k přeměně Fischer-Tropschovu (FT) syntézu. Tato metoda se využívá již od 30. let minulého století. Původně sloužila k výrobě paliv z uhlí (Coal-to-Liquids). Paliva získaná touto metodou se označují jako syntetická. Paliva GtL se míchají do prémiových paliv pro jejich pozitivní vliv na zvýšení kvality [44][49].



Obrázek 9 Schéma výrobních postupů pro syntetická biopaliva [49]

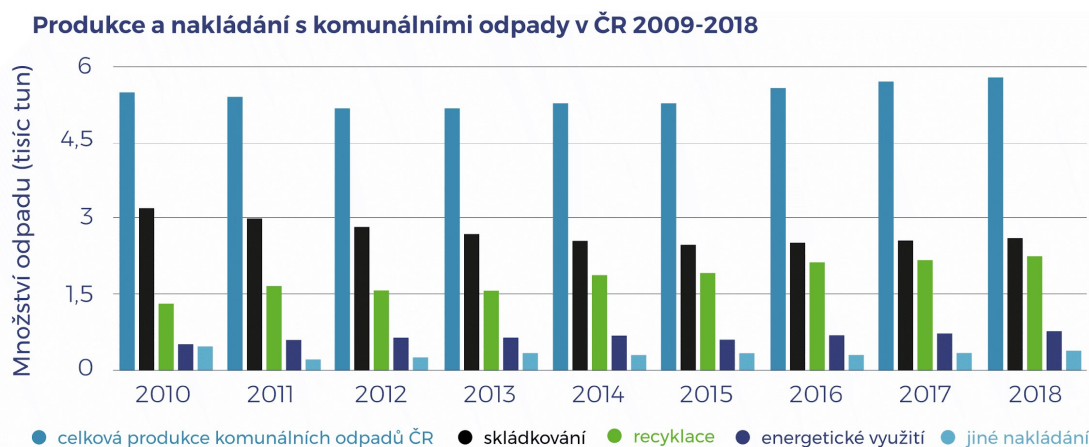
Při syntéze se využívá katalytické reakce, kdy jako katalyzátory slouží kovy na bázi železa a kobaltu. Díky tomu dochází ke štěpení vazby mezi atomy uhlíku a kyslíku. FT syntéza je silně exotermní reakce, při které je nutné vzniklé teplo odvádět. GtL se již používá ke komerčním účelům, u BtL se zatím jedná stále o fázi vývoje a výzkumu [44].



Obrázek 10 Potenciál ke snížení emisí CO₂ s pomocí biopaliv první a druhé generace [44]

4.3 Biometan druhé generace

Výroba biometanu, paliva jinak označovaného také jako BioCNG, se zabývá zpracováním biologicky rozložitelných odpadů. Surovinami pro výrobu je biologicky rozložitelný odpad (BRO) a biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO). Mezi tento odpad patří například prošlé potraviny z obchodních řetězců, nebo gastroodpad. V roce 2018 bylo vyvezeno na skládky přibližně 1,90 mil. tun BRO a BRKO. Toto množství odpadu odpovídá energii až pro 80 tisíc domácností [50].



Obrázek 11 Nakládání s odpady v ČR mezi roky 2009 až 2018 [50]

Odpady BRO a BRKO jsou zpracovávány rozkladem za účelem získání plynu. Vzniklý plyn je ekologický a lze ho použít jak v dopravě, tak i pro účely vytápění. Vlastnostmi je velmi podobný zemnímu plynu. Jeho hlavní výhodou je, že nevytváří žádné emise a při jeho použití je ušetřeno až 80 % emisí CO₂ [50].

V česku se zpracováním odpadu zabývá bioplynová stanice v Rapotíně, která může zpracovat ročně až 30 tisíc tun odpadu. Takové množství odpadu odpovídá energii až pro 2 tisíce domácností a palivu pro 3 tisíce vozidel při ročním nájezdu 8 tisíc km. O distribuci BioCNG se stará firma innogy Energo.

Aby bylo možné získat z bioplynu palivo, je důležitým krokem jeho úprava na biometan. K tomu se využívá membránové separace s polymerovými vlákny, a to především pro jeho energetickou nenáročnost. Díky tomuto postupu došlo ke zvýšení finanční výtěžnosti bioplynu o 30 %. V prvním fázi se pomocí filtrů s aktivním uhlím zachytí sirovodík a siloxany a v další fázi se po stlačení na tlak 14 barů separuje metan a oxid uhličitý. V poslední fázi se biometan oderizuje a plní pod tlakem 23 barů do distribuční soustavy.

Velký problém tohoto biopaliva je nedostatečná podpora na straně technických norem, vyhláška, která by upravovala požadavky na kvalitu neodpovídá současným technologickým možnostem výroby. Za předpokladu maximálního využití potenciálu biometanu by Česká republika mohla snížit emise CO₂ až o 218 tisíc tun ročně [50].

4.4 Výhody a nevýhody biopaliv druhé generace

Z pohledu udržitelnosti se druhé generaci biopaliv podařilo napravit nedostatky biopaliv první generace. Tyto biopaliva již nevyužívají k výrobě jako vstupní surovinu potraviny určené ke konzumaci, ale zaměřují se na odpad, který by jinak skončil na skládkách nebo spalovnách.

Pokud zohledníme praktické využití, největší smysl dává použití biopaliv vyrobených z bioplynu. Surovin pro výrobu bioplynu je k dispozici dostatečné množství, ale hlavní výhodou je velmi nízká emisní stopa v případě BioLNG a i jeho cenová dostupnost. Druhým

podobně výhodným palivem pro využití v nákladní přepravě je HVO. Tím, že ho lze použít bez zásadní konstrukční úpravy stávajících spalovacích motorů a má nízké emise, je ideálním palivem pro použití v dálkové přepravě.

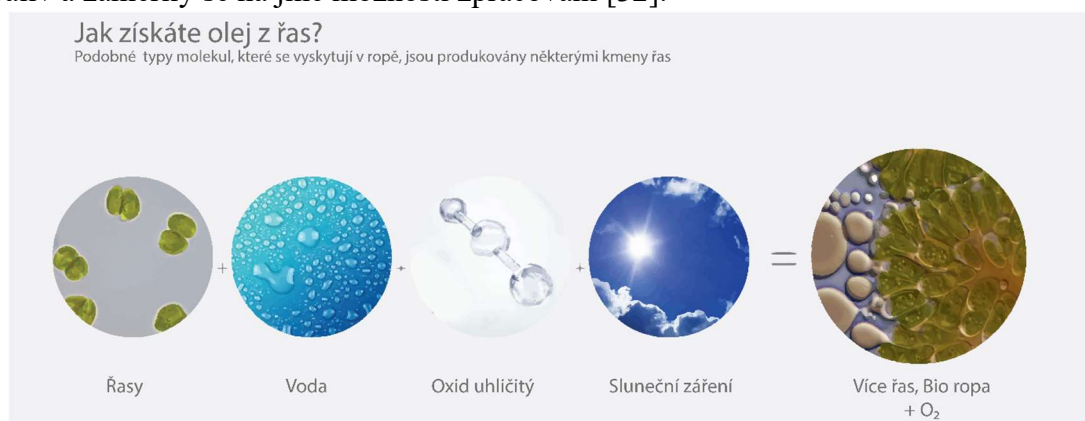
Bioetanol a bionafta druhé generace pomáhá výrazně řešit problém s odpadním materiálem z průmyslu. Od dřevozpracujícího až po zemědělství. Zpracování na biopalivo má přidanou hodnotu díky tomu, že nabízí širší možnosti využití. Hlavní nevýhodou těchto paliv není omezení ze strany technologií, komerční výroba ve velkém měřítku již je realizovatelná, ale legislativa, která zatím neumožňuje použití těchto šetrnějších paliv.

5 Biopaliva třetí generace

Pod řasami si velká část lidí představí nepříjemné, slizké zelené organismy, které nachází nejčastěji v bazénech, rybnících a dalších vodních plochách. V laboratořích společnosti Exxon Mobil představují obrovský energetický potenciál. Řasy jsou schopné poskytovat obnovitelnou energii (ve formě sacharidů a tuků) a současně absorbovat oxid uhličitý z atmosféry. Energie z řas by mohla v budoucnu produkovat biopaliva kvalitou srovnatelná s palivy na bázi konvenční fosilní ropy. Výzkumem přeměny řas na biopaliva se zabývá Craig Venter, který byl průkopníkem v oblasti výzkumu lidského genomu. U řas se soustředí na vylepšení jejich vlastností pro výrobu biopaliv [25].

Základem úspěchu celého procesu je změna struktury řas tak, aby se zvýšila produkce tuků. Podle výzkumu Exxon Mobile a Synthetic Genomics se podařilo vyvinout řasu, která produkuje více než dvojnásobné množství oleje bez významného zpomalení růstu. Množství získaného oleje z řas se zvýšilo z 20 % na více než 40 %. Zatím, co jiné skupiny vědců se snaží CO₂ zachytávat a skladovat v podzemních zásobnících, zde je snahou CO₂ využít k přeměně řas na ropu. Ropu z řas lze v další fázi zpracování přeměnit v existujících rafinériích a k výrobě stejných produktů, jak z fosilní ropy, tj. k výrobě benzínu, nafty, nebo leteckého paliva [32].

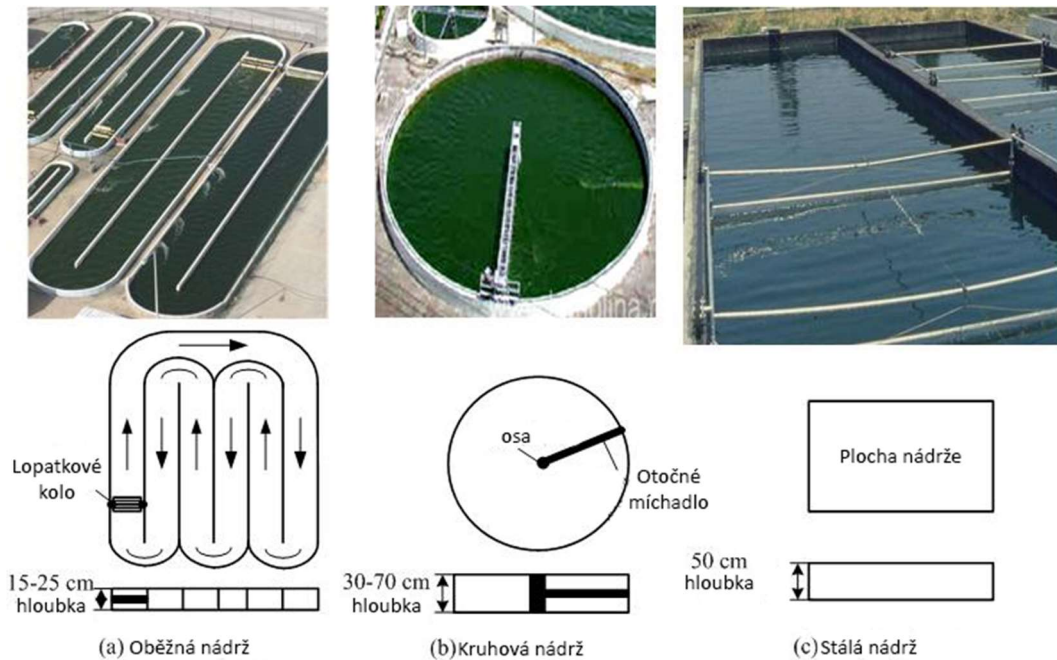
Vývoj biopaliv z řas si vyžádá podle prohlášení CEO Exxon Mobile Rexe Tillersona, možná minimálně 25 let vývoje a výzkumu, než bude technologie výroby schopna komerční produkce. Toto prohlášení pochází z roku 2009. Kromě společnosti Exxon se vývojem biopaliv z řas zabývalo hodně firem, které pro nedostatečné výsledky ukončily finančně náročný vývoj biopaliv a zaměřily se na jiné možnosti zpracování [32].



Obrázek 12 Jak lze získat olej z řas [34]

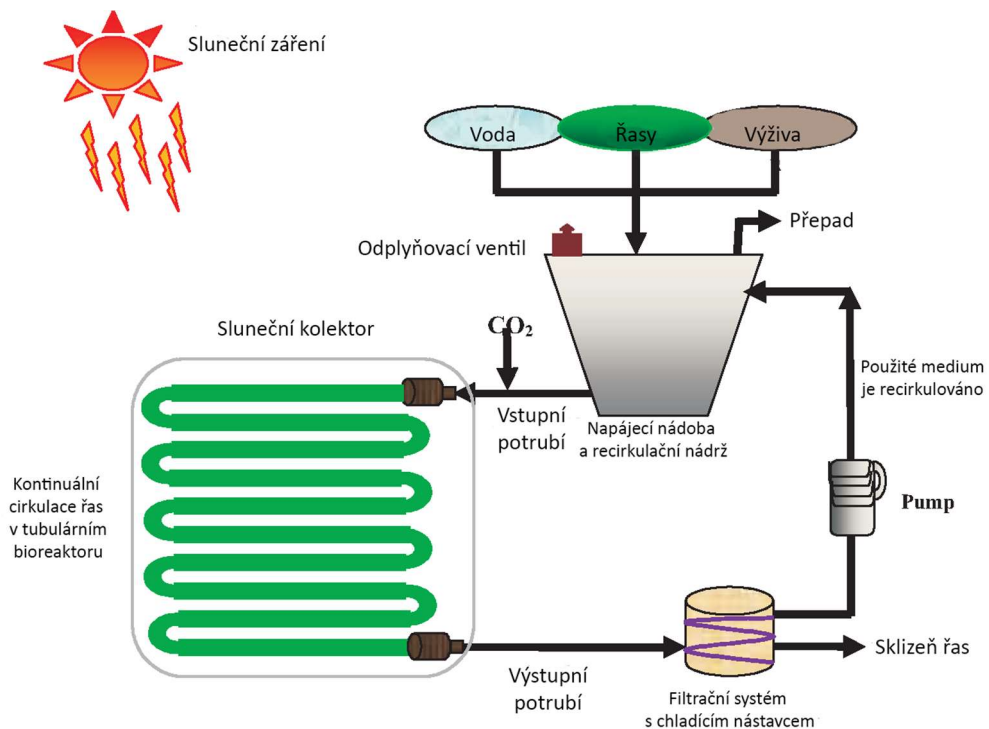
Řasy mají za vhodných podmínek velmi dobrou výnosnost na hektar (46 770 až 93 540 L/ha ročně) v porovnání s jinými plodinami viz Tabulka 3. Nejdůležitějšími parametry pro růst je dostatečný přísun CO₂ a slunečního záření, aby mohla probíhat fotosyntéza a zároveň je nutné zajistit dostatečný pohyb řasy, aby docházelo k rovnoměrnému růstu [25][32].

Pěstování řas probíhá buď v otevřených nebo uzavřených systémech. Mezi otevřený systém lze zahrnout oběžné nádrže. V těchto nádržích je zajištěna cirkulace systému pomocí lopatkového kola, které je poháněné elektrickou energií. Aby byla zajištěna dostatečná výživa mikrořas, je do nádrží doplňována výživa, která se aplikuje v místě za lopatkovým kolem. Ke sklizni dochází před lopatkovým kolem. Hlavní výhodou tohoto systému je jeho nenáročnost na provoz, čištění a údržbu. Nevýhodou je působení okolního prostředí, kdy se podmínky v průběhu dne mění, stejně tak možnost kontaminace [59].



Obrázek 13 Otevřené systémy pro pěstování řas [57]

Za uzavřený systém se považují fotobioreaktory. Tyto systémy řeší nedostatky otevřených systémů. Předností uzavřeného systému je kontinuální přívod světla, oxidu uhličitého, promíchávání a senzory sledující znečištění v systému. Hlavní problém těchto systémů spočívá právě v jejich uzavřenosti. Řasy, které provádí fotosyntézu, produkují kyslík, který nemá kam unikat. Proto je nutné zajistit, aby jeho množství v systému nepřesáhlo 400 % přítomného kyslíku. Důležitá je také správná hodnota pH prostředí. To lze jednoduše upravovat pomocí přípravků na jeho upravení [60].



Obrázek 14 Schéma fotobioreaktoru [58]

Tabulka 3 Porovnání výnosnosti biopaliv z různých surovin biomasy [32]

<i>Surovina</i>	Množství biopaliva [L/ha]
<i>Sója</i>	468
<i>Řepka olejka</i>	1 029-1 356
<i>Dávivec (Jatropha)</i>	1 637
<i>Palmový olej</i>	6 080
<i>Celulózový etanol z topolů</i>	25 256
<i>Řasy</i>	46 770-93 540

Tabulka 4 Srovnání vlastností bionafty z oleje z mikrořas a motorové nafty [61]

<i>Vlastnosti</i>	Bionafta z mikrořas	Motorová nafta
<i>Hustota [kg m⁻³] (15 °C)</i>	864	838
<i>Bod vzplanutí min.[°C]</i>	65	75
<i>Bod tuhnutí [°C]</i>	-12	-50 -10
<i>Filtrovatelnost max. [°C]</i>	-11	-6,7
<i>Výhřevnost [MJ kg⁻¹]</i>	41	40-45
<i>Číslo kyselosti [mg KOH·g⁻¹]</i>	0,374	0,5 max

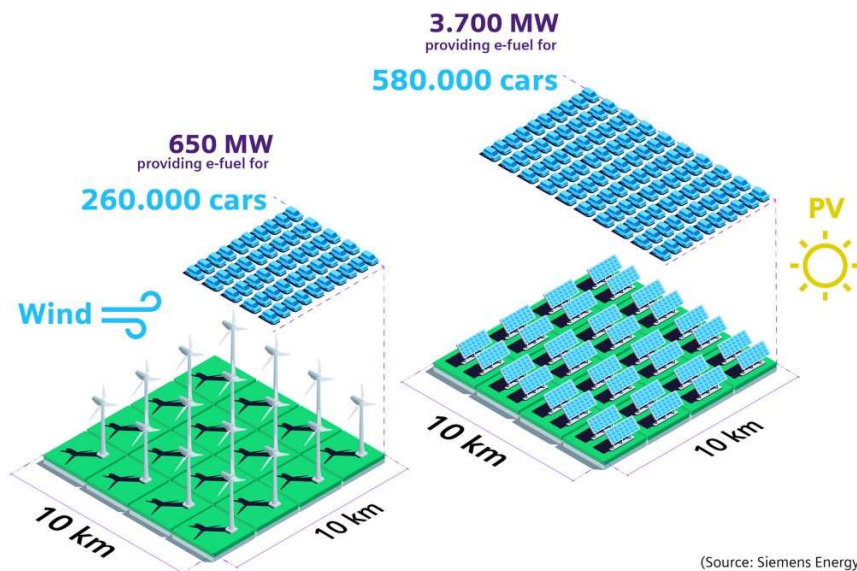
5.1 Výhody a nevýhody biopaliv třetí generace

Hlavní výhodou zpracování řas na biopaliva je jejich vysoká výnosnost na metr čtvereční a široké možnosti uplatnění při zpracování. Řasy lze zpracovat na bionaftu, díky vysokému podílu tuků, stejně tak je možné řasy zpracovat i na bioetanol a bioplyn. Pokud by se podařilo vyřešit i zvýšení produkce vodíku, bylo by možné zpracovat vodík vytvořený tímto přirozeným procesem pro výrobu syntetických biopaliv a e-paliv.

V současné době není možné vyrábět biopaliva z řas v komerčním měřítku. Tento fakt přispívá k tomu, že biopaliva z řas jsou stále záležitostí experimentální, nikoliv použitelnou v praxi. Za předpokladu, že se podaří dostatečně zefektivnit výrobu a zpracování řas na biopaliva, bude se jednat o významný krok k vytvoření nezávislosti na fosilních palivech.

6 Biopaliva čtvrté generace

Čtvrtá generace biopaliv má za cíl výrobu biopaliv s neutrální uhlíkovou stopou. Jinými slovy se jedná o výrobu paliv, kdy se při spalování paliva do atmosféry uvolní stejné, nebo menší množství CO₂, než jaké bylo použito během jeho výroby. Jednou z možností je využití obnovitelných zdrojů energie k pohánění systémů umožňující výrobu vodíku. Tato aplikace se nazývá Power-to-X⁸. Za obnovitelné zdroje energie lze považovat větrné elektrárny, fotovoltaické, nebo vodní elektrárny.



Obrázek 15 Ekonomický potenciál výroby e-Paliv [38]

Takto získaný vodík nepotřeboval ke svému vzniku energii z fosilních paliv a lze jej tedy považovat za uhlíkově neutrální palivo. Z vodíku lze Fischer-Tropschovou syntézou s oxidem uhličitým získat syntetický metanol [36].

e-Paliva nevyžadují úpravu paliva v síti čerpacích stanic, vozidle ani palivovém systému a lze je použít díky jejich mísící schopnosti v jakémkoliv požadovaném poměru. Není nutné provádět jakékoliv zásahy do stávající logistiky, distribuce a prodeje paliv [48].

e-Paliva mohou mít obrovský klimatický potenciál ve všech oblastech, kde se v současné době používají fosilní paliva (například doprava, vytápění budov, výroba oceli atd.). Tyto paliva mohou vyřešit dvě výzvy spojené s přenosem energie: problém s uložení a přepravou obnovitelné energie. Díky vysoké energetické hustotě e-Paliv a tím, že mohou být přepravovány při pokojové teplotě a tlaku, obnovitelné energie mohou být generovány jednoduše a ekonomicky kolem celé země a přepravovány kamkoliv, kde jsou potřeba, s použitím stávajících možností. Tyto paliva mají obrovský potenciál k použití v silniční dopravě, lodní dopravě, letectví, vytápění a také průmyslu [43][48].

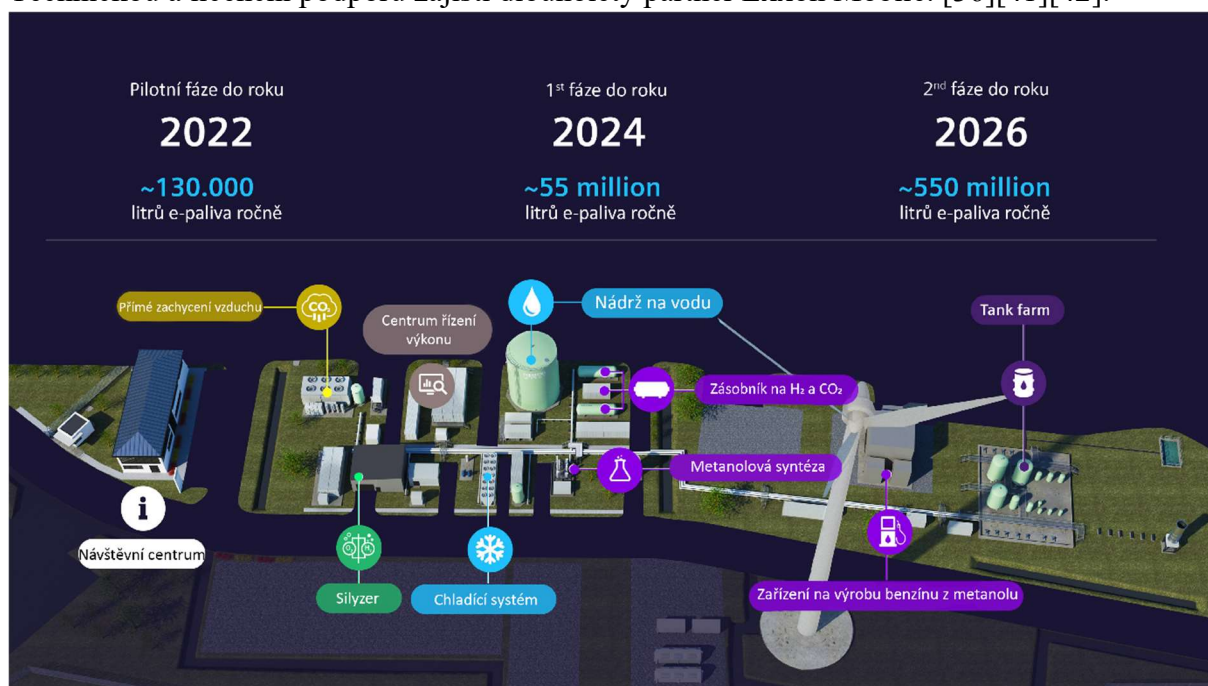
Syntetická paliva splňují veškeré technické požadavky na uvedení do komerční výroby, bohužel naráží na problém s legislativou, kdy nejsou připravené potřebné legislativní regulace. Nejdůležitějším faktem je, že vlády musí zaujmout více technologicky-neutrálnější přístup k energetickým a dopravním přechodům a ukončit předsudky ve prospěch elektrické mobility, které nelze objektivně odůvodnit [48].

⁸ Power-to-X – Proces přeměny obnovitelné elektrické energie na vodík nebo syntetická paliva založena na vodíku

6.1 Haru Oni: Palivo z větru a vody

Siemens Energy a Porsche, společně s několika mezinárodními společnostmi vedenými HIF⁹, vyvíjí a implementuje první integrovaný a rozsáhlý závod na výrobu klimaticky neutrálních e-Paliv. Projekt Haru Oni byl realizován v Magallanes, nejjihnější oblasti Chile, pro svoje výborné povětrnostní podmínky. Díky svojí poloze a silným větrům zde bylo možné vybudovat výkonné větrné elektrárny, jejichž obnovitelná energie je přeměněna na kapalná syntetická paliva. Tyto syntetická paliva jsou vyrobena z vody, větrné energie a CO₂ zachyceného z ovzduší. Jedná se o kapalné palivo, které produkuje okolo 90 % méně emisí CO₂ než fosilní paliva. Pozitivním jevem je i to, že k distribuci paliv je možné využít stávající síť čerpacích stanic a není nutný ani zásah do spalovacího motoru [36][41].

V průběhu pilotní fáze projektu se počítá s výrobou přibližně 750 000 litrů e-Metanolu ročně do roku 2022. Část e-Metanolu bude přeměněna na e-Benzín (přibližně 130 000 litrů za rok). V následujících dvou fázích je plánovaná kapacita výroby navýšena na 55 milionů litrů ročně do roku 2024 a více než 550 milionů litrů ročně do roku 2026. Pro představu se jedná o dostatečné množství paliva pro více než jeden milion lidí na téměř celý rok. Prvním zákazníkem, který bude mít příležitost otestovat nová syntetická e-Paliva bude Porsche. Porsche otestuje syntetická e-Paliva v závodní flotile vozidel v centrech Porsche Experience a následně v sériově vyráběných sportovních vozech. Poté, co budou paliva dostatečně otestována a upravena, dojde k jejich rozšíření i mezi běžné zákazníky. Poprvé by se měli objevit závodní vozy poháněné tímto novým syntetickým palivem na Supercupu v roce 2022. Technickou a licenční podporu zajistí dlouholetý partner Exxon Mobile. [36][41][42].



Obrázek 16 Fakta a čísla [37]

6.2 Jak funguje projekt Haru Oni

Celý proces je kombinací tří kroků. Prvním krokem k výrobě syntetického paliva je získání vodíku. S využitím větrné energie lze použít elektrolýzy, které rozdělí vodu na její základní složky, vodík a kyslík. Siemens Energy používá vlastní systém PEM (Proton

⁹ HIF – Highly Innovative Fuels pilot project

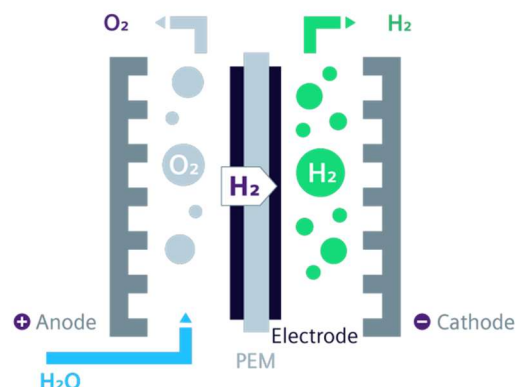
Exchange Membrane), která se vyznačuje vysokou účinností a flexibilitou, která je ideální pro použití s nestabilní větrnou a fotovoltaickou energií.

Druhým krokem je zachycení CO₂ ze vzduchu a smíchání s vodíkem pomocí Fischer-Tropschovy syntézy na syntetický metanol. Metanol je základem pro klimaticky neutrální paliva. V tomto případě se jedná o e-Benzín, e-Naftu nebo e-Petrolej, která mohou být využita k pohonu aut, nákladních aut, lodí nebo letadel.

Ve třetím, posledním kroku, dochází k přeměně přibližně 40 % metanolu na syntetický benzín [36][49].



Obrázek 17 Siemens PEM (Proton Exchange Membrane) [39]

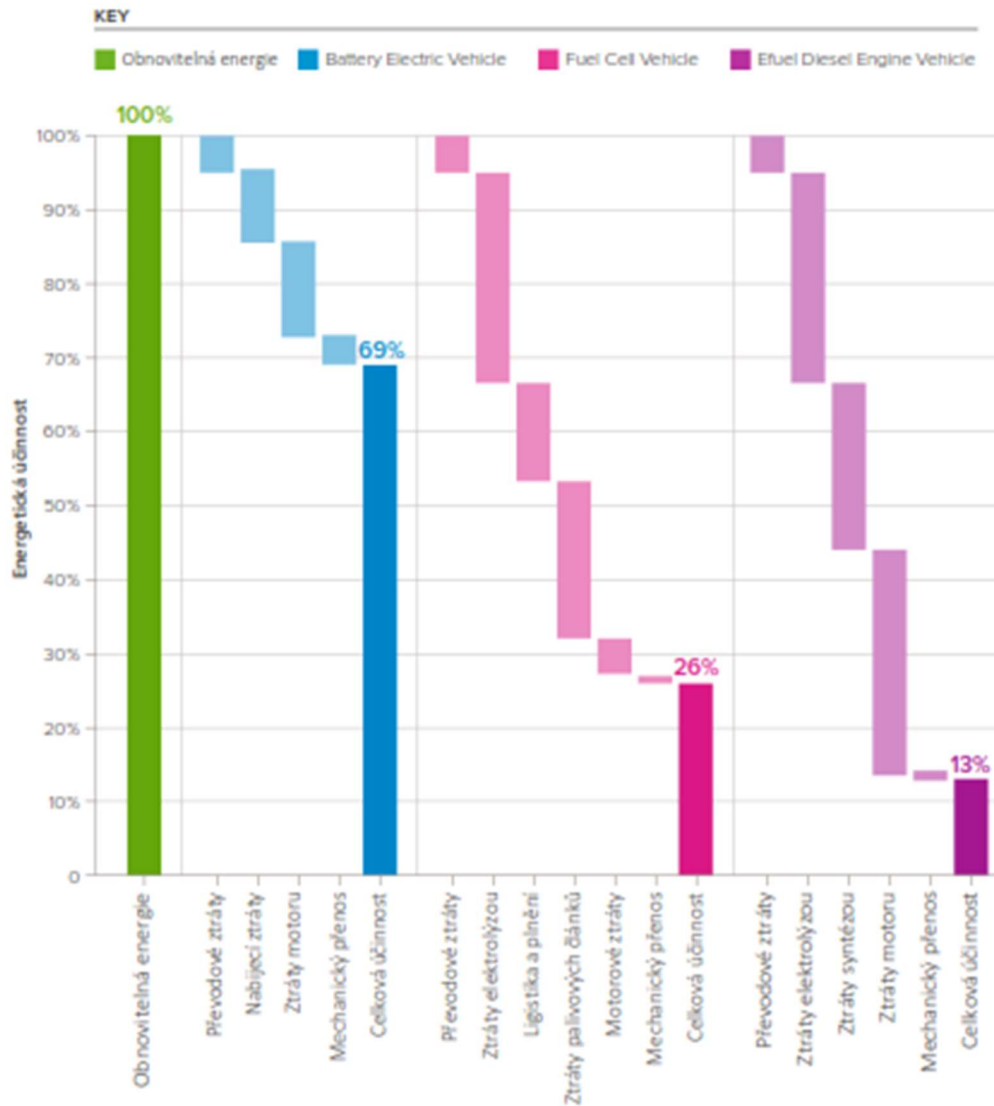


Obrázek 18 PEM detail [40]

Podle dat z roku 2019 bylo zpracováno více než 98 megatun metanolu, z toho 80 % jako surovina v chemickém průmyslu a v menším množství jako nosič energie (20 %). Velké množství metanolu je vyráběno z uhlí a zemního plynu. To je dalším důvodem, proč je snaha o nahrazení metanolu jeho „zelenější“ variantou [36].

6.3 Účinnost a potřebná vstupní energie

Ve chvíli, kdy se zaměříme na efektivní využití energií k výrobě biopaliv, zjistíme, že celková účinnost e-Paliv je velmi nízká. I přes první dojmy, že se jedná o vhodnou alternativu ke stávajícím palivům, celková účinnost dosahuje přibližně ke 13 % viz. Obrázek 19. Důvodů takto nízké účinnosti je několik. První významné ztráty vznikají během elektrolýzy vody za účelem získání vodíku. Tyto ztráty se pohybují kolem 30 %. Podobně velké ztráty probíhají i ve spalovacím prostoru motoru, kdy se velká část energie přemění na teplo a tato energie zůstává nevyužita. Poslední významné ztráty (přibližně 20 %) se pojí se syntézou vodíku a CO₂ za účelem vzniku syntetického metanolu, jako vstupní suroviny pro výrobu e-Paliv. Energie potřebná k výrobě e-Paliva je v porovnání s účinností BEV až pětikrát vyšší [49].



Obrázek 19 Kaskádový graf účinnosti nízko-uhlíkových způsobů přepravy [49]

6.4 Výhody a nevýhody biopaliv čtvrté generace

Čtvrtá generace biopaliv má významný přínos z hlediska snižování CO₂ v ovzduší. Jak využíváním obnovitelných zdrojů energie, tak z pohledu odebrání CO₂ z ovzduší. Další výhodou je i způsob distribuce a spalování, kdy není nutné stávající infrastrukturu, ani spalovací motory, jakkoliv měnit. Tím, jak je možné využít energii z obnovitelných zdrojů, nabízí se myšlenka skladování přebytků energie formou kapalných paliv.

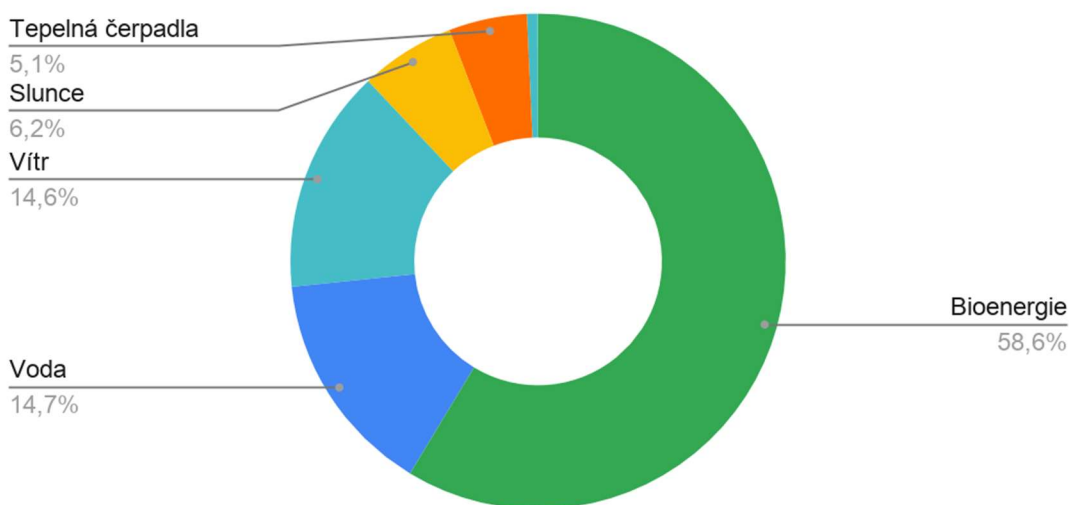
Co lze považovat za nevýhodu těchto paliv, tak jsou vysoké ztráty spojené s výrobou těchto paliv. Ačkoliv je jejich vliv na životní prostředí, oproti předchozím generacím, minimální, nabízí se otázka, zda je nutné měnit energii na kapalná paliva, když je možné tuto stejnou energii použít k pohánění elektromobilů, které mají vyšší energetickou účinnost. Oblast, ve které budou mít tyto paliva zaručené uplatnění jsou letectví a lodní přeprava.

7 Výroba biopaliv v rámci EU

V rámci Evropské unie tvoří OZE 17,5 % spotřeby energie, kdy je tato energie tvořena téměř z 60 % energií z biomasy. Důvod, proč tvoří biomasa tak významnou část produkce energie je ten, že se podílí na oblasti vytápění. Zahrnuje spalování palivového dřeva v domácnostech, tak i distribuci tepla z tepláren [62][63].

Podíl jednotlivých zdrojů na spotřebě obnovitelné energie v EU-28

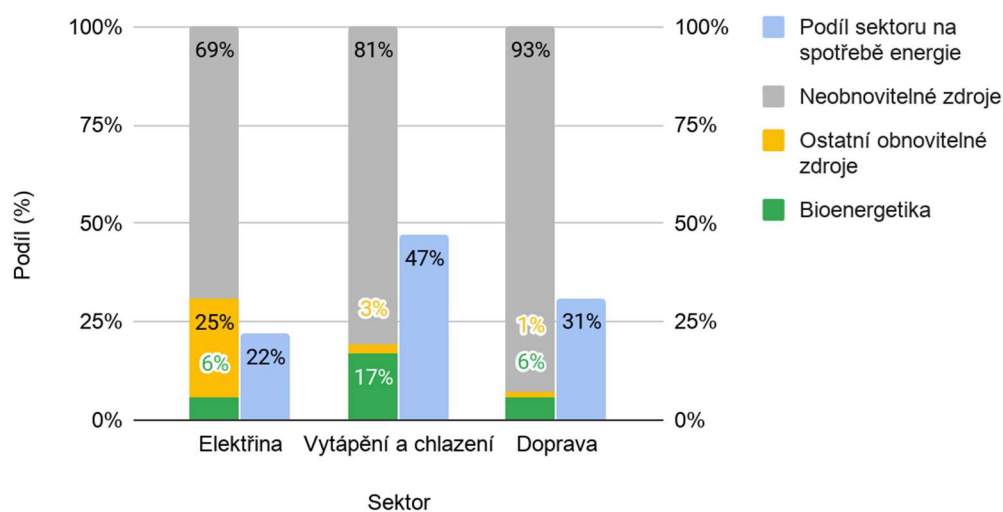
Zdroj: Eurostat SHARES 2017, Bioenergy Europe



Obrázek 21 Podíl jednotlivých zdrojů na spotřebě obnovitelné energie v roce 2017 [62]

Podíl OZE na konečné spotřebě energie v EU-28 podle sektorů

Zdroj: Eurostat SHARES 2017, Bioenergy Europe



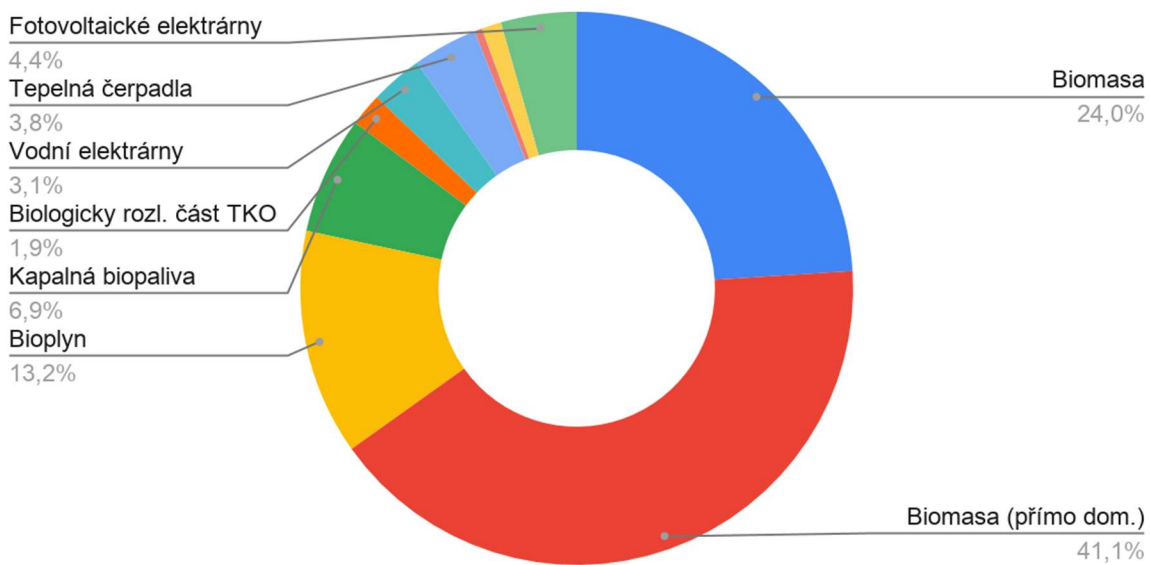
Obrázek 20 Podíl OZE na konečné spotřebě energie v EU podle sektorů [62]

Jak lze pozorovat z grafů, v rámci EU se daří snižovat emise díky biomase velmi významně. Podle Bioenergy Europe bioenergetika přispěla k úspoře 7 % (303 milionů tun CO₂). Výhodou je i to, že je EU v produkci biomasy soběstačná a na rozdíl od fosilních paliv není potřeba dovážet více jak 5 % spotřeby oproti 78 % u fosilních paliv.

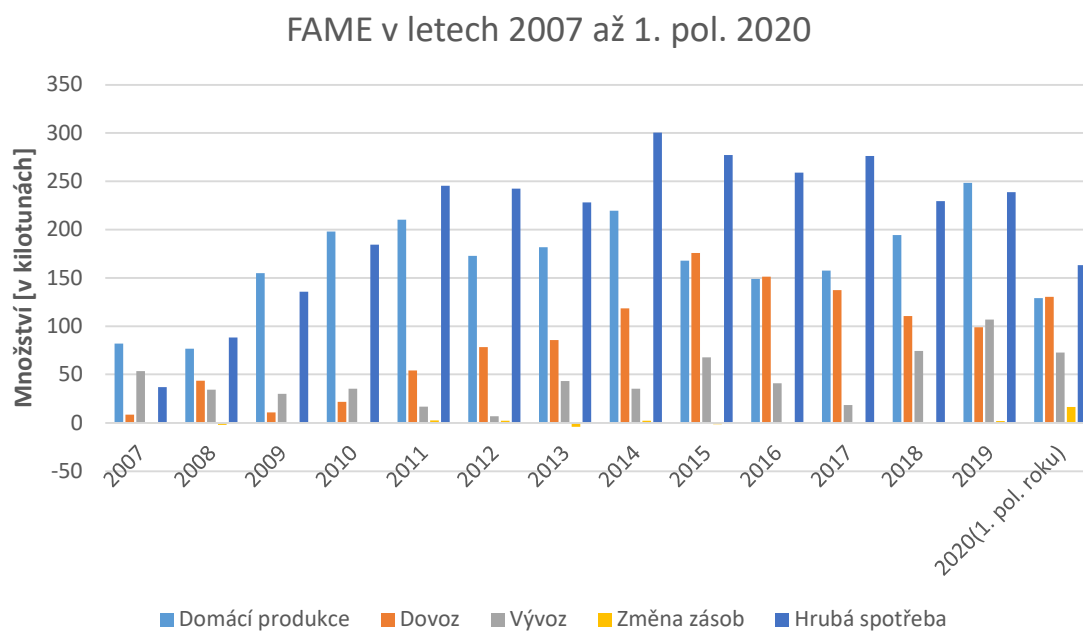
Pokud jde o využití biopaliv v České republice, kapalná biopaliva se podílí na snížení emisí 7 % viz Obrázek 22 [62][63]. Do benzínu a nafty se v současné době v ČR přimíchávají biopaliva I. generace. Druhá generace biopaliv má v komerčním měřítku, i když jsou již dostupné dostatečné výrobní kapacity, z důvodu špatné legislativy, zatím červenou. Spotřeba biopaliv v ČR v letech 2007-2020 viz Obrázek 23 a Obrázek 24.

Energie z obnovitelných zdrojů v roce 2018 v Česku

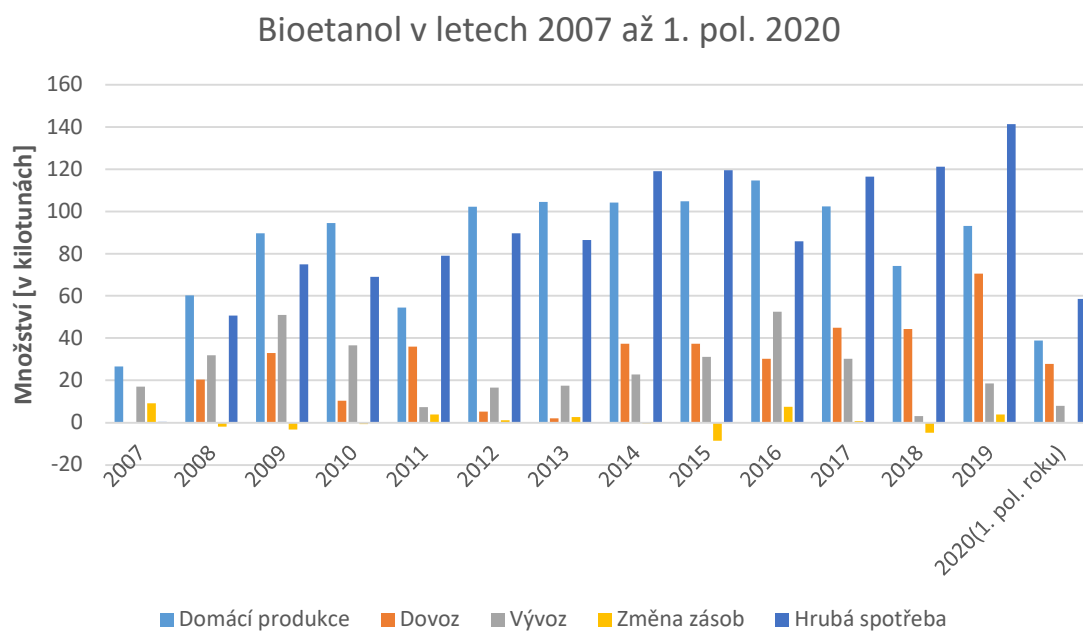
Bioenergetika má v rámci všech OZE podíl 87 % (Zdroj: MPO)



Obrázek 22 Energie z obnovitelných zdrojů energie v roce 2018 v ČR [62]



Obrázek 23 Podíl bionafty v České republice v letech 2007 až 1. pol. 2020 [51][52]



Obrázek 24 Podíl bioetanolu v České republice v letech 2007 až 1. pol. 2020 [51][52]

ZÁVĚR

První část bakalářské práce se zabývá obecným seznámením s biopalivy a definicí toho, které suroviny jsou považovány za udržitelnou biomasu. Tato kapitola zahrnuje i přímou citaci odkazující na aktuálně platnou legislativu zabývající se výrobou udržitelných biopaliv, pocházející z roku 2018. Stejně tak zmiňuje i cíle, kterých má být dosaženo na úrovni Evropských států k dosažení uhlíkové neutrality při výrobě paliv a snížení emisí skleníkových plynů do roku 2030 a 2050.

Ve druhé části byly podrobně popsány jednotlivé generace výroby biopaliv. První generace biopaliv měla několik nedostatků. Hlavním nedostatkem byly dotace na hospodářské a potravinářské plodiny. To vedlo k tomu, že se cena těchto surovin na trhu výrazně zvýšila a uvrhla na biopaliva špatný uhel pohledu. Tento problém vyřešil příchod druhé generace biopaliv, kdy se omezuje a zakazuje zpracování hospodářských plodin a biopaliva se vyrábí především z odpadů a energetických rostlin. S výrobou biopaliv vzniká také spousta odpadního materiálu.

Z pohledu využitelnosti biopaliv v budoucnosti se jedná o velice zajímavou alternativu k současným fosilním palivům a biopalivům I. generace. Biopaliva z biomasy, syntetická paliva a e-Paliva mají za cíl snížit ekologickou stopu emisí CO₂, kdy již druhá generace umožňuje snížení emisí až na úroveň 90 %. Třetí a čtvrtá generace s využitím obnovitelných zdrojů energie (fotovoltaické, větrné a vodní elektrárny) a zachytáváním CO₂ ze vzduchu, směřují k výrobě CO₂ neutrálních paliv. Hlavním cílem těchto syntetických paliv je získání dostatečného množství času k dostatečnému posílení přenosové elektrické sítě pro dobíjení elektromobilů.

Cílem této práce bylo zpracování rešerše jednotlivých generací biopaliv, jejich výroby, výhod, stejně tak jejich omezení, jak po technické stránce, tak po stránce legislativní. Po provedení této analýzy lze vytvořit závěr a jeho zhodnocení. Tohoto cíle bylo dosaženo.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] OBOŘIL, David. Biomasa - využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *OEnergetice.cz - denní zpravodajství z energetiky* [online]. 2017, 6. únor 2017, 19:32 [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [2] Biomasa a znečišťující emisní látky. *Greentech CS | Průmyslové kotle – Budoucnost dokonalého spalování* [online]. © 2021, 4 září, 2019 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://www.greentechcs.cz/biomasa-a-znecestujici-emisni-latky/>
- [3] ČESKO. § 2 nařízení vlády č. 189/2018 Sb., o kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 9. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-189#p2>
- [4] ČESKO. Čl. 1 nařízení vlády č. 492/2020 Sb., nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 189/2018 Sb., o kritériích udržitelnosti biopaliv a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 9. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-492#cl1>
- [5] ČESKO. § 21 zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 9. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201#p21>
- [6] ČESKO. § 2 vyhlášky č. 516/2020 Sb., o požadavcích na pohonné hmoty a provedení některých dalších ustanovení zákona o pohonných hmotách. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 9. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-516#p2>
- [7] ČESKO. § 3 vyhlášky č. 477/2012 Sb., o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 9. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-477#p3>
- [8] LUXEMBOURG. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001: ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů*. In: . Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018, ročník 2018, L328. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX:32018L2001>
- [9] *Biofuels (total) generic information* | *EAF0* [online]. European Alternative Fuels Observatory, © 2019 [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/biofuels/generic-information>
- [10] *Advanced biofuels* | *EAF0* [online]. European Alternative Fuels Observatory, © 2019 [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/advanced-biofuels/generic-information>
- [11] *Biobutanol* | *EAF0* [online]. European Alternative Fuels Observatory, © 2019 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/advanced-biofuels/biobutanol>
- [12] LU, Jingnan, Christopher J. BRIGHAM, Sophia LI a Anthony J. SINSKEY. Chapter 12 - *Ralstonia eutropha* H16 as a Platform for the Production of Biofuels, Biodegradable Plastics, and Fine Chemicals from Diverse Carbon Resources. *Biotechnology for Biofuel Production and Optimization*. Elsevier, 2016, s. 325-351. ISBN 9780444634757.
- [13] *Alternative Fuels Data Center: Biobutanol* [online]. U.S. Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: https://afdc.energy.gov/fuels/emerging_biobutanol.html

- [14] *Alternative Fuels Data Center: Dimethyl Ether* [online]. U.S. Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: https://afdc.energy.gov/fuels/emerging_dme.html
- [15] *BioDME (dimethylether) / Biomethanol | EAFO* [online]. European Alternative Fuels Observatory, © 2019 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/advanced-biofuels/BioDME>
- [16] *Biohydrogen | EAFO* [online]. European Alternative Fuels Observatory, © 2019 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/advanced-biofuels/Biohydrogen>
- [17] *Hydrogenovaný rostlinný olej - DAF Trucks CZ* [online]. DAF, © 2021 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.dafrucks.cz/cs-cz/trucks/alternativni-paliva-a-hnaci-soustavy/clean-diesel-technology/hvo>
- [18] *Hvo-biodiesel.jpg (1200×800). Hydrogenovaný rostlinný olej - DAF Trucks CZ* [online]. DAF, © 2021 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.dafrucks.cz/-/media/images/daf-corporate-info/sustainability/alternative-fuels-and-drivelines/hvo-biodiesel.jpg?mw=1200&hash=E88F3BF1266D96BC6E303E5980CBD9DDA24928CF>
- [19] *Well-to-Wheel – How to better understand it — gmobility* [online]. NGVA Europe [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://gmobility.eu/what-is-well-to-wheel/>
- [20] *Algae biofuel - Energy Education. Energy Education* [online]. University of Calgary, 2020, January 31, 2020 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Algae_biofuel
- [21] *Jak funguje výroba energie z biomasy | Skupina ČEZ - O Společnosti* [online]. ČEZ, © 2021 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/biomasa-1/flash-model-jak-funguje-vyroba-energie-z-biomasy>
- [22] *Elektrárny ČEZ spalující biomasu | Skupina ČEZ - O Společnosti* [online]. ČEZ, © 2021 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/biomasa-1/elektrarny-cez-spalujici-biomasu>
- [23] *Elektrárna Hodonín | Skupina ČEZ - O Společnosti* [online]. ČEZ, © 2021 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/uhelne-elektrarny-a-teplarny/uhelne-elektrarny-a-teplarny-cez-v-cr/elektrarna-hodonin-58184>
- [24] *Biopaliva první generace aneb co všechno můžeme již dnes nalévat do nádrží aut - EnviWeb.cz* [online]. 2007 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/65272>
- [25] VANĚK, Václav. *Biopaliva druhé a třetí generace. Úvod | 3 pól - Magazín plný pozitivní energie* [online]. © 2014, 20. června 2012 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/987-biopaliva-druhe-a-treti-generace>
- [26] *Alternative Fuels Data Center: Ethanol Fuel Basics: Ethanol Energy Balance* [online]. [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol_fuel_basics.html
- [27] *Europe's leading provider of ethanol-based fossil-free chemicals and biofuel - SEKAB* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.sekab.com/en/this-is-how-it-works/biorefinery-demo-plant/our-process/>

- [28] SEKAB medverkar i nationellt kunskapscentrum. *Europe's leading provider of ethanol-based fossil-free chemicals and biofuel - SEKAB* [online]. 2011-02-16 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://www.sekab.com/sv/blogg/sekab-medverkar-i-nationellt-kunskapscentrum/>
- [29] *Webinar - Lignin in asphalt - the REWOFUEL project* [online]. [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=LFCBziGfJks&ab_channel=SekabBiofuels%26ChemicalsAB
- [30] MIHULKA, Stanislav. Jednoduchý trik promění lignin z odpadu na cennou surovinu. *Gate2Biotech - Vše o českých biotechnologiích na jednom místě* [online]. 26.10.2016 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <http://www.gate2biotech.cz/jednoduchy-trik-promeni-lignin-z-odpadu-na-cennou-surovinu/>
- [31] Lignin from Canadian forests: the secret ingredient for greener roads. *Home - FPInnovations* [online]. © 2021, April 20, 2021 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://web.fpinnovations.ca/lignin-from-canadian-forests-the-secret-ingredient-for-greener-roads/>
- [32] WESOFF, Eric. Genetics Pioneer Craig Venter and Exxon Claim Algae Biofuel Breakthrough (Again) | Greentech Media. *Greentech Media | Clean Tech & Renewable Energy News | Greentech Media* [online]. 2017, 21. června 2017 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/genetics-pioneer-craig-venter-and-exxon-claim-algae-biofuel-breakthrough>
- [33] Advanced biofuels and algae research | ExxonMobil. *ExxonMobil* [online]. Exxon Mobil Corporation, © 2003-2021, 17. September 2018 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://corporate.exxonmobil.com/Energy-and-innovation/Advanced-biofuels/Advanced-biofuels-and-algae-research#Algaeforbiofuelsproduction>
- [34] Advanced biofuels and algae research | ExxonMobil: How algae grow. *ExxonMobil* [online]. Exxon Mobil Corporation, © 2003-2021, 17. September 2018 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://corporate.exxonmobil.com/Energy-and-innovation/Advanced-biofuels/Advanced-biofuels-and-algae-research#Algaeforbiofuelsproduction>
- [35] Advanced biofuels | ExxonMobil. *ExxonMobil* [online]. Exxon Mobil Corporation, © 2003-2021, 17. September 2018 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://corporate.exxonmobil.com/Energy-and-innovation/Advanced-biofuels>
- [36] *Haru Oni Hydrogen Project - fuel from wind and water* | *Hydrogen Solutions* | *Siemens Energy Global* [online]. Siemens Energy, ©2020-2021 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/renewable-energy/hydrogen-solutions/haru-oni.html>
- [37] Facts and Figures. *Haru Oni Hydrogen Project - fuel from wind and water* | *Hydrogen Solutions* | *Siemens Energy Global* [online]. ©2020-2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:65c73db4-73d4-4a53-8fdf-15c71d477978/width:1125/quality:high/haruoni-floorplan.jpg>
- [38] E-fuel-production-from-wind-and-pv. *Fuel from wind and sun | 2020* | *Siemens Energy Global* [online]. Siemens Energy, 2020, 17. December 2020 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:67924841-9046-4e03-9d17-e8077b4e41c8/width:1125/quality:high/e-fuel-production-from-wind-and-pv-.jpg>
- [39] Siemens PEM (proton exchange membrane). *Siemens delivers PEM electrolyzer for Salzgitter AG* | *Press* | *Company* | *Siemens* [online]. Houston: Siemens, 2019, 18 November 2019 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:87c41c2c-035d-4ef2-9e27-83779c8c0115/width:1024/IM2019110078PG.jpg>

- [40] PEM detail. *Haru Oni Hydrogen Project - fuel from wind and water | Hydrogen Solutions | Siemens Energy Global* [online]. Siemens Energy, © 2020-2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:a6787493-15b7-4fb1-87ac-bc1fc3ae7eee/width:640/crop:0,11:0,14589:0,719:0,72663/quality:high/pem-detail.png>
- [41] GRÄVE, Peter. Porsche and Siemens Energy, with partners, advance climate-neutral e-fuel development. *Porsche Newsroom – The Media Portal by Porsche* [online]. Porsche, © 2021, 2.12.2020 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://newsroom.porsche.com/en/2020/company/porsche-siemens-energy-pilot-project-chile-research-development-synthetic-fuels-efuels-23021.html>
- [42] RAYNAL, Wes. Here's Why Porsche Is Testing a Lower-Carbon Fuel in Its Race Cars. *Autoweek | Car Culture, Breaking Car News, Motorsports and Racing Headlines* [online]. Hearst Autos, ©2021, 6. April 2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.autoweek.com/news/sports-cars/a36028546/porsche-lower-carbon-fuel/>
- [43] *eFuels - eFuel Alliance* [online]. eFuel Alliance e.V., © 2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.efuel-alliance.eu/efuels>
- [44] HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Petr MILER, Vladimír HÖNIG a Martin CINDR. TECHNOLOGIE VÝROBY BIOPALIV DRUHÉ GENERACE. *Chemické Listy* [online]. 2010, 21.12.2009, (104), s. 786-789 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: http://chemicke-listy.cz/docs/full/2010_08_784-790.pdf
- [45] PRAŽÁK, Václav. *Motorová paliva a biopaliva* [online]., s. 3-5 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/motorova_paliva_a_biopaliva.pdf
- [46] DOLEŽEL, Jan. Potenciál biomasy v příštích dekádách. *BIOM: Časopis o energii, co roste* [online]. © 2020, 2020(2), s. 1-12 [cit. 2021-5-5]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/potencial-biomasy-v-pristich-dekadach>
- [47] STORCH, Daniel. Biopaliva nové generace: byznys s budoucností? *Byznys & Energie | Byznys & Energie* [online]. E.ON, © 2021, 26.3.2020 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://www.byznys-energie.cz/clanek/biopaliva-nove-generace-byznys-s-budoucnosti>
- [48] Ziegler, M. "It makes no sense to use e-fuels only in aircraft or ships". *MTZ Worldw* 82, 22–25 (2021) [cit. 2021-5-16]. <https://doi.org/10.1007/s38313-021-0657-8>
- [49] *Sustainable synthetic carbon based fuels for transport: Policy briefing* [online]. London: The Royal Society, 2019 [cit. 2021-5-17]. ISBN 978-1-78252-422-9. Dostupné z: <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/synthetic-fuels/synthetic-fuels-briefing.pdf>
- [50] SIROVÁ, Barbora a Ondřej FÉR. Výroba biometanu podle kritérií udržitelnosti. *BIOM: Časopis o energii, co roste* [online]. 2020, 28.11.2020, 2020(2) [cit. 2021-5-17]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyroba-biometanu-podle-kriterii-udrizitelnosti>
- [51] *Kapalna_biopaliva_2019CZ_12Cs.pdf*. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Praha: MPO, © 2005 - 2020 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/kapalna-biopaliva/2020/6/Kapalna_biopaliva_2019CZ_12Cs.pdf
- [52] *Kapalna_biopaliva_2020CZ_06Cs.pdf*. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Praha: MPO, © 2005 - 2020 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/kapalna-biopaliva/2020/9/Kapalna_biopaliva_2020CZ_06Cs.pdf

- [53] Swedish LBG road trial shows 90 percent emissions reduction | Bioenergy International. *Bioenergy International* | *Bioenergy International* [online]. Bioenergy International, 2020, 9 November 2020 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://bioenergyinternational.com/storage-logistics/swedish-lbg-road-trial-shows-90-percent-emissions-reduction>
- [54] Mercedes-Benz testuje v Německu palivo E20 - Petrol.cz. *Úvodní stránka - Petrol.cz* [online]. 2014, 4.2.2014 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://petrol.cz/aktuality/mercedesbenz-testuje-v-nemecku-palivo-e20-3598>
- [55] STUPAVSKÝ, Vladimír. Kapalná biopaliva – cíle a perspektivy. *BIOM: Časopis o energii, co roste* [online]. [2007] [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kapalna-biopaliva-cile-a-perspektivy>
- [56] Preol.pdf. *Univerzita Pardubice* [online]. Preol, 2013, říjen 2013 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://projekty.upce.cz/sites/default/binary_projekty_old/parprochem/prezentace-partneru/preol.pdf
- [57] SHEN, Ying. *Open-pond systems* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Three-different-designs-of-open-pond-systems-a-and-b-courtesy-of-A-Ben-Amotz-National_fig1_274487728
- [58] BAJHAIYA, A., S. MANDOTRA, M. R. SUSEELA, K. TOPPO a S. RANADE. *Schematic representation of algal biomass production in tubular photobioreactor* [online]. 2010 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/ALGAL-BIODIESEL%3A-the-next-generation-biofuel-for-Bajhaiya-Mandotra/4ea6f1e86bc6b1a89b84b02a714de6a390d8e5d4/figure/2>
- [59] Carvalho, A. P.; Meireles, L. A.; Malcata, F. X.: Microalgal reactors: a review of enclosed system designs and performances. [online] *Biochem. Eng. Online* 22:6, 1490–1506 (2006). [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1021/bp060065r>
- [60] Morweiser M, Kruse O, Hankamer B, Posten C. Developments and perspectives of photobioreactors for biofuel production. *APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY*. 2010;87(4):1291-1301. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2697-x>
- [61] *Algae Oil Information Algal Oil Composition, Properties, - Oilgae - Oil from Algae* [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <http://www.oilgae.com/algae/oil/oil.html>
- [62] DOLEŽAL, Jan. *Potenciál biomasy v příštích dekádách* [online]. BIOM, 2020 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/potencial-biomasy-v-pristich-dekadach>
- [63] DOLEŽAL, Jan. *Úspora emisí skleníkových plynů v odvětví bioplynu* [online]. BIOM, 2020 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/uspora-emisi-sklenikovyh-plynu-v-odvetvi-bioplynu>

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1 Grafické znázornění významu OZE [2]
Obrázek 2 Rozdělení biomasy [1]
Obrázek 3 Výsledky měsíčního zkušební období [53]
Obrázek 4 DAF HVO [18]
Obrázek 5 Proces přeměny řas na biopaliva [20]
Obrázek 6 Rozdělení biopaliv 1. generace
Obrázek 7 Schéma závodu PREOL na výrobu MEŘO [56]
Obrázek 8 Schéma procesu výroby bioetanolu z celulózy firmou Sekab [28]
Obrázek 9 Schéma výrobních postupů pro syntetická biopaliva [49]
Obrázek 10 Potenciál ke snížení emisí CO₂ s pomocí biopaliv první a druhé generace [44]
Obrázek 11 Nakládání s odpady v ČR mezi roky 2009 až 2018 [50]
Obrázek 12 Jak lze získat olej z řas [34]
Obrázek 13 Otevřené systémy pro pěstování řas [57]
Obrázek 14 Schéma fotobioreaktoru [58]
Obrázek 15 Ekonomický potenciál výroby e-Paliv [38]
Obrázek 16 Fakta a čísla [37]
Obrázek 17 Siemens PEM (Proton Exchange Membrane) [39]
Obrázek 18 PEM detail [40]
Obrázek 19 Kaskádový graf účinnosti nízko-uhlíkových způsobů přepravy [49]
Obrázek 20 Podíl OZE na konečné spotřebě energie v EU podle sektorů [62]
Obrázek 21 Podíl jednotlivých zdrojů na spotřebě obnovitelné energie v roce 2017 [62]
Obrázek 22 Energie z obnovitelných zdrojů energie v roce 2018 v ČR [62]
Obrázek 23 Podíl bionafty v České republice v letech 2007 až 1. pol. 2020 [51][52]
Obrázek 24 Podíl bioetanolu v České republice v letech 2007 až 1. pol. 2020 [51][52]

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Složení bioplynu první generace

Tabulka 2 Vliv biopaliv při výrobě asfaltu na produkci emisí CO₂ [29]

Tabulka 3 Porovnání výnosnosti biopaliv z různých surovin biomasy [32]

Tabulka 4 Srovnání vlastností bionafty z oleje z mikrořas a motorové nafty [61]