

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Biopaliva druhé a vyšší generace

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Hromádko, Ph.D.

Autor práce: Ondřej Anýž

PRAHA 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Anýž Ondřej

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Biopaliva druhé a vyšší generace

Anglický název

Biofuels of the second and higher generations

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se biopalivy druhé a vyšší generace.

Metodika

- prostudovat základní literaturu v oblasti biopaliv
- kontaktovat významné organizace zabývající se danou problematikou
- provést globální literární rešerši v dané problematice
- vlastní rozbor problematiky biopaliv druhé a vyšší generace
- návrh doporučení a předpokládaný vývoj v oblasti biopaliv druhé a vyšší generace.

Osnova práce

1. Úvod
2. Charakteristika jednotlivých paliv
3. Výroba biopaliv vyšších generací
4. Očekávaný vývoj v oblasti biopaliv druhé a vyšší generace
5. Doporučení a závěr

Rozsah textové části

30 - 40 stran formátu A4

Klíčová slova

biopaliva, bioethanol, syntetická motorová nafta, vodík

Doporučené zdroje informací

1. Crackner R.: Biofuels for Road transport. Shell Global Solutions. 19 September 2006 [online] [cit.2008-03-10]. Dostupný z WWW: < http://www.iop.org/activity/groups/subject/comb/Events/file_8802.pdf >
2. Debirmas A.: New Liquid Biofuels from Vegetable Oils Via Catalytic Pyrolysis. Energy Education Science and Technology. 21, 2008 (1/2). ISSN 1301-8361, s 1-59
3. Šebor G., Pospíšil M., Maxa D.: Využití kapalných biopaliv pro pohon motorových vozidel. Chemické listy, 100, 2006. ISSN 1213-7103, s 30-35
4. Šebor G., Pospíšil M., Žákovec J.: Technickoekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, výzkumná zpráva vypracovaná pro Ministerstvo dopravy ČR, VŠCHT Praha, červen 2006.
5. Hromádko J., Hromádko J., Miler P., Höning, V., Cindr M.: Technologies in Second-generation Biofuel Production. Chem. Listy 104 (2010), pp 784-790.

Vedoucí práce

Hromádko Jan, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2012

Termín odevzdání

duben 2014

doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci „Biopaliva druhé a vyšší generace“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Hromádka, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Podpis:.....

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Hromádkovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za věcné rady, pokyny a odpovědi na mé dotazy při řešení zadaného úkolu.

Abstrakt: Práce se zabývá problematikou biopaliv druhé a následně i vyšší, tedy třetí, generace. V první části je pozornost zaměřena na historii výroby a používání biopaliv v České republice/Československu. Je zde rovněž stručný popis první generace biopaliv. Dále jsou zde popsána biopaliva druhé generace, jejich charakteristiky a výroba. Poté je věnována pozornost problematice třetí generace biopaliv. Jako poslední je naznačen směr a možnosti čtvrté a zatím poslední generace biopaliv.

Klíčová slova: biopaliva, bioetanol, biometanol, biomasa, řasy, biovodík

Biofuels of the second a higher generations

Summary: The thesis deals with an issue of biofuels of the second and subsequently the third generation. In the first part the attention is focused on a history of production and using biofuels in the Czech republic/Czechoslovakia. It contains also a brief description of the first generation of biofuels. Further is the description of the second generation of biofuels and its attributes and production. Afterwards the attention is paid to the problematic of the third generation. Finally the direction and possibilities of the fourth and so far last generation of biofuels are indicated.

Key words: biofuels, bioethanol, biomethanol, biomass, algae, biohydrogen

Obsah:

1. Úvod:	9
2. Historie biopaliv:	10
2.1. Historie biopaliv v Československu a České republice:	10
2.1.1. Období první republiky:	10
2.1.2. Období po druhé světové válce:	10
2.1.3. Období po roce 1990:	11
3. Stručný popis první generace biopaliv:	13
3.1. Charakteristiky a výroba jednotlivých paliv:	14
3.1.1. MEŘO:	14
3.1.1.1. Výroba MEŘO:	15
3.1.2. Bioetanol:	15
3.1.2.1. Výroba bioetanolu I. generace:	16
3.1.2.2. Výroba z cukrové řepy a třtiny:	17
3.1.2.3. Výroba z obilovin:	18
3.1.3. BioETBE (bioethylterbutylether):	19
3.1.3.1. Výroba BioETBE:	20
4. Biopaliva druhé generace:	21
4.1. Charakteristiky a výroba jednotlivých paliv:	21
4.1.1. Lignocelulózový bioetanol:	21
4.1.1.1. Výroba z lignocelulózové biomasy:	22
4.1.2. Syntetická motorová nafta:	23
4.1.2.1. Výroba syntetické motorové nafty:	24
4.1.3. Biometanol jako produkt katalytické konverze syntézního plynu:	25
4.1.3.1. Výroba biometanolu:	25
4.1.4. Biodimethyléter jako produkt katalytické konverze syntézního plynu:	26
4.1.4.1. Výroba biodimethyléteri:	27
4.1.5. Biovodík jako produkt katalytické konverze syntézního plynu:	28
4.1.5.1. Výroba biovodíku:	28
5. Biopaliva třetí generace:	30
5.1. Možnosti biopaliv vyrobených z řas:	31
5.1.1. Bionafta:	32
5.1.1.1. Jednotlivé kmeny řas:	34
5.1.2. Bioetanol:	34

5.1.2.1. Jednotlivé kmeny řas:	35
5.1.3. Bioplyn:	35
5.1.3.1. Jednotlivé kmeny řas:	36
5.1.4. Biovodík:	36
5.1.5. Ostatní řasová biopaliva:	38
6. Biopaliva čtvrté generace:.....	39
6.1. První uvažovaná cesta k výrobě čtvrté generace biopaliv:	39
6.2. Druhá uvažovaná cesta k výrobě čtvrté generace biopaliv:	40
7. Očekávaný vývoj a doporučení:.....	42
8. Závěr:	43
9. Seznam zdrojů použitých při zpracování práce:	44
10. Seznam tabulek použitých při zpracování práce:	48
11. Seznam obrázků použitých při zpracování práce:	49
12. Použité zkratky:	50

1. Úvod:

Mezi hlavní důvody rozsáhlého výzkumu v oblasti biopaliv patří ubývající zásoby ropy, což je samo o sobě velmi pádným argumentem. Nikdo není schopen objektivně stanovit kolik nebo na jak dlouhé období ropa ještě vystačí. Z části to může být způsobené tím, že data o jejich zásobách jsou velkou měrnou tajné informace. Různé pesimistické odhady mluví o zásobách maximálně na 30 let. Naopak jinde se hovoří o zásobách na dalších 70 let.

Ovšem je možné nalézt další velmi důležité důvody, proč se zabývat otázkou biopaliv. Hned další důvod, který se nabízí, je velmi pádný – je jím ekologie. Tento aspekt, či věda, jenž byl v dřívějších obdobích neprávem hojně opomíjený, je dnes velmi podstatný. Jde především o snížení produkce oxidu uhličitého (CO₂). Neméně podstatný argument, který hovoří pro větší využití biopaliv, je snížení energetické závislosti daného státu na dovážené surovině, tedy povětšinou ropě. Zvláště pak v dnešní době, kdy různé konflikty, ať již lokálního či globálního charakteru, velmi ovlivňují jednotlivé země. Jedná se o problémy nejen v zemích producentů ropy, ale i zemích, které jsou pouze tranzitní pro dopravu ropy.

S nadsázkou by se dalo říci, že žijeme ve světě vybudovaném ropou a ropou také udržovaném. Zdá se, že lidstvo stále nemá přesně jasno, čím ropu adekvátně v celém jejím rozsahu nahradí.

Biopaliva se především řadí mezi zdroje energie, které jsou svojí povahou obnovitelné (jejich zásoba je obnovitelná, na rozdíl od fosilních paliv). Fosilní paliva vznikala řádově před několika miliony let, a jak už bylo naznačeno, mohou za pár desetiletí také dojít. A tak bude jen na nás, jako lidstvu samotnému, jak do té doby tento problém vyřešíme.

2. Historie biopaliv:

Historie biopaliv je velmi úzce propojena s historií samotných spalovacích motorů. Často bývá zapomínáno na fakt, že již v roce 1898 představil slavný vynálezce Rudolf Diesel v Paříži spalovací motor, kde jako palivo použil olej lisovaný z burských oříšků. Takže myšlenka biopaliv není převratnou novinkou posledních let. Americký průmyslník Henry Ford také použil jako palivo pro jeden ze svých motorů etanol z kukuřice. Na obou uvedených případech lze jasně ilustrovat, že první experimenty s biopalivy se patrně odehrávaly již mnohem dříve, než by se mohlo zdát.

2.1. Historie biopaliv v Československu a České republice:

2.1.1. Období první republiky:

V Československu se v období první republiky nejvíce rozšířeným biopalivem stala směs s názvem dynalkol (jiné zdroje uvádí název Bi-Bo-Li). Jednalo se o směs 50 % kvasného lihu, 30 % benzenu a 20 % benzínu. Stát tuto výrobu na poli legislativním ošetřil zákonem o povinném mísení lihu s pohonnými látkami, č. 85 Sb. ze dne 7. 6. 1932 a vládním nařízením č. 127 Sb. ze dne 22. 7. 1932. Tento zákon stanovil povinnost přimíchávat do veškerého klasického benzínu 20 % lihu [1]. Pro představu o velikosti výroby lihu v ČSR lze uvést hodnotu produkce z roku 1937, kdy jej bylo vyprodukováno přes 1 milion hektolitřů. Lihovarnictví, jako odvětví v Československé republice před druhou světovou válkou, zaměstnávalo bezmála 25 tisíc pracovníků.

2.1.2. Období po druhé světové válce:

Po druhé světové válce na našem území používání lihobenzinových směsí postupně upadá. Až v roce 1950 zaniká úplně z důvodu nové legislativy. Zákonem č. 63/1950 byl zrušen lihový monopol a vznikla řada vyhlášek a norem, které upravovaly oblast výroby a oběhu lihu [1]. Pro účely výroby pohonných hmot byla dále do Československa dopravována čistá ropa. Z počátku v železničních cisternách. V roce 1962 byl zahájen provoz ropovodu Družba z bývalého SSSR do Bratislavského Slovaftu. Následně byl v roce 1965 prodloužen až do Litvínova. V dobách centrálně plánované ekonomiky, kdy všechnu spotřebu ropy pokrývaly dodávky ropy z bývalého SSSR, se nezdálo být potřebné hledat alternativní zdroje paliv. Lehkým varováním mohli být dvě ropné krize mezi léty 1973 až 1979.

2.1.3. Období po roce 1990:

Až v roce 1990 po pádu komunistického režimu se do ceny ropy začaly promítat reálné tržní náklady. Ropa a její cena tedy začaly ovlivňovat celé hospodářství. Další problém, který bylo nutno řešit, byla 100% závislost na dovozu ropy z Ruska. Tento problém se částečně vyřešil v první polovině 90. let zprovozněním ropovodu IKL, což velmi napomohlo k zvýšení energetické bezpečnosti státu.

Dalším problémem který vyvstal na povrch, byla výrazná nadprodukce domácí výroby obilovin, která čítala bezmála 1,2 milionů tun ročně. Proto se do popředí opět dostaly úvahy o využití obilovin pro potřeby biopaliv.

Ministerstvo zemědělství, tehdy pod vedením ministra Josefa Luxe (za KDU-ČSL), vypracovalo projekt bioetanol, který byl odsouhlasen v roce 1996 vládou Václava Klause (za ODS). Kolem roku 1998 vláda postoupila celý projekt do realizačního stádia usnesením č. 420. Po předčasných volbách v roce 1998, kdy vládla nová menšinová vláda Miloše Zemana (za ČSSD), se projekt odsunul do pozadí a nebyl dále rozvíjen. V další vládě premiéra Vladimíra Špidly (za ČSSD), kdy ministerstvo zemědělství řídil Jaroslav Palas, nabral celý projekt fatální zpoždění a navíc byl zpochybněn z důvodu zájmu různých lobbystických skupin.

Řešení projektu metylesteru řepkového oleje (MEŘO) bylo úspěšnější, než u projektu Bioetanolu. Státní správa tento projekt podpořila, jak na poli legislativním, tak i dotačním. Na začátku projektu se bylo nutné zaměřit na pěstování řepky olejky na naší orné půdě. Mezi léty 1992 až 1997 byla podpora investičního charakteru směřována do nákupu a výstavby nových technologií. Od roku 1997 byl pro podporu projektu zaveden přírůstek min. 30% MEŘO pro výrobu směsné nafty (SMN 30). Jako další faktory podpory projektu MEŘO byla uplatněna dotace ceny řepkového semene, osvobození MEŘO od spotřební daně a do konce roku 2003 sazba DPH 5 % [1].

Těmito opatřeními se dařilo mezi léty 1999 až 2004 udržovat produkci na hodnotách 170 tis. až 260 tis. tun SMN ročně. SMN 30 byla velmi rozšířená v prodejní síti českých čerpacích stanic a vzhledem k její ceně měla i velmi dobré prodejní výsledky. Počínaje rokem 2004, a tedy datem vstupu České republiky do Evropské unie, byla zrušena dotace na výrobu MEŘO a změněna sazba DPH. Tím směsná nafta takřka vymizela od českých čerpacích stanic. Tento nepříznivý stav přetrvával do roku 2008, resp. 2009. V roce 2008 byla zákonem

č.37/2008 [2] snížena sazba spotřební daně na SMN. Toto opatření způsobilo oživení prodeje směsné motorové nafty. Dále v roce 2009 byla novou evropskou směrnicí č. 28 [3] stanovena povinnost členským státům zajistit do roku 2020 uplatnění biopaliv v dopravě alespoň ve výši 10 % z celkového objemu. Toto mimo jiné členským státům umožnilo různá daňová zvýhodnění biopaliv jak, už čistých, tak i jejich vysokoprocentních směsí.

3. Stručný popis první generace biopaliv:

Problematiku první generace biopaliv bylo nutné do této práce zařadit z důvodu shodnosti některých výrobních postupů u dalších generací biopaliv. Jako biopaliva první generace bývají nejčastěji označována paliva z polysacharidů a olejnin vyráběných ze zemědělských plodin. Tato generace biopaliv je v současnosti nejhojněji využívána v České republice. Jsou produkována relativně jednoduchými metodami. Bohužel první generace biopaliv sebou přinesla řadu problémů, které je nutné řešit. Výchozí surovina pro produkci biopaliva se nazývá biomasa. A její získání pro první generaci biopaliv je právě jedním z problémů. V České republice to jsou tyto suroviny: řepkový olej, cukrová řepa, kukuřice a skoro všechny druhy obilí. V celosvětovém formátu pak ještě další plodiny jako: slunečnicový olej, palmový olej a sójový olej. A právě jejich pěstování je pro první generaci biopaliv jedním z problémů. Tyto plodiny jsou v převážné míře potravinářského charakteru. V našich zeměpisných šířkách tak dochází k záboru polí. Potravinářské suroviny jsou využívány vlastně jako palivo. V tropických částech světa, kde je pěstování nejvýhodnější (výnosy jsou zde mnohem vyšší) a často není brán tolik zřetel na životní prostředí, dochází k přeměně přírodních ekosystémů, jako jsou lesy, mokřady a pastviny na plantáže pro pěstování energetických plodin. Dále se pak musí ještě započítat negativní vliv různých hnojiv, pesticidů a postřiků. Při produkci biopaliv první generace je, bohužel, rostlina využívána jen z malé části, což je také značně nevýhodné. V dalších generacích se proto věda zaměřila na odstranění těchto negativních jevů, zejména pak konkurenci potravinám a možnosti širšího zpracování rostliny. Nicméně i tak jsou biopaliva první generace úspěšně vyráběna po celém světě.

Nejčastěji mezi biopaliva prvních generací řadíme:

- MEŘO (metylester řepkového oleje),
- bioetanol vyráběný z výchozích produktů, které obsahují cukr nebo škrob (cukrová třtina, cukrová řepa, kukuřice a téměř všechny druhy obilí),
- BioETBE (bioethylterbutylether) vyráběn adiční reakcí bioetanolu s isobutanem,
- rostlinný olej, v našich klimatických podmínkách se jedná zejména o řepkový olej [4].

Některé další zdroje uvádí pro výrobu MEŘO ještě odpadní oleje živočišného původu, ovšem s důrazem na problémy se vstupní kvalitou.

3.1. Charakteristiky a výroba jednotlivých paliv:

3.1.1. MEŘO:

Jako MEŘO rozumíme palivo určené výhradně pro vznětové motory. Z toho důvodu musí být jeho vlastnosti velmi podobné s motorovou naftou. V České republice je nejužívanější surovinou pro výrobu MEŘO řepkový olej.

Tab. 1. porovnání parametrů motorové nafty a MEŘO.

Parametr		Motorová nafta	MEŘO (řepkový)
Hustota při 16°C	kg/m ³	835	882
Viskozita při 40°C	mm ² /s	2,3	4,2
Výhřevnost	MJ/l	35,5	32,8
Cetanové číslo		>51	51 - 60
Obsah síry	mg/kg	<50	<1
CFFP ₁	°C	0 až -20	-8

₁ filtrovatelnost za chladu

Z tabulky č. 1. lze vysledovat, že čisté MEŘO je možné ve vznětovém motoru použít bez nutnosti dalších úprav. Problémem jsou však právě rozdílné parametry obou paliv, hlavně viskozita a cetanové číslo. Proto je častěji, než v čisté formě, toto palivo využíváno ve formě směsi s normální motorovou naftou. Technické, energetické a ekologické vlastnosti metylesteru řepkového oleje jsou formulovány v ČSN 65 6507 : MEŘO, biopalivo pro vznětové motory [5].

V zahraničí se pro MEŘO používá termín RME (Rapes Methyl-ester). Podle druhu použitého oleje se metylestery označují:

RME (Rapes-Methyl-Ester) metylester řepkového oleje MEŘO,

SME (Sunflower-Methyl-Ester) metylester slunečnicového oleje,

SOME (Soya-Methyl-Ester) metylester ze sójových bobů,

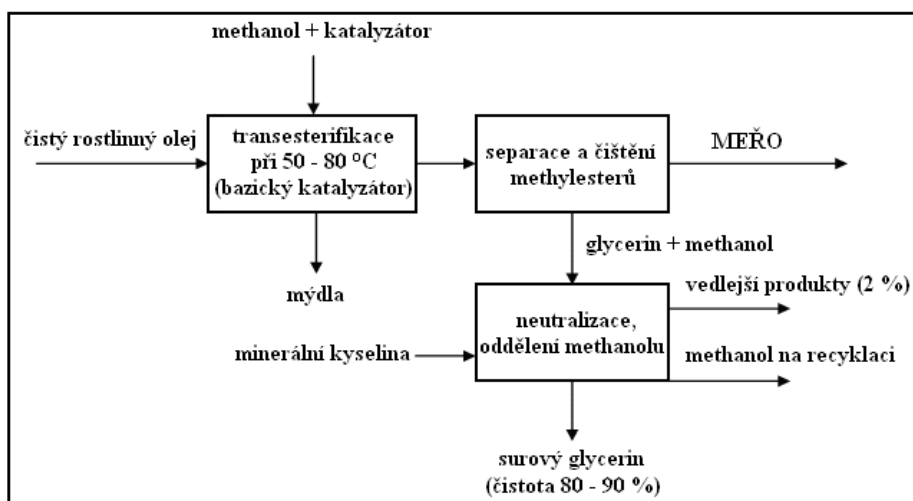
FAME (Falty-acid-Methyl-Ester) metylester mastných kyselin,

VUOME (Vaste Used Oil-Methyl-Ester) metylester z použitých fritovacích olejů [6].

3.1.1.1. Výroba MEŘO:

Jak již bylo uvedeno, výchozí surovinou pro výrobu MEŘO je řepkový olej. Řepkový olej je produkován lisováním semen řepky olejné. Při průmyslovém zpracování velkých objemů semen je lisování prováděno za tepla (80-90°C). Semena řepky se nejdříve lisují, čímž je získáno asi 50% oleje a zbylá část oleje se získává pomocí organických rozpouštědel. Následuje proces destilace, při kterém je zapotřebí organická rozpouštědla oddělit od oleje a dále je znovu použít. Poté je provedena rafinace pro oddělení různých škodlivých prvků, jako je např. síra, fosfor a další. Výsledný olej je se směsí látek metanolu a hydroxidu draselného dávkován do uzavřeného reaktoru k procesu transesterifikace. Tento proces probíhá při zvýšené teplotě (až 80°C) po dobu 1 - 8 hodin. Následně jsou provedeny ještě procesy oddělení glycerolu od metylesteru, destilace metanolu z obou složek, pročištění za pomoci teplé vodou od zbytků mýdel a dalších nečistot. Na závěr je provedena separace zbytkové vody. Celý proces je pro lepší představu názorně vysvětlen ve schématu na obrázku č. 1.

Obr. 1. Blokové schéma výroby MEŘO [6]



3.1.2. Bioetanol:

Bioetanol je jako palivo možné používat jak v zážehových motorech, tak i, což je méně známé, po větších úpravách samotného motoru v motorech vznětových. V současnosti je v České republice bioetanol používán pro mísení s klasickým benzínem až do 4,1%. Tuto povinnost ukládá výrobcům současná platná legislativa. Vzniká tak nízkoprocentní směs, kterou by bylo možno označovat jako E5. Tato směs sebou nepřináší žádné závažné problémy při provozu automobilů a nejsou kvůli ní nutné žádné úpravy vozidla. Problémy

nastávají až u vysokoprocenních směsí. V České republice je v současnosti v distribuci palivo s názvem E85, což je směs 85% bioetanolu a 15% benzínu. Nejzávažnější problémy při používání těchto a jiných vysokoprocenních směsí jsou spojeny s vyšší teplotou varu bioetanolu a tím pádem horší tvorbou směsi, která je spojena s obtížnější startovatelností v zimních obdobích, dále pak s nižším směšovací poměrem směsi se vzduchem, z čehož vyplývá nutnost zvýšení dávky paliva a tím i spotřeby. Bioetanol má velmi vysoké oktanové číslo viz tab. 2., takže jeho přídavek v podobě nízkoprocenní směsi působí pozitivně na zvýšení samotného OČ. Vozidla, která jsou schopna provozu i na vysokoprocenní směsi, jsou často označována jako tzv. FFV(Flexible fuel vehicles) vozidla. V současnosti jsou běžně vyráběna automobilkami jako Škoda, Renault, Volvo, Dacia, Ford a další, často bez příplatku nebo s velmi malým příplatkem proti standardní verzi. Nejvíce jsou zatím tato FFV vozidla rozšířena ve Skandinávii.

Tab. 2. porovnání parametrů bioetanolu, automobilového benzínu a motorové nafty [6]

Parametr		Bioetanol	Automobilový benzín	Motorová nafta
hustota	g.cm ⁻³	0,79	0,73	0,84
výhřevnost hmotnostní	MJ.kg ⁻¹	26,80	44,03	42,50
výhřevnost objemová	MJ.dm ⁻³	21,17	32,3	35,70
teoretická spotřeba vzduchu	kg/kg paliva	9,00	14,70	14,90
oktanové číslo	-	107	95	-
cetanové číslo	-	8	-	45–55
teplota varu	°C	78	38 – 204	125–400

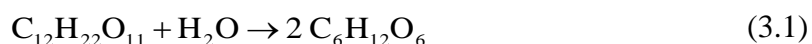
3.1.2.1. Výroba bioetanolu I. generace:

Při výrobě bioetanolu, označovaného jako I. generace, je využíváno vstupní biomasy bohaté na jednoduché cukry či látky obsahující celulózu a škrob. Toto jsou v převážné míře potravinářské plodiny. Jedná se o tyto plodiny: cukrová řepa, cukrová třtina, obiloviny, brambory a kukuřice. Proces výroby je u tzv. I. generace nejjednodušší způsob, jak lze

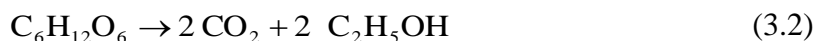
vyrábět biopalivo. V současnosti je I. generace nejvíce vyráběnou generací biopaliv na celém světě.

3.1.2.2. Výroba z cukrové řepy a třtiny:

Prvním krokem při výrobě bioetanolu I. generace z cukrové řepy či třtiny je rozemletí vstupní biomasy. Následuje proces vyprání horkou vodou, při kterém se oddělí cukry a vznikne odpadní materiál cukrovarská melasa a dužnina, který je možno dále použít jako krmnou směs. Tento proces probíhá dle rovnice (3.1) :



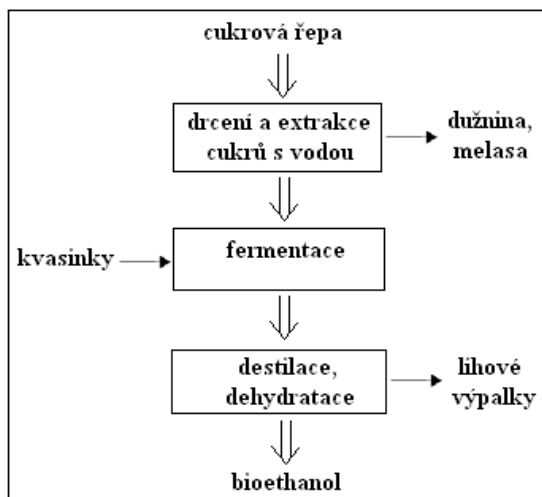
Následuje proces fermentace, čili kvašení, ve fermentoru za pomoci kvasinek. Výsledný produkt je oxid uhličitý CO_2 a bioetanol. Kvašení musí probíhat v mírně kyselém prostředí za zvýšené teploty (27 až 32°C) Tento proces probíhá dle rovnice (3.2) :



Po procesu kvašení přichází samotná destilace, výsledkem jsou dva produkty etanol a destilační zbytek tzv. lihovarské výpalky [7]. Které je možno po dalších úpravách využít jako krmiv a hnojiv.

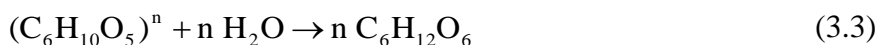
Předposlední fází je rafinace, která má za cíl odstranit různé druhotné produkty fermentace, jež jsou nežádoucí v palivu. Výsledný produkt je 95,5 % hmotnosti bioetanolu a zbylá 4,5% připadá na vodu. Posledním procesem je odvodnění. Vodu je třeba odstranit v současnosti nejčastěji za pomoci molekulárních sít. Celý proces je názorně popsán na schématu v obrázku č. 2. V České republice se výrobou tohoto typu etanolu zabývá např. firma TTD Dobrovice.

Obr. 2. Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry [6]



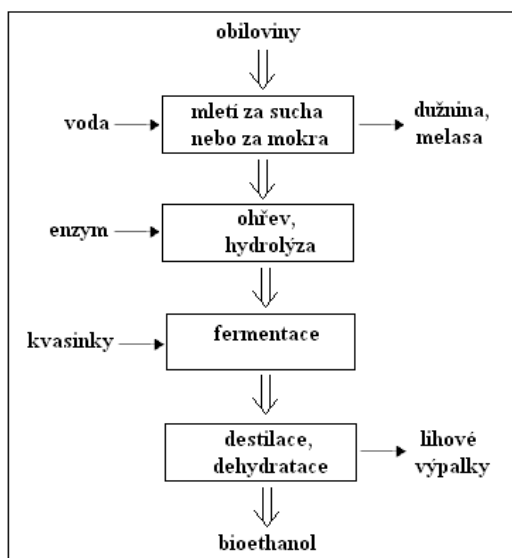
3.1.2.3. Výroba z obilovin:

Výroba bioetanolu z obilovin je procesně velmi podobná výrobě z biomasy bohaté na jednoduché cukry. První technologický krok při výrobě bioetanolu z obilovin je tedy stejný jako u výroby z řepy či třtiny. Jedná se o rozemletí zrna, toto může být provedeno jak suchou tak mokrou cestou. Vzniká zde odpadní materiál v podobě slupek zrn a stébel. Dalším procesem při výrobě je tzv. výroba zápar. Při tomto procesu dojde k nabobtnání a zmazovatění zrna. Dále je pak takto upravený škrob za pomoci enzymů či kyselé hydrolyzy přeměňován na glukózu. Celý proces je naznačen rovnicí (3.3) :



Jak již bylo řečeno, proces je velmi podobný procesu výroby z biomasy bohaté na cukr. Proto i další následné procesy jsou takřka shodné. Jsou jimi kvašení, čili fermentace, dále pak destilace a na závěr odvodnění samotného biolihu. Celý proces je názorně popsán na schématu v obrázku č. 3. V České republice se výrobou tohoto typu etanolu zabývá např. firma Ethanol Energy a.s., Vrды.

Obr. 3. Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob [6]



3.1.3. BioETBE (bioethylterbutylether):

Bioethylterbutyléter (BioETBE) je produkt vyrobený z biopaliv, tedy z biomasy. Jedná se pro své vlastnosti o velmi žádanou komponentu automobilových benzínů [8]. BioETBE je využíváno pro své vlastnosti jako kyslíkatá složka benzínů snižující obsah oxidu uhelnatého a uhlovodíků ve výfukových plynech [9]. Bez vlivu na provozní parametry motoru. Tabulka č. 3. ukazuje údaje ETBE a MTBE.

Tab. 3. Vlastnosti MTBE a ETBE [9]

	Jednotka	MTBE	ETBE
Chemický vzorec		C ₅ H ₁₂ O	C ₆ H ₁₄ O
Hustota při 15 °C	kg.m ⁻³	746	745
Výhřevnost	kWh.kg ⁻¹	9,8	10,1
Obsah kyslíku	% hm.	18,2	15,7
Oktanové číslo VM		116	118

Pro úplnost uvádím, že MTBE je sloučenina podobného významu jako ETBE, ale syntetického původu lze jí plně nahradit v automobilovém benzínu pomocí ETBE. V Evropě se průmyslově ETBE vyrábí pouze ve Francii, Španělsku, Německu, Itálii a Velké Británii.

Výroba ETBE byla vyzkoušena i v České rafinérské, a. s., v Kralupech nad Vltavou v roce 2001 [9].

3.1.3.1. Výroba BioETBE:

Výroba BioETBE probíhá chemickým procesem mezi bioetanolem a nenasyceným plynným uhlovodíkem isobutenem ($\text{iso-C}_4\text{H}_8$) v přítomnosti kyselého katalyzátoru [8]. Tato reakce mezi isobutenem a bioetanolem probíhá v kapalně fázi.

4. Biopaliva druhé generace:

Výroba biopaliv první generace a následně jejich zvýšená spotřeba po celém světě ukázala na celou řadu problémů s tím spojených. Mezi hlavní problémy první generace patří hlavně konkurence ve využití úrodné zemědělské půdy pro pěstování energetických plodin. Následkem tohoto stavu může docházet ke zvyšování cen potravin. Dalším palčivým problémem je větší využitelnost vstupní suroviny použité na výrobu biopaliva. Velkou většinu těchto problémů druhá generace biopaliv nemá nebo je účinně řeší. Například k pěstování surovin pro druhou generaci biopaliv je možno využít půdu, která je v současné době obtížně nebo úplně nevyužitelná. Vstupní suroviny pro druhou generaci mohou být nepotravinářského charakteru. Tyto suroviny mohou být ve velké míře také odpadní, dnes nákladně likvidované. Jako suroviny určené pro výrobu druhé generace bývají uváděny nejčastěji různé rychle rostoucí dřeviny a traviny, sláma, dřevní odpad, použitý papír nebo biologický odpad. Neméně důležitá informace je, že biopaliva II. generace vykazují významný pozitivní rozdíl v saldu produkce CO₂ během životního cyklu [4]. Potenciál, který skýtají biopaliva druhé generace na poli snížení emisí CO₂, je proti fosilním palivům až 90%. Mezi hlavní nevýhody druhé generace biopaliv patří cena a technologická komplikovanost výrobní technologie. Plné využití této generace biopaliv lze očekávat teprve v blízké budoucnosti řádově několika roků. Do kategorie biopaliv druhé generace řadíme především:

- bioetanol vyráběný z lignocelulózové biomasy,
- syntetická motorová nafta jako produkt Fischer-Tropschovy syntézy,
- biometanol jako produkt katalytické konverze syntézního plynu,
- biodimethyléter jako produkt katalytické konverze syntézního plynu,
- biovodík jako produkt katalytické konverze syntézního plynu [4].

4.1. Charakteristiky a výroba jednotlivých paliv:

4.1.1. Lignocelulózový bioetanol:

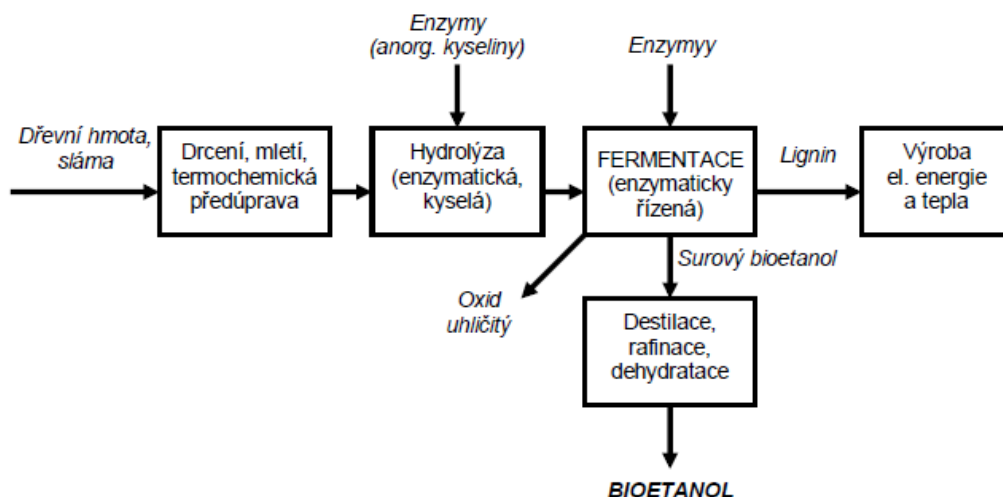
Tato technologie výroby, jak již bylo řečeno, je poněkud komplikovanější. Technicky i prakticky je výroba z lignocelulózové biomasy zvládnutá a vyzkoušená, ale pro svou komplikovanost není zatím příliš komerčně rozvinutá. Aktuálně je tato technologie stále

předmětem intenzivní výzkumné činnosti a její komerční využití se předpokládá v horizontu 10–15 let [8]. Mezi nejčastějšími důvody, které hovoří pro použití této technologie, je uváděna cena a dostupnost vstupní biomasy, zvláště pak při použití odpadu. Komplikace ovšem nastávají hned při prvních krocích výroby, roztříděný materiál musí být nařezán a drcen na požadovanou velikost a sušen na požadovanou vlhkost [10]. Zatím největší zkušenosti má s výrobou z lignocelulozové biomasy švédská firma Sekab Biofuels and Chemicals AB.

4.1.1.1. Výroba z lignocelulozové biomasy:

Následující řádky platí pro technologii výroby vyvinutou firmou Sekab [11]. Vstupní surovina je rozdrovena a rozemleta pro účel narušení vazeb kvůli lepšímu přístupu kyselině či enzymů. Dále je nutné suroviny predehřát horkou párou. Následuje proces předsacharizace, při kterém je celulóza za přítomnosti kyseliny vyluhována za teploty okolo 180°C z biomasy. Následuje rozložení celulózy na cukry (nejvíce glukózu) v celulózním reaktoru. Bohužel při tomto procesu dojde k oddělení ligninu, který je nutno odfiltrovat, ale stává se využitelným odpadem. Tento již přefiltrovaný roztok glukózy je nutno zbavit různých toxických příměsí. Poté teprve může probíhat klasický proces fermentace za zvýšené teploty (35°C) a přítomnosti kvasnic. Kvasnice je po ukončení fermentace nutné odseparovat z fermentační kaše a dále je možno separované kvasnice znovu vložit do procesu fermentace. Předposledním výrobním procesem je klasická destilace, podobně jako u první generace biopaliv. Poslední výrobní operací je opět klasické odvodnění bioetanolu. Na obrázku č. 4 je obecné blokové schéma výroby bioetanolu z lignocelulozové biomasy.

Obr. 4. obecné blokové schéma výroby bioetanolu z lignocelulozové biomasy [8]



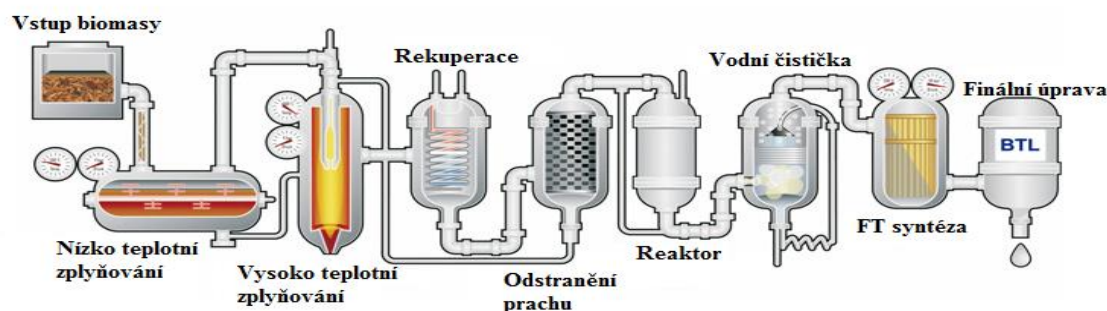
4.1.2. Syntetická motorová nafta:

Možnost výroby syntetické motorové nafty je již historicky velmi dobře vyzkoušená. Proces, kterým se vyrábí, nese název Fischer – Tropschova (FT) syntéza. Tato technologie pochází z 30. let 20tého století z Německa. Na našem území byla používána již od roku 1939, kdy poblíž malé mostecké vesnice Záluží začala Německá samospráva budovat podnik pod názvem STW-Sudetenländische Treibstoffwerke AG Maltheuren [12]. Podnik byl vybudován za účelem výroby leteckého benzínu z hnědého uhlí. Nutno podotknouti, že na jeho výstavbě se podílelo tisíce totálně nasazených občanů protektorátu Čechy a Morava spolu se čtyřiceti tisíci válečných zajatců z celé Evropy [12]. V dnešní době tak Fischer – Tropschova syntéza zažívá renesanci v podobě nové vstupní suroviny. V současnosti je využíván jako vstupní surovina zemní plyn. Ovšem v případě biopaliv je vstupní surovinou opět biomasa. Tato biomasa je zplynována za účelem vzniku syntézního plynu, který je základní surovinou FT syntézy. Možnosti použití této technologie jsou stále předmětem dalšího vývoje. Uvádí se, že z 1 tuny dřevní biomasy lze vyrobit pomocí FT syntézy okolo 150l syntetické motorové nafty. Nejvíce pokročila v této metodě Drážďanská firma Choren. Bohužel během roku 2012 musela svou technologii prodat firmě Linde, která jí bude dále rozvíjet [13]. Pro celý proces bývá často užívána anglická zkratka BTL (Biomass-to-liquids). Výsledný produkt syntetická motorová nafta bývá komerčně označován Sundiesel. Může být upgradován na širokou škálu výrobků, jako například ultra čistou motorovou naftu nebo letecký petrolej, které nabízí lepší výkon než jejich ropné ekvivalenty [14].

4.1.2.1. Výroba syntetické motorové nafty:

Syntetická motorová nafta se vyrábí z nasekané, vyčištěné a usušené biomasy. Velikost, na kterou je nasekána, je okolo 250 μ m. Limit vlhkosti je max. 20%. Po těchto úvodních operacích následuje Carbo - V proces. První část je tvořena nízkoteplotní pyrolýzou, která probíhá při teplotě 400–500 °C. Při této teplotě dochází k přeměně makromolekulárních struktur na plynné a kapalné organické produkty a pevný uhlík. Plyn je veden do vysokoteplotní spalovací komory, kde se částečně oxiduje za přítomnosti kyslíku a vodní páry. Při teplotě vyšší než 1400 °C dochází k rozkladu uhlovodíkových řetězců na H₂ a CO. Ve třetím kroku je jemně rozdrčené uhlí ze spodu vyfukováno do spalovací komory. Práškové uhlí endotermicky reaguje s pyrolýzním médiem za vzniku syntézního plynu (směs plynů obsahujících převážně CO a H₂, dále jsou přítomny CO₂, CH₄, H₂O a N₂) o vysoké výhřevnosti. Plyn je následně ochlazován v tepelném výměníku. Odpadní vodní pára je využívána k výrobě elektrické energie. V dalším kroku dochází k separaci nevyužitého popela a čištění syntézního plynu ve vodní čističce, ve které je odstraňována síra [4]. Dalším krokem je již samotná Fischer – Tropschova syntéza. Katalyzátorem je zde kobalt, nejdříve povrch kobaltového katalyzátoru absorbuje oxid uhelnatý a vodík. Samotný uhlovodíkový řetězec začne růst po rozštěpení oxidu uhelnatého na uhlík a kyslík. Ten se následně naváže na vodík a řetězec tak může růst s každou další rozštěpenou molekulou CO. Tento růst je zastaven až po pokrytí celého povrchu kobaltového katalyzátoru. Posledním krokem je finální upgrade paliva, kdy je palivo odvodněno, destilováno a hydrokrakováno na čistý finální Sundiesel. Celý proces je názorně popsán na obrázku č. 5.

Obr. 5. obecné blokové schéma výroby syntetické motorové nafty [15]



4.1.3. Biometanol jako produkt katalytické konverze syntézního plynu:

Produkce samotného metanolu patří v petrochemickém odvětví mezi jednu z nejdůležitějších částí výroby. Pro výrobu klasického metanolu je nejčastěji používán zemní plyn. Až 33 % z vyrobeného množství metanolu je použito v sektoru paliv (pro výrobu MTBE) [8]. Dříve byl metanol znám také pod názvem dřevní líh z důvodu jeho vzniku při výrobě dřevěného uhlí. Pro použití jako palivo ve spalovacích motorech má řadu výhod, např.: snížení emisí, vyšší oktanové číslo, ale i nevýhod: horší startovatelnost za nízkých teplot a současně je i toxický a korozivní vůči některým hmotám. Výhodou by mohlo být také to, že jeho výrobu lze účelně skloubit s výrobou el. energie. První firmou na světě, která dokázala zvládnout výrobu a prodej biometanolu v průmyslových množstvích, byla holandská BioMCN [16]. Mezi další firmy, které se aktivně zabývají vývojem a výrobou biometanolu, patří například kanadská firma Enerkem nebo švédská firma VärmlandsMethanol AB [16]. Švédská firma uvádí, že obvykle používá, jako vstupní surovinu dřevní zbytky po těžební činnosti, viz obrázek č. 6.

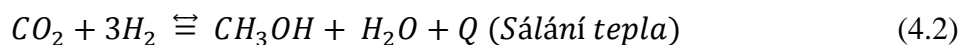
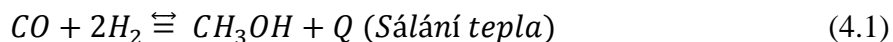
Obr. 6. vstupní surovina pro výrobu biometanolu [17]



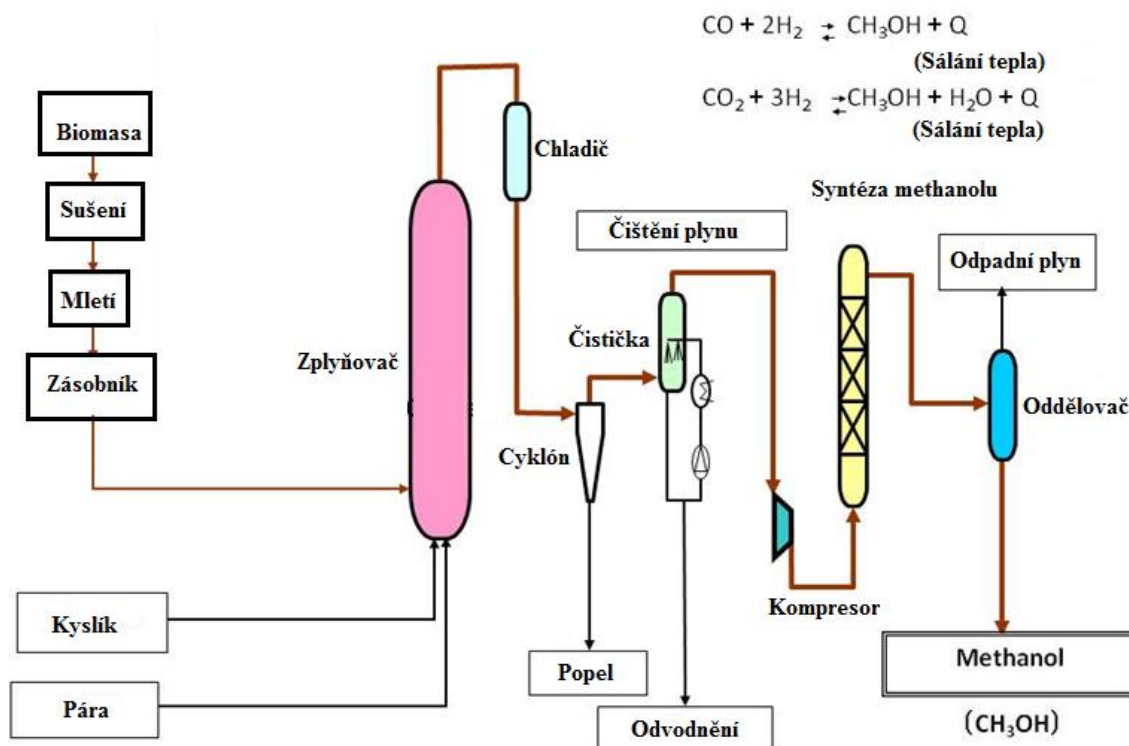
4.1.3.1. Výroba biometanolu:

Při výrobě tohoto druhu biometanolu musí být nejdříve vstupní biomasa vysušena a rozemleta na prášek (částičky o průměru cca 1mm). Poté je rozdrcený materiál zplyňován za teploty 900 až 1000°C s pomocí zplyňovacího činidla páry a kyslíku. Tím jsou všechny sacharidy transformovány na vodík (H_2), oxid uhelnatý (CO), oxid uhličitý (CO_2) a vodní páru (H_2O). Tato směs plynů již může být snadno využita na výrobu elektrické energie. Všechny popel, který je obsažen ve vstupním materiálu, je během procesu výroby shromažďován a odloučen. Dále je směs plynů převedena za pomoci termo-chemické reakce

při tlaku 4 až 8 MPa. Katalyzátor je při výrobě biometanolu na bázi mědi (Cu) a zinku (Zn) [18]. Celý proces probíhá dle rovnice (4.1) a rovnice (4.2) [18]:



Obr. 7. blokové schéma výroby biometanolu [18]



Tento výrobní postup umožňuje jakýkoliv zdroj biomasy, která je použita jako surovina při výrobě bioetanolu. Bývá uváděna výtěžnost okolo 550l metanolu na 1tunu dřeva [8].

4.1.4. Biodimethyléter jako produkt katalytické konverze syntézního plynu:

Dimethyléter (DME) je svými fyzikálními vlastnostmi velmi podobný palivu LPG. Za normálních podmínek se jedná plyn, který je ovšem možné zkapalnit. Jako pohonná hmota má mnoho potenciálních aplikací, např.: jako palivo pro dopravu či palivo pro topení a vaření v domácnostech nebo výrobu elektřiny. DME je možné vyrábět jednak ze zemního plynu nebo uhlí, ale také z biomasy. Toto palivo má velký potenciál stát se ideálním palivem pro vysoce efektivní vznětové motory. Aplikace DME, jako paliva, přináší velmi malé emise

výfukových plynů takřka bez nutnosti používat filtr pevných částic. Dále také přináší snížení hlučnosti motoru [19]. Úprava naftových motorů na palivo DME je poměrně jednoduchá [21]. Výzkumy ukazují výtěžnost okolo 500l na 1 tunu dřeva [8]. V tabulce číslo 4. jsou některé vybrané vlastnosti DME v porovnání s dalšími palivy.

Tab. 4. porovnání parametrů DME a dalších paliv [19]

	Energetický obsah	hustota	cetanové číslo	oktanové číslo	C/H/O	bod varu
	(MJ/kg)	(kg/m³)			(hmotnostní %)	(°C)
Etanol	28.43	790		110	52/13/35	78
Metanol	19.5	790		110	38/12/50	65
Motorová nafta	43.09	800-845	50-55		86/14/0	180-360
DME	28.43	668	60		52/13/35	-25
Metan	50.00	0.81		122	75/25/0	-162
Vodík	119.88	0.089		>125	0/100/0	-253
LPG	46.30	540		90-96	82/18/0	-30
Benzín	42.70	715-765		90-100	86/14/0	0-210

BioDME také není toxický ani mutagenní či karcinogenní. V této oblasti velmi intenzivně pracují firmy Haldor Topsoe A/S (Dánsko), Chemrec AB (Švédsko), Total (Francie) a Air Products and Chemicals (USA) [19].

4.1.4.1. Výroba biodimethyléru:

Výroba biodimethyléru probíhá ve dvou krocích. Prvním krokem je výroba metanolu z biomasy. Druhým krokem je konverze metanolu na biodimethyléter (bio DME) [20]. První krok je velmi podobný jako produkce biometanolu, která byla již popsána v kapitole 4.1.3. [21]. Dále je biometanol dehydratován, čímž vznikne DME a H₂O. Do celého procesu jsou zapojeny několikanásobné katalyzátory, které napomáhají s přeměnou. Nadále je předmětem výzkumu, jak tyto procesy dále zlepšit a zefektivnit za pomoci rozdílných katalyzátorů, případně modifikací původních, například modifikací katalyzátoru pro zlepšení selektivity

přidáním germania (Ga) a zirkonia (Zr). Tato úprava zhruba zdvojnásobila selektivitu a výnos [20]. Celá technologie výroby je stále předmětem intenzivního výzkumu.

4.1.5. Biovodík jako produkt katalytické konverze syntézního plynu:

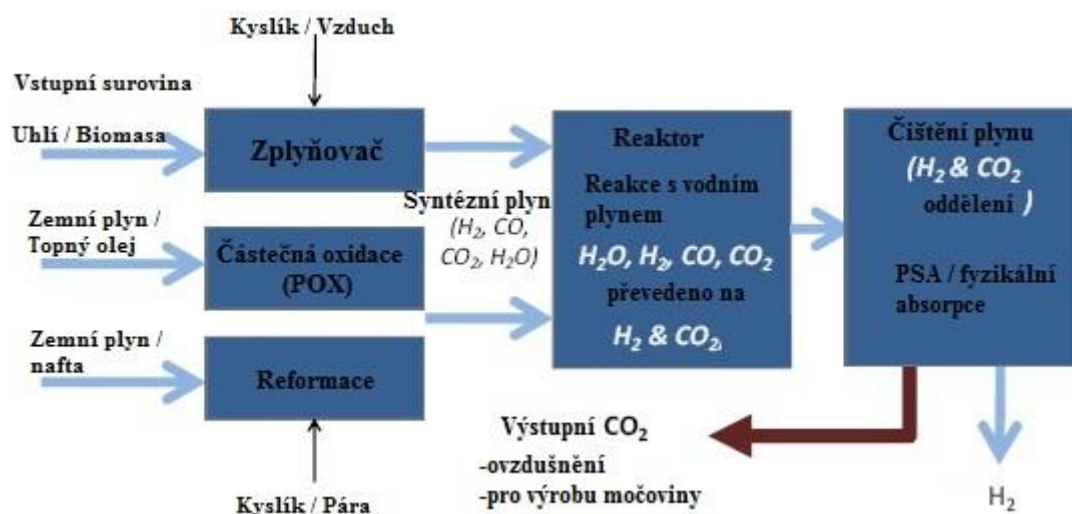
Vodík je jeden z nejrozšířenějších technických plynů v chemickém a petrochemickém průmyslu. V současnosti je průmyslově vyráběn z fosilních paliv, což ovšem množství CO₂ v zemské atmosféře nesnižuje. Proto jsou vyvíjeny nové technologie za účelem snížení produkce CO₂ [22]. Vodík jako samotné palivo je považován za obnovitelný zdroj energie. Podstatné je, že pro výrobu vodíku je možné také využít odpadní biomasu. Vodík jako palivo neprodukuje žádné škodlivé vedlejší produkty. Mezi hlavní překážky použití vodíku jako paliva řadíme potíže se skladováním a dopravou. Vodík se zdá být ideálním palivem pro budoucnost, ale bude potřeba ještě mnoho dalších výzkumných aktivit v této oblasti [23]. Mezi firmy zabývající se výzkumem a výrobou biovodíku patří například francouzská firma Biométhodes.

4.1.5.1. Výroba biovodíku:

V zásadě lze říci, že výrobu biovodíku lze realizovat dvěma způsoby. Jeden způsob je biochemický a druhý způsob je termochemický. O biochemickém způsobu lze stručně říci, že představuje velmi složité biochemické pochody. V principu se jedná o biofotolýzu vody s pomocí mikroorganismů z rodu Rhodospirillaceae [8], [24]. Termochemický způsob využívá zplynění biomasy, které již bylo popsáno detailněji v kapitole 4.1.2.1. Samotná vstupní biomasa před procesem zplynění prochází sušením nebo pyrolýzou. Postup zplynění lze provést za širokého rozsahu teplot. Takto vzniklý syntézní plyn je nutné před výrobou samotného vodíku dále upravit. V některých případech (závisí na složení vstupní biomasy) je nutné použít konverzi parním reformováním nebo parciální oxidací [8]. Dále musí být proveden proces známý jako „Water Gas Shift reaction“ (reakce s vodním plynem), při kterém je oxid uhelnatý (CO) a voda převeden na oxid uhličitý (CO₂) a vodík (H₂) [25]. Dále následuje krok čištění, při kterém je oddělen oxid uhličitý za pomocí procesu metanizace nebo s pomocí talkové absorpce (PSA). V případě metanizace musí být koncentrace nežádoucích plynů nízká. V případě užití tlakové absorpce je nutný obsah vodíku v čištěném syntézním plynu vyšší než 50% objemu. Z těchto požadavků vyplývá, že vzduch jako

zplyňovací médium je vyloučen. Používá se tedy čistý kyslík [8]. Nakonec je již vodík pouze stlačen a může být distribuován.

Obr. 8. blokové schéma výroby biovodíku z různých vstupních surovin [26]



5. Biopaliva třetí generace:

V současnosti je největší potenciál kladen na třetí generaci biopaliv. Tato generace biopaliv počítá s využitím vodních řas. Třetí generace dokáže úplně odstranit hlavní nevýhody prvních dvou. Jsou jimi požadavky na velký prostor pro pěstování a také skutečnost, že produkce dřevin může také částečně konkurovat produkci potravin [27]. Vodní řasy představují dostupnou alternativu energetického zdroje, který může produkovat velké množství biomasy a následně biopaliva [28]. Produkce tohoto druhu biomasy má ovšem proti první nebo druhé generaci biopaliv velkou výhodu v tom, že ji lze realizovat s mnohem menšími nároky na plochu nebo její kvalitu související s podnebím. Jak dále vyplynulo z výzkumných aktivit, tyto nové řasové technologie vždy nemusí souviset jen s produkcí paliva. Řasy mají také jisté schopnosti čistit odpadní vody. Řasy umí účinně odstraňovat různé druhy znečišťujících látek, jako jsou např. dusík, fosfor, draslík, oxidy dusíku, oxid křemičitý, železo a další toxické chemikálie z komunálních a průmyslových odpadních vod [28]. Nejnovější výzkumy také ukazují na další velmi zajímavou vlastnost vodních řas. Zdá se, že mohou mít i schopnosti vyrábět elektřinu. Nicméně v této oblasti zatím ještě nebyly provedeny dostatečné výzkumné aktivity. Řasy tak představují velmi nadějný alternativní udržitelný zdroj energie s vysokým potenciálem pro výrobu velkého množství biomasy [28]. Různé druhy vodních řas mohou být použity jak ve sladké, tak i mořské vodě. Ve spojení s mořskou vodou jsou vkládány naděje do pěstování v blízkosti pobřeží. Další možností je pěstovat vodní řasy v blízkosti velkých průmyslových komplexů a tak využít odpadní oxid uhličitý. U některých druhů vodních řas oxid uhličitý totiž výrazně zrychluje jejich růst. Další výhodou je, že řasy nejsou sezónní plodiny a tak mohou být sklizeny kontinuálně. Jako nejlepší možnost se jeví pěstování řas v tzv. bioreaktorech tak nedochází ke kontaminaci prostředí. Samotný bioreaktor je pro lepší představu vyobrazen na obrázku č. 9.

Obr. 9. Bioreaktor [29]

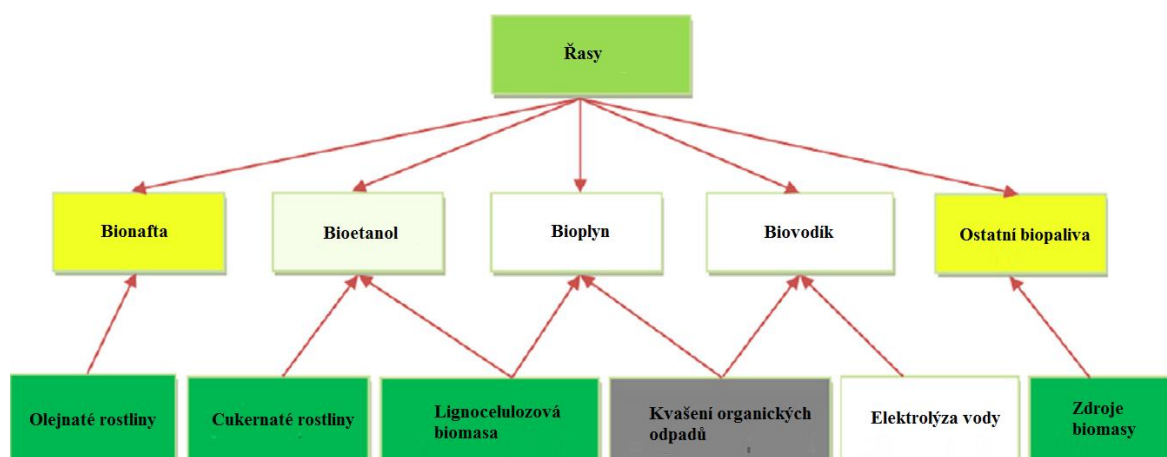


Je ovšem nutné podotknout, že pro výzkumnou a ekonomickou náročnost mohou řasy do komerční velikosti nastoupit za více než 10 – 20 let [30]. Dále lze předpokládat, že při současném rychlosti vývoje v oblasti biopaliv budou řasové technologie využívány pro mnohé další aplikace.

5.1. Možnosti biopaliv vyrobených z řas:

Složení řas je velmi rozmanité. Obsahují několik hlavních složek, především lipidy (7-23%), sacharidy (5-23%), bílkoviny (6-52%) [30]. Z těchto důvodů jsou řasy uvažovány jako univerzální vstupní surovina pro široké spektrum paliv, znázorněno na obrázku č. 10. Řasy také mohou produkovat větší množství oleje, než klasické plodiny, současně s menšími nároky na prostor.

Obr. 10. Možnosti výroby biopaliv z řas [31]



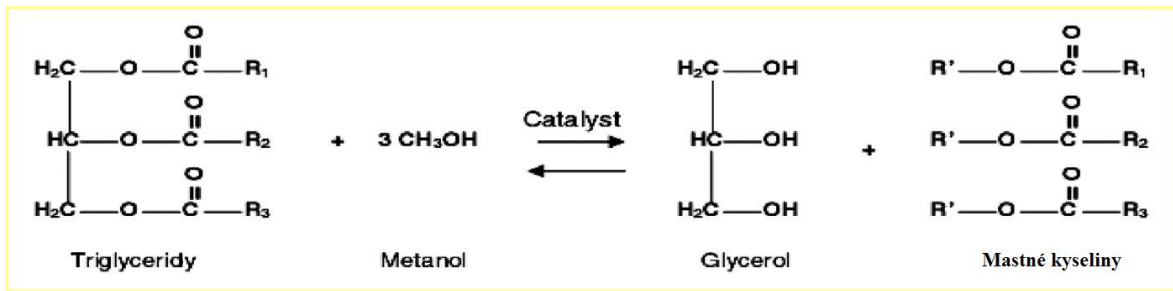
5.1.1. Bionafta:

Bionafta vyráběná z řas neobsahuje žádnou síru a zároveň může být v dnešních motorech použita bez dramatických úprav samotného motoru. Její používání může významně snížit emise pevných částic, CO a uhlovodíků. Produkce velkého množství bionafty z řas je v současnosti považována za nejvíce udržitelnou možnost. Samotný proces výroby bionafty z řas je velmi podobný výrobě z řepky a dalších potravinových plodin. Tento proces byl již rámcově naznačen v kapitole 3.1.1.1. Výroba MEŘO. V této kapitole tedy detailně popíší pouze dva nejzásadnější kroky pro výrobu bionafty z řas. Extrakci z biomasy a převedení extrahovaného oleje z řas na finální palivo (transesterifikaci).

Během extrakce musí být lipidy a mastné kyseliny extrahovány ze vstupní biomasy. Extrakce může být provedena více postupy, například lisováním, s pomocí ultrazvuku, rozpouštědly, soxhletovou extrakční metodou nebo metodou superkritické tekutiny [32]. Při použití rozpouštědel jako např. hexan etanolu může být získáno až 98% vyčištěných mastných kyselin. V současnosti je nejvíce rozšířená soxheltova metoda, která využívá pro rozpouštění hexanu po dobu cca 4h. Dále následuje separace oleje od extraktů destilace [33]. V současnosti se výzkum zaměřuje na možnosti použití ultrazvuku nebo mikrovln za účelem zefektivnění samotného procesu extrakce.

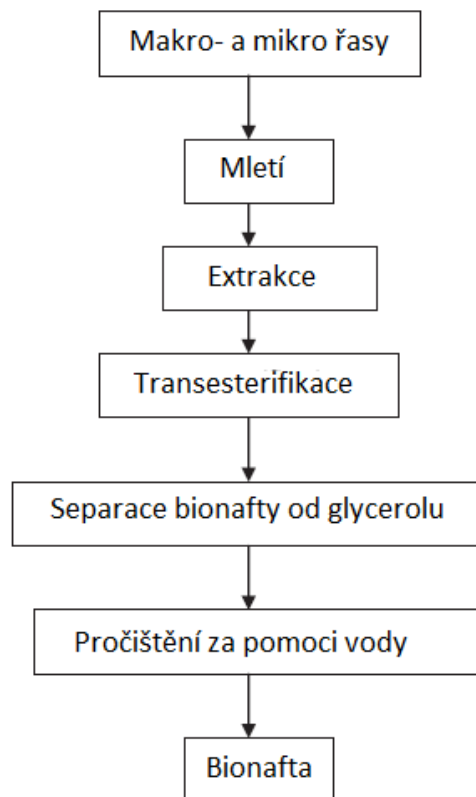
Po procesu extrakce následuje proces transesterifikace. Jedná se o chemickou reakci, kdy ve třech po sobě jdoucích krocích je vytvořena bionafta a jako vedlejší produkt glycerol. Tato chemická transesterifikační reakce je popsána v rovnici na obrázku č. 11.

Obr. 11. Transesterifikace oleje na bionaftu [34]



Dále jsou již provedeny pouze procesy separace bionafty od glycerolu, pročištění za pomoci teplé vody od zbytků mýdel a dalších nečistot. Celý výrobní postup je znázorněn na obrázku č. 12.

Obr. 12. Blokové schéma produkce bionafty z řas [35]



5.1.1.1. Jednotlivé kmeny řas:

V současnosti uváděné jednotlivé kmeny řas s potenciálem na využití ve výrobě bionafty:

Tab. 5. Jednotlivé druhy řas [35]

Druh	Obsah oleje
Ankistrodesmus TR-87	28-40
Botryococcus braunii	29-75
Chlorella sp.	28-32
Cyclotella DI-35	42
Cylindrotheca sp.	16-37
Dunaliella tertiolecta	36-42
Hantzschia DI-160	66
Isochrysis sp.	7-33
Nannochloris	20-63
Nannochloropsis	31-68
Nitzschia sp.	45-47
Nitzschia TR-114	28-50
Phaeodactylum tricornutum	31
Scenedesmus TR-84	45
Schizochytrium sp.	50-77
Stichococcus	33(9-59)
Tetraselmis suecica	15-32
Thalassiosira pseudonana	(21-31)

5.1.2. Bioetanol:

Jak již bylo řečeno, výroba bioetanolu není tak úplně bezproblémová. U první generace je nejpálčivějším problémem konkurence k výrobě potravin. Druhá generace je zase obtížně zpracovatelná (především energetická náročnost), což vede opět k vysokým nákladům. Třetí generace bioetanolu z řas má proti předchozím generacím několik pozitivních specifík. Velkou výhodou řas je, že řasy jsou z velké části tvořeny polysacharidy s velmi nízkým obsahem ligninu, což celý proces úpravy na bioetanol výrazně usnadňuje. Není proto potřeba louhování v kyselině apod. Další výhodou řas například proti dřevnímu odpadu je skutečnost, že složení řasy je velmi stejnorodé. Tedy neobsahují žádné stonky, kořeny ani listy [31]. Dále pak složení některých kmenů řas je velmi příznivé pro výrobu bioetanolu. Řasy mohou obsahovat i více než 50% škrobu a glykogenu. Některé prameny uvádí jako

možnost i použití části řas z výroby bionafty pro vstup do procesu fermentace. Samotná výroba bioetanolu je zatím stále v počátečních fázích výzkumu. Nadále probíhají další výzkumy jak v oblasti genetického inženýrství, tak jsou nadále zkoumány možnosti zefektivnění výroby bioetanolu. Stále jsou ověřovány výhody a nevýhody řasové technologie pro produkci bioetanolu. Jednotlivé výrobní procesy jsou rámcově podobné jako u výroby v prvních dvou generacích biopaliv. Záleží tak na typu vstupní biomasy. V ČR vzniklo specializované pracoviště pro výzkum řasových biotechnologií v Třeboni. Centrum má název ALGATECH a je zaměřeno především na výzkum v oblasti sledování základních životních procesů, které probíhají v řasách a sinicích, a na řasové biotechnologie [36].

5.1.2.1. Jednotlivé kmeny řas:

Některé v současnosti uváděné kmeny řas s potenciálem pro využití při výrobě bioetanolu:

Tab. 6. Jednotlivé druhy řas [31]

Druh	Výnos etanolu (g etanolu / g substrátu)
Kappaphycus alvarezii	0,457
Gracilaria verrucosa	0,430
Saccharomyces cerevisiae	0,259
Chlorococum humicolo	0,520
Chlorella vulgaris	0,400
Chlorococum sp.	0,383
Chlorococum infusionum	0,260
Gelidium amansii	0,888
Chlamydomonas reinhardtii	0,240

5.1.3. Bioplyn:

Samotná výroba bioplynu je již velmi stará technologie. Bioplyn se začal vyrábět na přelomu 19. a 20. století. Tehdy se produkoval z kalů splaškových čistíren odpadních vod. Dříve byl bioplyn (označovaný jako kalový plyn) využíván především k vytápění a svícení v samotných provozech čistíren odpadních vod [37]. Třetí generace bioplynu z řas může také snižovat rizika znečišťování vodních ekosystémů. Technologie anaerobní digesce, která je v současnosti již dobře vyzkoušená a zavedená pro výrobu bioplynu má ovšem stejnou nevýhodu jako první dvě generace biopaliv. Její vstup, tedy biomasa pochází především ze

zemědělské výroby. Řasy, případně jejich zbytky, mají na rozdíl od zemědělsky produkované biomasy, velký potenciál pro produkci bioplynu. Zbytky řas, které zůstanou po extrakci lipidů, například při výrobě bionafty, mají právě zde velký potenciál na další využití. Dále mohou být recyklovány živiny vzniklé při anaerobní digesci ve smyslu podpoření růstu řas. Efektivita samotné výroby bioplynu z řas silně závisí na druhu řas a stupni jejich předčištění [31]. Obvykle je udávána výnosnost bioplynu 0,5 litru z 1 kg suché hmotnosti řas. V současnosti je výroba bioplynu z řas stále obchodně neuplatnitelná, protože nejvíce energie na jeho výrobu spotřebuje vyhřívání fermentoru, což vyžaduje více půdní plochy a zařízení při výrobě plynu z řas jako biopaliva, oproti výrobě bionafty z řas. Dále čas potřebný pro ideální průběh fermentace je uváděn v průměru okolo 25 dnů. To má také ve velkém měřítku vliv na náklady. Cestou ke snížení nákladů může být vylepšení procesu předúpravy samotné biomasy, tak aby byl snížen odpor buněčné stěny. V současnosti je větší evropská průmyslová produkce velmi nejistá [38].

5.1.3.1. Jednotlivé kmeny řas:

V současnosti uváděné kmeny řas s potenciálem pro využití při výrobě bioplynu:

Tab. 7. Jednotlivé druhy řas [31]

Druh	Výnos	Obsah metanu (%)
Scenedesmus obliquus	0.240 L CH ₄ g ⁻¹ VS	
Phaeodactylum tricornutum	0.360 L CH ₄ g ⁻¹ VS	
Chlorella vulgaris	0.375L CH ₄ g ⁻¹ S	
Blue algae from Taihu Lake, China	0.190 L g ⁻¹ VS	36,7
Chlamydomonas reinhardtii	0.587 L g ⁻¹ VS	-
Macrocystis pyrifera	0.180 L g ⁻¹ S	65
Durvillea antarctica	0.180 L g ⁻¹ S	65
Chroococcus sp.	0.401-0,487 L CH ₄ g ⁻¹ VS	52,0-54,9

L g⁻¹ VS znamená litr na gram těkavých pevných látek.

L g⁻¹ S znamená litr na gram pevných látek

5.1.4. Biovodík:

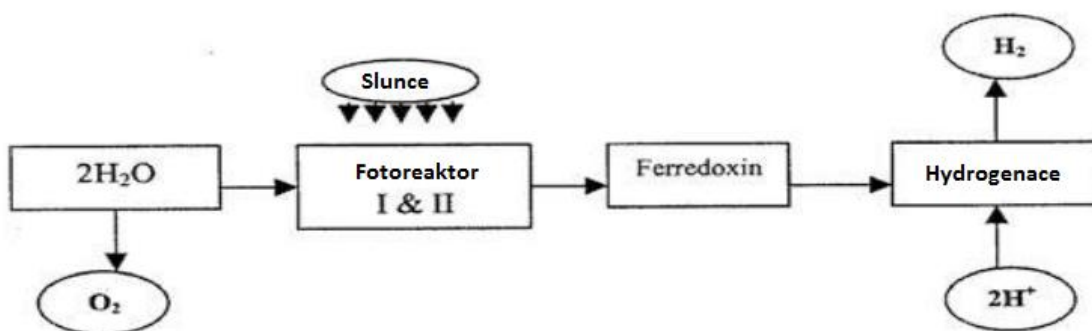
Biovodík má obrovský potenciál jako čistý a obnovitelný zdroj energie. Hlavním produktem jeho spalování je voda bez jakýchkoliv znečišťujících látek (např. oxidy síry, oxidy dusíku, popel apod..) [39]. V současnosti je vodík vyráběn pomocí procesu parní reformace

z fosilních paliv (ropa a uhlí). Elektrolýza vody, která je také možná, má ovšem nevýhodu v celkové rozvaze energie dodané a získané [31]. Vodík má mnoho dalších využití nejen jako palivo. Dále se v současnosti používá na výrobu amoniaku, v petrochemickém průmyslu, ve výrobě metanolu, v raketové technice atd. Objev, že řasy mohou produkovat vodík, učinil vědec německého původu Dr. Hans Gaffron v roce 1942 [39]. K výrobě biovodíku řasy používají pouze slunečního záření a vody v uzavřeném kultivačním systému bez přístupu kyslíku. Řasy mohou pomocí fotosyntézy rozdělit dvě molekuly vody na jednu molekulu kyslíku a čtyři ionty vodíku, které mohou být převedeny do dvou molekul vodíku přes hydrogenační enzym [31]. Podle rovnice (5.1) [39].



Nejznámější druhy řas produkující vodík jsou *Scenedesmus obliquus*, *Playtmonas subcordiformis*, *Scenedesmus sp.*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorococcum littorale* a *Chlorella fusca* [31], [39]. Proces výroby přibližuje blokové schéma na obrázku č. 13.

Obr. 13. Blokové zjednodušené schéma produkce biovodíku z řas [39]



Produkce biovodíku v hromadném měřítku je v současnosti velmi obtížná. Hlavní limitující faktor pro velkovýrobu biovodíku je nedořešenost metody výroby a malá výtěžnost současných druhů řas. Vědecká pozornost se tedy ubírá směrem optimalizací výrobních procesů a genetické modifikace řas pro zvýšení výtěžnosti. Výroba biovodíku je stále na cestě ke své komercializaci. Její pokračující vývoj svědčí o tom že biovodík má potenciál být palivem budoucnosti.

5.1.5. Ostatní řasová biopaliva:

Z řas mohou být vyráběna i jiná paliva, než ve výše uvedených kapitolách. S pomocí odpovídajících metod zahrnujících termochemické, biochemické a chemické procesy může být vyroben bio olej, syntézní plyn, bio butanol, letecké palivo a další.

- Například bio butanol může v některých motorech nahradit benzín nebo být míchán s benzinem. Taková to směs dává lepší výkon a také je lépe korozivzdorná, než jak je tomu v případě etanolu [31].

- Bio olej je syntetické kapalné palivo, které je vyráběno zpracováním biomasy v reaktoru pomocí vysoké teploty a za nepřítomnosti kyslíku. Může být taktéž použit v motoru bez úprav nebo jako směsné palivo. Jeho výroba může být realizována pyrolýzou nebo s pomocí termochemického zkapalňování [31].

- Syntézní plyn je vyráběn procesem zplyňování biomasy. Jeho složení a postup výroby byl již detailně popsán v kapitole 4.1.2. Biomasu z řas je tedy možné výhodně integrovat do stávající výrobní infrastruktury.

-Letecké palivo vyrobené z řas, nebo spíše, jeho směs založená na řasách bohatých na olej, se také jeví jako jedno z možných alternativních paliv pro komerční využití.

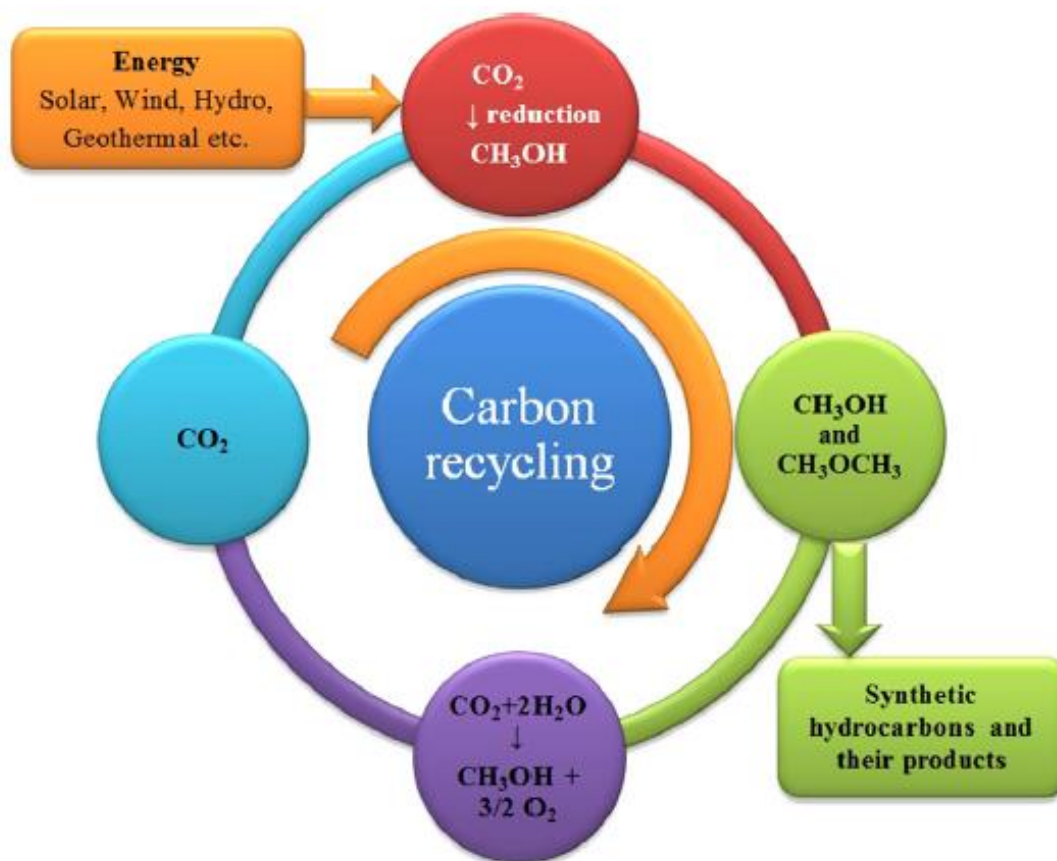
6. Biopaliva čtvrté generace:

Čtvrtá generace biopaliv představuje zatím poslední a nejmodernější generaci biopaliv. Tato generace je prozatím stále ve stádiu intenzivních výzkumů a ověřovacích prací. Biopalivo čtvrté generace je definováno jako palivo, které je vyráběno ze zachyceného uhlíku z ovzduší. Za pomoci nejmodernějších technologií [40]. Jako jednotlivé technologie jsou v zahraniční literatuře zmiňovány například: hydro zpracování ropy, pokročilé biochemické technologie nebo různé elektrochemické procesy. Zdrojem biomasy mohou být stále řasy. Vstupní biomasa je i nadále klíčová pro absorpci CO₂ během jejího pěstování. Například Demirbas definuje čtvrtou generaci jako biopaliva, vznikající s pomocí konverze rostlinného oleje a bio-nafty na bio benzín s použitím nejmodernějších technologií [41]. Podstatná je myšlenka, že čtvrtá generace má mít rozdílný způsob absorpce CO₂, než dvě předchozí generace. Popisovány jsou dva způsoby, jak toho je možné dosáhnout. Současné tempo vývoje v této oblasti je velmi rychlé. Také biopaliva jako samostatné téma k diskuzi jsou značně aktuální.

6.1. První uvažovaná cesta k výrobě čtvrté generace biopaliv:

Nutno podotknout, že při současném stavu poznání biopaliv, jsou prozatím popisovány dvě potenciální metody pro čtvrtou generaci. První z nich je možnost zachytit uhlík produkovaný průmyslovými zdroji CO₂ pomocí elektrochemických procesů do vody [40] a z ní vyrábět metanol. Energie, která je potřebná pro samotnou výrobu, by měla být dodávána z obnovitelných zdrojů. Tato metoda počítá s využitím elektrolytického krakování a katalytické syntézy. Takto vyrobený metanol bude nákladově efektivní, takřka bezemisní a použitelný pro výrobu bionafty. Cyklus recyklace CO₂ při výrobě obnovitelného metanolu je popsán obrázkem č. 14.

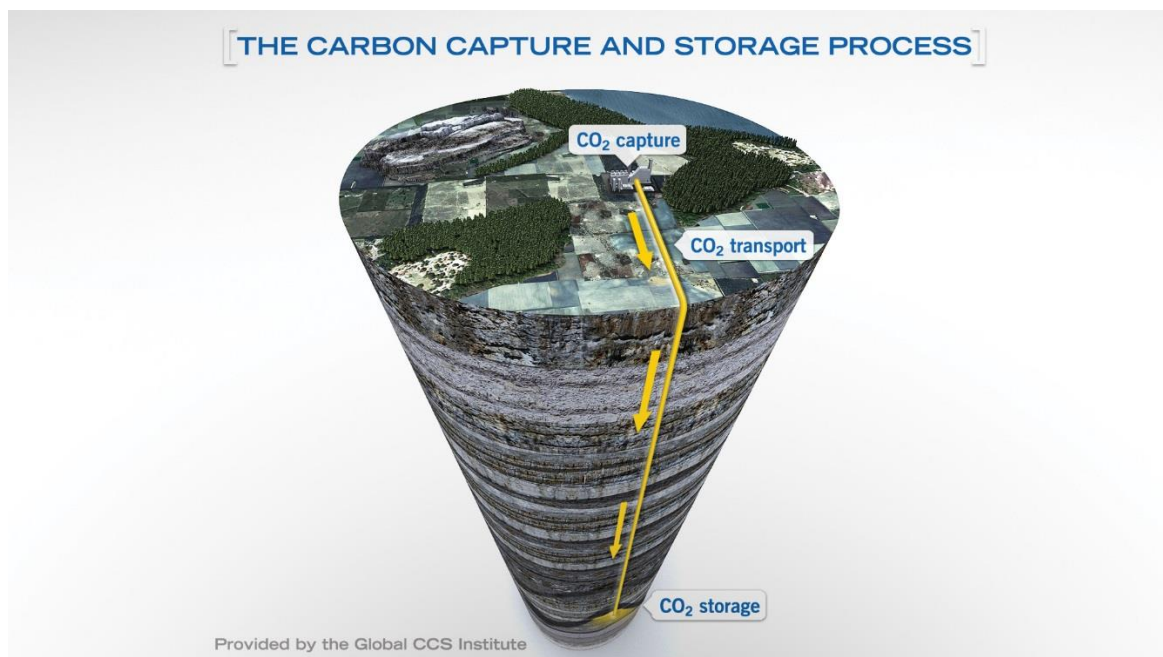
Obr. 14. Cyklus recyklace CO_2 při výrobě obnovitelného metanolu [43]



6.2. Druhá uvažovaná cesta k výrobě čtvrté generace biopaliv:

Druhou možností je zachycený CO_2 ukládat do starých, již vytěžených ložisek ropy a plynu. Takto může být dosaženo nejen produkce uhlíkově neutrální, ale i takřka negativní produkce uhlíku. Cílem by mělo být, aby při samotné výrobě bylo odebíráno z životního prostředí více uhlíku, než je vůbec produkováno. Bývá uváděno, že tento systém nejen zachycuje a ukládá CO_2 z atmosféry, ale také snižuje emise CO_2 z důvodu nahrazování fosilních paliv biopalivem [42]. Myšlenku zachycování CO_2 během výroby biopaliva, či jiné průmyslové aktivity znázorňuje obrázek č. 15.

Obr. 15. Proces zachycení a skladování CO₂ [44]



7. Očekávaný vývoj a doporučení:

Světová produkce biopaliv v poslední dekádě stále stabilně roste. Některé informační zdroje hovoří o tom, že biopaliva zaujímají již okolo 3% z celkového objemu paliv pro dopravu ve světě. Což je jasný signál k tomu, že biopaliva mohou hrát důležitou roli, pokud lidstvo chce nějak významně snížit emise CO₂ z dopravy. Největšími hráči na trhu s biopalivy jsou USA a Brazílie. Na jednu stranu se jeví jako dobrá zpráva rostoucí zájem jednotlivých států o používání biopaliv. Na druhou stranu je nutné upozornit, že velká většina dnešních biopaliv pochází z první generace biopaliv, která, jak již bylo výše uvedeno, má svá značná negativa. V blízké budoucnosti by měla být již reálně dopracována na komerční úroveň druhá generace, která některé nešvary první generace potlačuje. Velkou výzvou pro další výzkumné činnosti je bezesporu myšlenka vodíkového pohonu. Vodík je tedy opravdovým bezkonkurenčním palivem pro budoucnost. Ovšem pouze za předpokladu, že se podaří účinně vyřešit problémy s tím spojené. V souvislosti s třetí generací biopaliv z řas se pozornost zaměřuje také na možnosti genetického inženýrství. Takto by pomocí různých modifikací řasových organismů mohla být zvýšena účinnost výroby, případně snížena technologická náročnost výroby. Z ekonomického hlediska je nutné počítat s tím, že všechna „náhradní“ řešení náhrad fosilních paliv budou technologicky náročnější, než dlouhodobě zaběhnuté systémy těžby, zpracování, logistiky i využití současných tekutých paliv [45]. Také je velmi důležité si uvědomit, že výroba biopaliv po celém světě může být náročná z důvodu rozdílných vstupních podmínek jednotlivých producentů. Biopaliva zřejmě nebudou schopná nahradit ropná paliva a ropu jako takovou v celém jejím rozsahu. Názory odborné i laické veřejnosti na biopaliva se dnes velmi různí. Vědecká obec také není úplně jednotná ve svých postojích. V některých publikacích renomovaných odborníků lze nalézt značně negativní názory na biopaliva jako celek, ale i naopak pozitivní ohlasy. Částečně to může pramenit z obav vyvolaných špatnými zkušenostmi z nedávné minulosti, aby se v jádru dobrá myšlenka využití biopaliv nestala předmětem zájmu různých lobbystických skupin, u nichž by pak docházelo k snahám vytvořit z biopaliv pouze dobrý obchodní artikl a zdroj pro příjem dotací. Biopaliva by přitom mohla lidstvu pomoci snadněji překlenout dobu potřebnou na přechod z paliv na ropné bázi na jiná paliva jako např. vodík či něco dalšího.

8. Závěr:

Při psaní své bakalářské práce jsem se zaměřil na shrnutí současných možností a zkušeností o výrobě biopaliv. Na začátku práce jsem byl nucen uvést i první generaci biopaliv z důvodů podobnosti výrobních postupů u dalších generací. U druhé generace, která začíná být poslední dobou čím dál aktuálnější. Bylo vidět, že podkladů pro mou práci je dost a přehledných. Myšlenka této generace se mi líbila. Myslím si, že je velmi dobrý nápad zužitkovávat pro biopaliva odpadních produktů zemědělské nebo lesní výroby. Z vlastní zkušenosti můžu říci, že ve Švédsku, které je jednou z předních zemí na poli výzkumu biopaliv, ze zbytků lesní výroby je bioetanol nebo jeho vysokoprocenní směs velmi dobře dostupná u většiny čerpacích stanic. Například o České republice se bohužel toto říci nedá.

Při psaní samotného jádra práce tedy druhé a třetí generace jsem již musel vycházet velkou měrou z podkladů v anglickém jazyce, uveřejňovaných v nejrůznějších vědeckých časopisech. U v současnosti poslední, čtvrté generace biopaliv, odpověď už tak jednoduchá není. Tato generace je, dalo by se říci, opravdu horkou novinkou, která je momentálně ve stádiu studií, tudíž zdrojů o ní pojednávajících není mnoho. Práci jsem se snažil prokládat i zajímavými historickými souvislostmi, na kterých je vidět, že biopaliva nejsou nová myšlenka a tím pádem zázrak či výmysl moderní doby. Například pokud by se podařilo dopracovat na komerční úroveň použití řasové technologie, v souvislosti s uvažovaným příbřežním pěstování. Nedošlo by tak k jakémukoliv záboru půdy. To by znamenalo obrovský pokrok v cestě za obnovitelným palivem. Hlavní přínos své práce spatřuji především v uceleném zhodnocení současných možností u jednotlivých generací biopaliv. Dále jsem se snažil objektivně zhodnotit jak klady, tak i zápory jednotlivých paliv. Dalším možným přínosem, který spatřuji ve své bakalářské práci je snaha o zmapování postupů při výrobě biopaliv. Jsem přesvědčen, že biopaliva jako celek rozhodně najdou své uplatnění v širokém spektru aplikací, a zároveň nám ještě budou mít do budoucna co nabídnout.

9. Seznam zdrojů použitých při zpracování práce:

- [1] Zdroj: DIVIŠ, JOSEF Ing., Biopaliva frčí (nejen) v Čechách již více než sto let; [online] cit. [30.11.2014]; dostupné z <http://biom.cz/cz-kapalna-biopaliva/odborne-clanky/biopaliva-frci-nejen-v-cechach-jiz-vice-nez-sto-let>
- [2] Zdroj: dostupné z <http://biom.cz/cz/legislativa/fyto-legislativa/37-2008-sb>
- [3] Zdroj: dostupné z <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:cs:PDF>
- [4] Zdroj: Jan Hromádko, Jiří Hromádko, P. Miler, V. Hönig, a M. Cindr, TECHNOLOGIE VÝROBY BIOPALIV DRUHÉ GENERACE; [online] cit. [16.2.2015]; dostupné z http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_08_784-790.pdf
- [5] Zdroj: Bc. Jiří Honzírek, Vliv fyzikálních vlastností paliva na tvorbu směsi – Diplomová práce; [online] cit. [17.2.2015]; dostupné z <http://is.mendelu.cz/zp/index.pl?podrobnosti=49309;lang=cz>
- [6] Zdroj: Jan Hromádko, Speciální spalovací motory a alternativní pohony; [online] cit. [18.2.2015]; dostupné z <https://www.google.cz/search?hl=cs&tbo=p&tbm=bks&q=isbn:8024744554>
- [7] Zdroj: Ing. Martin Rosol, Likvidace výpalků z výroby biolihu; [online] cit. [19.2.2015]; dostupné z <http://chps.fsid.cvut.cz/pt2010/pdf/RosolMartin.pdf>
- [8] Zdroj: Prof. Ing. Gustav Šebor, CSc., Doc. Ing. Milan Pospíšil, CSc., Ing. Jan Žákovec, Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě; [online] cit. [20.2.2015]; dostupné z http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoekonomicka_analyza_vhodnych_alternativnich_paliv_v_dopravec_cast_1.pdf
- [9] Zdroj: Josef Laurin, Étery získávané z biomasy jako alternativní automobilová paliva; [online] cit. [20.2.2015]; dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/etery-ziskavane-z-biomasy-jako-alternativni-automobilova-paliva>
- [10] Zdroj: Mojmír Štěrba, Biopaliva druhé generace vyráběná z lignocelulózy; [online] cit. [26.2.2015]; dostupné z <http://proatom.luksoft.cz/view.php?cislocclanku=2008020601>

- [11] Zdroj: dostupné z <http://www.sekab.se/kontakt/>
- [12] Zdroj: dostupné z
http://www.homerlive.cz/special_tydne/chemopetrol_vyznamny_partner_regionu.html
- [13] Zdroj: dostupné z <http://www.biofuelstp.eu/btl.html>
- [14] Zdroj: dostupné z http://www.velocys.com/our_products_applications_btl.php
- [15] Zdroj: dostupné z <http://www.choren.com/en/>
- [16] Zdroj: dostupné z <http://www.biofuelstp.eu/methanol.html>
- [17] Zdroj: dostupné z
<http://www.varmlandsmetanol.se/dokument/Hemsidan%202013%20juli.pdf>
- [18] Zdroj: Hitoshi Nakagawa et al., Biomethanol Production from Forage Grasses, Trees, and Crop Residues; [online] cit. [6.3.2015]; dostupné z
<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/17503.pdf>
- [19] Zdroj: dostupné z <http://www.biodme.eu/about-dme>
- [20] Zdroj: dostupné z <http://www.biodme.com/bioDME-Production.html>
- [21] Zdroj: dostupné z <http://www.elobio.eu/biofuels/bio-dme/>
- [22] Zdroj: dostupné z
<http://www.biohydrogen.nl/publicpage.m?key=hydrogenfrombiomass&trail=/hydrogenfrombiomass>
- [23] Zdroj: Joshua D. Mackaluso, The use of syngas derived from biomass and waste products to produce ethanol and hydrogen; [online] cit. [8.3.2015]; dostupné z
<http://large.stanford.edu/courses/2011/ph240/demori2/docs/236-1576-1-PB.pdf>
- [24] Zdroj: Richard J. Resnick, The Economics of Biological Methods of Hydrogen Production; [online] cit. [9.3.2015]; dostupné z
<http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/17885/56664022.pdf>
- [25] Zdroj: Najafpour G, Younesi H, Mohamed AR, Effect of organic substrate on hydrogen production from synthesis gas using *Rhodospirillum rubrum*, in batch culture;

cit. [9.3.2015]; dostupné z Biochemical Engineering Journal, Volume 21, Issue 2, October 2004, Pages 123-130

[26] Zdroj: dostupné z <http://decarboni.se/publications/carbon-capture-and-storage-industrial-applications-technology-synthesis-report/31-high>

[27] Zdroj: Schenk PM, Thomas-Hall SR, Stephens E, Marx UC, Mussgnug JH, Posten C, et al., Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production; cit. [10.3.2015]; dostupné z BioEnergy Research March 2008, Volume 1, Issue 1, pp 20-43.

[28] Zdroj: Jyoti Prakash Maity, Chia-Peng Hou, Dip Majumder et al., The production of biofuel and bioelectricity associated with wastewater treatment by green algae; cit. [10.3.2015]; dostupné z Energy, Volume 78, 15 December 2014, Pages 94-103

[29] Zdroj: dostupné z <http://www.folkecenter.net/gb/rd/biogas/biomass-energy-crops/algae/>

[30] Zdroj: Milan Vitvar, Vyspělá biopaliva v dopravě; cit. [12.3.2015]; dostupné z <http://www.cappo.cz/res/data/000145.pdf>

[31] Zdroj: L.D. Zhu et al., Microalgal biofuels: Flexible bioenergies for sustainable development; cit. [12.3.2015]; dostupné z Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 30, February 2014, Pages 1035-1046

[32] Zdroj: dostupné z www.oilgae.com

[33] Zdroj: Najafi G, Ghobadian B, Yusaf TF: Algae as a sustainable energy source for biofuel production in Iran: A case study; cit.[15.3.2015]; dostupné z Renew Sustain Energy Rev 2011;15:3870–6.

[34] Zdroj: Demirbas A: Recent developments in biodiesel fuels; cit. [16.3.2015]; dostupné z International Journal of Green Energy, Volume 4, Issue 1, 2007, pp15–26.

[35] Zdroj: Demirbas A: Biodiesel from oilgae, biofixation of carbon dioxide by microalgae: A solution to pollution problems; cit. [16.3.2015]; dostupné z Applied Energy, Volume 88, Issue 10, October 2011, Pages 3541-3547.

[36] Zdroj: dostupné z <http://www.alga.cz/c-34-o-centru.html>

- [37] Zdroj: <http://oze.tzb-info.cz/biomasa/5610-historie-a-perspektivy-oze-biopllyn>
- [38] Zdroj: Adam D Hughes, Maeve S Kelly, Kenneth D Black and Michele S Stanley: Biogas from Macroalgae: is it time to revisit the idea? ; cit. [18.3.2015]; dostupné z <http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/pdf/1754-6834-5-86.pdf>
- [39] Zdroj: Sharma Shaishav, Singh R.N. and Tripathi Satyendra: Biohydrogen from Algae: Fuel of the Future; cit. [19.3.2015]; dostupné z <http://www.isca.in/IJENS/Archive/v2/i4/10.ISCA-IRJEvS-2013-068.pdf>
- [40] Zdroj: A.K. Azad, M.G. Rasul, M.M.K. Khan, Subhash C. Sharma, M.A. Hazrat: Prospect of biofuels as an alternative transport fuel in Australia; cit. [20.3.2015]; dostupné z Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 43, March 2015, Pages 331-351
- [41] Zdroj: M. Fatih Demirbas: Biorefineries for biofuel upgrading: a critical review; cit. [20.3.2015]; dostupné z Applied Energy, Volume 86, Supplement 1, November 2009, Pages S151-S161
- [42] Zdroj: dostupné z <http://energyfromwasteandwood.weebly.com/generations-of-biofuels.html>
- [43] Zdroj: Olah, G.A., Goepfert, A., Prakash, G.K.S.: Chemical recycling of carbon dioxide to methanol and dimethyl ether: From greenhouse gas to renewable, environmentally carbon neutral fuels and synthetic hydrocarbons; cit. [21.3.2015]; dostupné z The Journal of Organic Chemistry, Volume 74, Issue 2, Pages 487-498
- [44] Zdroj: dostupné z <http://www.globalccsinstitute.com/content/information-resources>
- [45] Zdroj: dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/o-budoucnosti-biopaliv>

10. Seznam tabulek použitých při zpracování práce:

Tab. 1. porovnání parametrů motorové nafty a MEŘO.		str. 14
Tab. 2. porovnání parametrů bioetanolu, automobilového benzínu a motorové nafty	[6]	str. 16
Tab. 3. Vlastnosti MTBE a ETBE	[9]	str. 19
Tab. 4. porovnání parametrů DME a dalších paliv	[19]	str. 27
Tab. 5. Jednotlivé druhy řas	[35]	str. 34
Tab. 6. Jednotlivé druhy řas	[31]	str. 35
Tab. 7. Jednotlivé druhy řas	[31]	str. 36

11. Seznam obrázků použitých při zpracování práce:

Obr. 1. Blokové schéma výroby MEŘO	[6]	str. 15
Obr. 2. Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry	[6]	str. 18
Obr. 3. Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob	[6]	str. 19
Obr. 4. obecné blokové schéma výroby bioetanolu z lignocelulozové biomasy	[8]	str. 23
Obr. 5. obecné blokové schéma výroby syntetické motorové nafty	[15]	str. 24
Obr. 6. vstupní surovina pro výrobu biometanolu	[17]	str. 25
Obr. 7. blokové schéma výroby biometanolu	[18]	str. 26
Obr. 8. blokové schéma výroby biovodíku z různých vstupních surovin	[26]	str. 29
Obr. 9. Bioreaktor	[29]	str. 31
Obr. 10. Možnosti výroby biopaliv z řas	[31]	str. 32
Obr. 11. Transesterifikace oleje na bionaftu	[34]	str. 33
Obr. 12. Blokové schéma produkce bionafty z řas	[35]	str. 33
Obr. 13. Blokové zjednodušené schéma produkce biovodíku z řas	[39]	str. 37
Obr. 14. Cyklus recyklace CO ₂ při výrobě obnovitelného metanolu	[43]	str. 40
Obr. 15. Proces zachycení a skladování CO ₂	[44]	str. 41

12. Použité zkratky:

Zkratka	Mezinárodní význam	Český význam
AB	Aktiebolag	Společnost s ručením omezeným
Bi-Bo-Li	-	benzín, benzol, líh
BioETBE	-	Bioethyltercbutylether
BioETBE	Bio Ethyl tert-butyl ether	Bioethyltercbutyléter
BTL	Biomass-to-liquids	Zkapalnění biomasy
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	Sucrose	Sacharóza
C ₂ H ₅ OH	Ethanol	Etanol
C ₄ H ₈	Isobuten	Isobuten
C ₆ H ₁₀ O ₅	Cellulose	Celulóza
C ₆ H ₁₂ O ₆	Glucose	Glukóza
CFFP	-	Filtrovatelnost za chladu
CO	Carbon monoxide	Oxid uhelnatý
CO ₂	Carbon dioxide	Oxid uhličitý
Cu	Copper	Měď
ČSN	-	Česká státní norma
ČSR	Czechoslovakia	Československá republika
ČSSD	-	Česká strana sociálně demokratická
DME	Dimethyl ether	Dimetyléter
DPH	VAT-Value added tax	Daň z přidané hodnoty
Dr.	Doctor	Doktor
E5	-	Směs 95% benzínu a 5% bioetanolu
E85	-	Směs 85% bioetanolu a 15% benzínu
FAME	Fatty-acid-Methyl-Ester	Metylester mastných kyselin
FFV	Flexible fuel vehicles	Vícepalivová vozidla
FT syntéza	Fischer-Tropsch Synthesis	Fischer – Tropschova syntéza
Ga	Germanium	Germánium
H ₂	Hydrogen	Vodík
H ₂ O	Water	Voda
CH ₃ OH	Methanol	Metanol
CH ₄	Methan	Metan
IKL	-	Ingolstadt – Kralupy nad Vltavou – Litvínov
KDU- ČSL	-	Křesťanská a demokratická unie – Československá strana lidová
kg/m ⁻³	Density	Kilogram na metr krychlový
L g ⁻¹ S	Liter per gram of solids	Litr na gram pevných látek

L g ⁻¹ VS	Liter per gram of volatile solids	Litr na gram těkavých pevných látek
LPG	Liquid petrol gas)	Zkapalněný ropný plyn
MEŘO	Rapes-Methyl-Ester	Metylester řepkového oleje
MJ/kg	-	Energetický obsah
MPa	Megapascal	Jednotka tlaku (megapascal)
MTBE	Methyl tert-butyl ether	Metyl-terc.-butyléter
N ₂	Nitrogen	Dusík
O ₂	Oxygen	Kyslík
OČ	Octane number	Oktanové číslo
ODS	-	Občanská demokratická strana
PSA	-	Tlaková absorpce
Q	Heat	Teplo
Sb.	-	Sbírka zákonů
SME	Sunflower-Methyl-Ester	Metylester slunečnicového oleje
SMN	-	Směsná motorová nafta
SOME	Soya-Methyl-Ester	Metylester ze sójových bobů
SSSR	-	Svaz sovětských socialistických republik
TTD	Thurn-Taxis Dobrovice	Thurn-Taxis Dobrovice
USA	Spojené státy americké	Spojené státy americké
VUOME	Vaste Used Oil-Methyl-Ester	Metylester z použitých fritovacích olejů
Zn	Zinc	Zinek
Zr	Zirconium	Zirkonium