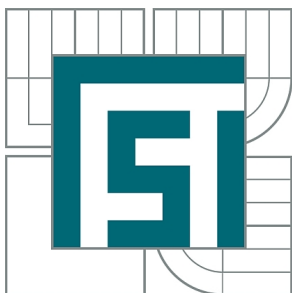




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

VYUŽITELNOST ALTERNATIVNÍCH PALIV V LETECKÉ DOPRAVĚ

THE USE OF ALTERNATIVE FUELS IN THE AIR TRANSPORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. DAVID DVORSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ NASTÁLEK

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. David Dvorský

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Letecký provoz (3708T011)**

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 diplomové práce:

Využitelnost alternativních paliv v letecké dopravě

v anglickém jazyce:

The use of alternative fuels in the Air Transport

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracujte analýzu využitelnosti alternativních paliv v letecké dopravě a posuďte celkovou připravenost technologie napříč letectvím, tj. od všeobecného letectví, přes hromadnou leteckou dopravu nákladu a osob, až po dopravu vrtulníky.

Cíle diplomové práce:

Celkový přehled dostupných paliv v letectví a jejich možných alternativ.

Ekonomika provozu letounů bez a s využitím těchto paliv (na úrovni menší letecké společnosti, včetně dopadu na životní prostředí.

Vyvození nutných závěrů a výběr optimální technologie, tj. paliva pro konkrétní účely v letecké dopravě.

Seznam odborné literatury:

- [1] Předpis L16/II Emise letadlových motorů, LIS-ŘLP ČR
- [2] KOCÁB, J., ADAMEC, J.: 2000. Letadlové motory. 1. vyd. Praha 2002, nakladatelství KANT cz s.r.o. 176 s. ISBN 80-902914-0-6
- [3] BUTLER, F. G., KELLER, R. M.: 2001. Handbook of Airline Strategy. Inc., New York 2001, The McGraw - Hill Companies, 733 p. ISBN 0-07-982393-9
- [4] DALY, M., GUSTON, B.: 2008. Jane's Aero - Engines, Issue Twenty-three 2008, Inc., 2008 by Jane's Information Group Limited, 776 p. ISSN 1748-2534
- [5] DALY, M., GUSTON, B.: 2007. Jane's Aero - Engines, Issue Twenty-two 2007, Inc., 2007 by Jane's Information Group Limited, 776 p. ISSN 1748-2534
- [6] Časopis FLIGHT Internationale, www.flightglobal.com

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ondřej Nastálek

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26.11.2010

L.S.

prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Cíle diplomové práce je celkový přehled dostupných paliv v letectví a jejich možných alternativ. Zhodnocení využitelnosti alternativních paliv v letecké dopravě. Dále pak posoudit celkovou připravenost jednotlivých technologií napříč letectvím, tj. od všeobecného letectví, přes hromadnou leteckou dopravu nákladu a osob, až po dopravu vrtulníky. Vyhodnotit ekonomickou situaci v jednotlivých sektorech a určit nejlepší variantu alternativního paliva.

Abstract

The objectives of this thesis is an overview of the available aviation fuel and possible alternatives. Evaluation of the applicability of alternative fuels in aviation. Furthermore, to assess the overall readiness of each technology across the aviation, from general aviation through public air transportation to transport helicopters. Evaluate the economic situation in each sector and determine the best alternative fuel option.

Klíčová slova

Biopalivo, skleníkové plyny, letecká doprava, bionafta, předpisy, etanol, BTL, HRJ

Keywords

Biofuel, greenhouse gases, aviation, biodiesel, legislation, ethanol, BTL, HRJ

Bibliografická citace mé práce:

DVORSKÝ, D. *Využitelnost alternativních paliv v letecké dopravě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Nastálek.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, pod odborným vedením vedoucího diplomové práce a s použitím uvedené literatury.

V Brně 2011

Bc. David Dvorský

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Ondřejovi Nastálkovi za odborné vedení a konzultace. Zároveň bych chtěl poděkovat i rodině za podporu během celého studia.

Obsah

Úvod.....	3
1. Rozdělení alternativních paliv	4
1. 1 Syntetická paliva	4
1. 2 Obnovitelná letecká paliva	4
1. 3 Nemísitelná alternativní paliva.....	4
2. Metoda Fischer-Tropsch (F-T)	6
2. 1 Zpracování uhlí na kapalné produkty (CTL).....	8
2. 2 Zpracování plynu na kapalné produkty (GTL).....	9
2. 2. 1 Parní reformování zemního plynu.....	11
2. 2. 2 Parciální oxidace zemního plynu	11
2. 2. 3 Kombinované postupy výroby syngasu	12
2. 3 Zpracování biomasy na kapalné produkty (BTL)	13
2. 3. 1 Biokerosin	16
3. Obnovitelná letecká paliva	17
3. 1 Paliva založená na přímé konverzi biomasy	17
3. 1. 1 Pyrolýza biomasy	17
3. 1. 2 Hydrotermické zpracování biomasy	19
3. 1. 3 Hydroprocessed Renewable Jet (HRJ).....	21
3. 2 Bionafta	22
3. 2. 1 Technologie výroby bionafty	22
3. 3 Paliva na bázi alkoholu.....	25
3. 3. 1 Výroba Bio-etanolu	25
3. 3. 2 Rafinace a dehydratace bio-etanolu	26
4. Nemísitelná alternativní paliva	27
4. 1 Vodík	27
4. 1. 1 Elektrolýza vody	29
4. 1. 2 Tepelný rozklad vody.....	29
5. Předpisy zabývající se bio-palivy v letecké dopravě	30
5. 1 Kjótský protokol a Evropské předpisy	30
5. 2 Americké předpisy týkající se alternativních paliv	31
5. 3 Systém evropské unie pro obchodování s emisemi (EU ETS).....	31
5. 3. 1 Letecké emisní povolenky v EU	32
5. 3. 2 EU ETS monitorování a podávání zpráv o emisích.....	33
5. 3. 3 Schvalování bio-paliva a určování emisních faktorů.....	34
5. 3. 4 Směrnice EU pro obnovitelné zdroje energie	35
6. Produkce skleníkových plynů a cenová náročnost alternativních paliv	36
7. Hromadná letecká doprava vs. alternativní paliva	38
7. 1 Náklady na výrobu a distribuci jednotlivých bio-paliv	40
7. 1. 1 Ekonomické zhodnocení BTL paliva.....	40
7. 1. 2 Ekonomické zhodnocení HRJ paliva	40
7. 1. 3 Srovnání BTL a HRJ	41
7. 2 Potencionální redukce výrobních nákladů bio-paliva	42
7. 3 Hospodárnost bio-paliva v EU	43
7. 4 Aktuální scénáře budoucnosti zásobování leteckými biopalivy.....	44
7. 5 Souhrn	45
8. Všeobecného letectví vs. alternativní paliva	46
8. 1 Etanol.....	47

8. 1. 1	Náhrada AVGASu palivo AGE-85	47
8. 1. 2	Vliv etanolu na palivové systémy	48
8. 1. 3	Snižování emisí	49
8. 1. 4	Základní ekonomické aspekty výroby bio-etanolu	49
8. 2	Shrnutí	49
9.	Vrtulníková přeprava vs. alternativní paliva	50
Závěr	51
Vysvětlivky	52
Literatura	53
Seznam obrázků	55
Seznam příloh	55

Úvod

Letecká doprava je dnes nejbezpečnější, nejpohodlnější a nejrychlejší způsob dopravy a stala se nepostradatelnou pro přepravu osob a zboží. Je nejmladším druhem dopravy, avšak v průběhu svého vývoje zaznamenala tak dramatický rozmach, že dnes si bez ní nelze mezinárodní spolupráci, turistiku ani obchod představit. Kromě svých výhod má letecká doprava i své nevýhody, kterými jsou vysoké provozní náklady spojené s cenou pohonných hmot a negativní dopad na životní prostředí. Tyto dvě hlavní nevýhody letecké dopravy se dají ovlivnit využitím alternativních paliv.

O alternativních palivech se uvažovalo již v dobách nasazení prvních proudových motorů. Kryogenní paliva jako je kapalný vodík byly studovány už v 50 letech. Další výzkumy se uskutečnily po roce 1973 během energetické krize v USA, která přinesla růst cen ropy. Avšak z ekonomického hlediska se tehdy jako jediné využitelné palivo ukázalo palivo vyrobené z ropy. Dnes již víme, že tato situace není dlouhodobě udržitelná a nedávné zvýšení ceny ropy to jen potvrzuje. Je třeba hledat alternativy k ropným produktům, proto opět navazujeme na tyto výzkumy a s úspěchem využíváme některé s tehdy vzniklých technologií. Dnes jsou alternativní paliva už úspěšně testována a dokonce certifikována a je jen otázkou peněz kdy některé z nich zvládne přechod k širšímu využití. Kromě ceny alternativních paliv musíme porovnávat také jejich vliv na životní prostředí, což znamená, vzít v potaz také množství zplodin, které souvisí s jejich výrobou a distribucí. Z hlediska leteckých předpisů, dění okolo alternativních paliv, zpopularizoval především zákon o emisích limitující produkci CO_2 .

Již teď je jasné, že rozvoj letecké dopravy dále poroste, ale zdroje fosilních paliv budou klesat, předpokládá se, že globální produkce ropy dosáhne svého maxima mezi rokem 2020 a 2060. Letecká doprava bude potřebovat náhradu za fosilní paliva. Jenže jak by měla tato náhrada vypadat? Které ze stávajících technologií výroby alternativních paliv má šanci na úspěch? Které palivo má tedy do budoucna smysl legislativně a finančně podporovat? Toto jsou otázky, které s tímto tématem přirozeně vyvstávají a tato práce by na ně měla odpovědět.

1. Rozdělení alternativních paliv

Alternativní letecká paliva můžeme rozdělit do třech skupin podle vlastností a způsobu výroby. Přičemž označení bio-palivo se prolíná všemi skupinami a je to označení paliva vyrobeného z obnovitelných zdrojů nezávisle na metodě výroby.

1.1 Syntetická paliva

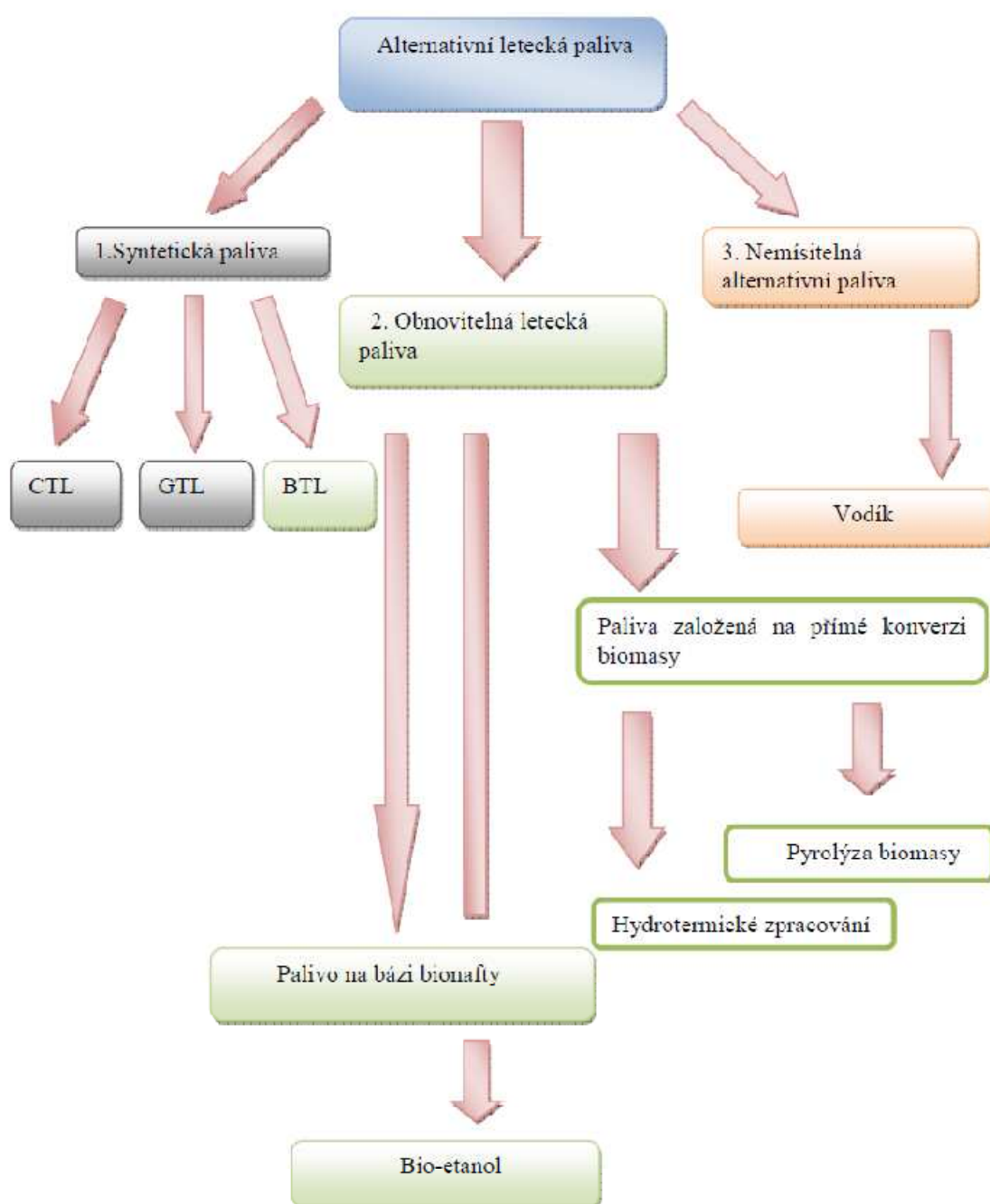
První skupinu tvoří syntetická paliva vyrobená metodou Fischer-Tropsch, tyto paliva mohou být vyrobená z uhlí (coal to liquid; **CTL**), z plynu (gas to liquid; **GTL**) nebo z biomasy (biomass to liquid; **BTL**). Paliva na této bázi jsou volně mísitelná se současnými palivy. Syntetická paliva mají vynikající vlastnosti a v některých vlastnostech převyšují dokonce současná paliva. Některé firmy zvládli již i certifikaci těchto paliv což je jeden z nejtěžších kroků ve výrobě nového paliva. Výroba syntetických paliv z neobnovitelných zdrojů, jako je uhlí, nebo zemní plyn není považována za udržitelnou v dlouhodobé perspektivě a neřeší globální oteplování. Výzkum se proto zaměřuje na vývoj realizovatelného biologického tryskového paliva, které je z hlediska emisí uhlíku neutrální, vyráběné z rostlin odstraňujících CO₂ z atmosféry, takže spalováním paliva nevznikají žádné další skleníkové plyny.

1.2 Obnovitelná letecká paliva

Druhou skupinu tvoří obnovitelná letecká paliva (hydrotreated renewable jet; **HRJ**) která jsou většinou vyráběna z bio-olejů. Na těchto palivech pracují jak firmy, tak univerzity a snaží se dosáhnout úplné mísitelnosti s konvečními palivy. Mezi obnovitelné letecké paliva patří kromě paliv na bázi bio-dieselu také právě vyvíjené bio-paliva získané pyrolýzou zkapalněné biomasy. Dále pak paliva na bázi alkoholu získaná hydrolýzou a fermentací, která se hodí hlavně pro, malá sportovní letadla. Tyto paliva by měla být opět plně mísitelná s konvenčními palivy.

1.3 Nemísitelná alternativní paliva

Poslední třetí skupina je tvořena nemísitelnými alternativními palivy které nejsou slučitelná s konvečními palivy a dokonce bude nutná nová infrastruktura pro jejich použití. Do skupiny těchto paliv patří například **vodík**. Tato technologie vypadá slibně v případě výroby vodíku ze zdrojů budoucnosti, jako je třeba jaderná fúze. A však nevýhoda je hlavně vtom že vyžaduje nové motory a novou kompletní techniku plnění a transportu. Což je v blízké budoucnosti nepravděpodobné.



Obr. 1 : Rozdělení alternativních paliv

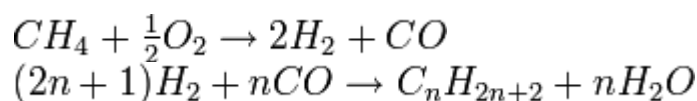
2. Metoda Fischer-Tropsch (F-T)

Fischer–Tropschova syntéza není novou technologií. Byla vyvinuta již ve 30. letech minulého století v Německu a byla založena na uhelné surovině. Z prognóz týkajících se využití jednotlivých zdrojů fosilního uhlíku vyplývá jednoznačný závěr, že v průběhu příštích desetiletí budou úlohu hlavní energetické suroviny postupně přebírat uhlí a zemní plyn, přičemž z ekologických a ekonomických důvodů bude jasně preferován zemní plyn. V současné době došlo k rozšíření surovinové základny o zemní plyn a ve světě jsou provozovány rafinérie vyrábějící syntetickou ropu, motorová paliva a chemikálie ze zemního plynu, resp. z něj vyrobeného syngasu.

FT syntéza je příkladem heterogenně katalyzované reakce. Jako katalyzátory se používají kovy schopné při vhodných podmínkách štěpit vazbu mezi atomy C a O, tj. kovy na jejichž povrchu dochází k disociativní adsorpci molekul CO. Takovými katalyzátory jsou prvky na bázi železa a kobaltu. Tyto kovy reagují s CO při vyšším tlaku a teplotě za vzniku odpovídajícího karbonylu. Teplota, při které dochází ke vzniku karbonylu je ale nižší než teplota při které probíhá FT syntéza. Katalyzátory pro FT syntézu jsou vysoce citlivé vůči otravě sírou, na které se CO silně chemicky sorbuje. FT syntéza je celkově exotermní reakce, vznikající teplo je potřeba odvádět. Vznikají při ní vedle uhlovodíků ještě kyslíkaté sloučeniny. Hlavními složkami reakčního produktu jsou alkany, alkeny a primární alkoholy. Mezi nasycenými uhlovodíky převládají n-alkany společně s rozvětvenými dvěma metylalkany, mezi alkeny pak alkeny s dvojnou vazbou v poloze 1. Jako vedlejší produkt vzniká voda. Složení reakčního produktu závisí na reakčních podmínkách a použitém typu katalyzátoru, resp. reaktoru. S rostoucí reakční teplotou se zvětšuje selektivita reakcí na metan, v produktu se zvětšuje obsah alkenů a naopak vzniká méně kyslíkatých sloučenin. Distribuce uhlíkových atomů ve vznikajících sloučeninách je velmi široká. S ohledem na tuto skutečnost je pochopitelně velké úsilí věnováno vylepšení selektivity FT syntézy s cílem dosáhnout co největších výtěžků žádaných produktů, tj. benzínu, motorové nafty, alkenů, především alkenů C₂ – C₄ a alkoholů. Při FT syntéze probíhá celá řada reakcí. (1)

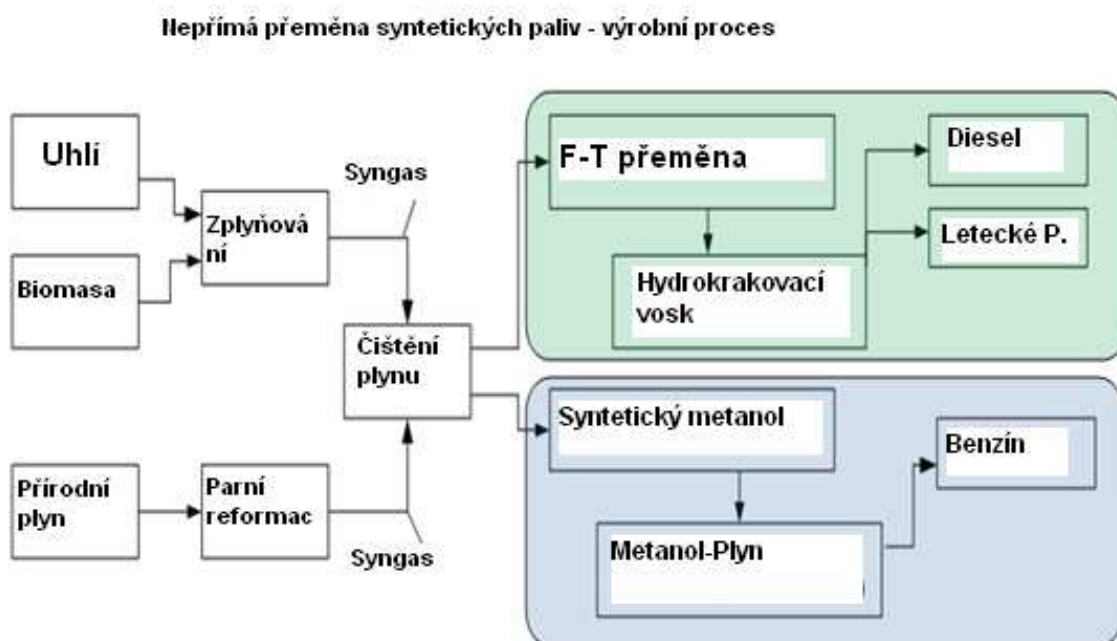
Souhrnně lze uvést, že v současné době se za perspektivní považuje výroba těžké syntetické ropy, která se následně hydrokrakuje na kvalitní motorovou naftu a ostatní motorová paliva, rozpouštědla, tvrdý parafin a některé další produkty. Tuto variantu preferují všechny firmy, které se FT syntézou zabývají (Sasol, TexacoMobil, Chevron, Exxon, Shell, Syntroleum Corp., Syncrude Technology, Rentech Inc. a další). Obvyklé reakční podmínky při výrobě těžké syntetické ropy jsou teplota 200–250 °C a tlak 2,5–6 MPa. Nezeagovaný syngas může být recyklován, nebo použit ke kombinované výrobě elektrické energie a tepla. Vyrobená syntetická nafta představuje kvalitní motorové palivo, lze ho samozřejmě použít i pro výrobu tepla a elektrické energie. Oproti tomu benzin z FT syntézy, pro který je charakteristický vysoký obsah n-alkanů a nepřítomnost aromátů, má nízké oktanové číslo a samotný je jako motorové palivo nevhodný. Představuje ale kvalitní surovinu pro pyrolýzu na lehké alkeny. S ohledem na velmi dobrou kvalitu vyráběných produktů, především motorových paliv, lze předpokládat, že tento postup zahrnující tři integrované výrobní stupně, tj. výrobu syngasu, jeho následnou konverzi na těžkou syntetickou ropu a její hydrokrakování se bude uplatňovat i výhledově. [10]

Původní Fisher-Tropschovu syntézu lze popsat následujícími chemickými rovnicemi:



Vzniklé uhlovodíky mohou být rozděleny frakční destilací a rafinovány jako klasická ropa. Oxid uhelnatý a vodík lze vyrobit částečnou oxidací uhlí nebo biomasy. Zdrojem metanu může být např. zemní plyn.

Jak již bylo řečeno k vyrobení syntetického paliva je výchozí produkt přeměněn na oxid uhelnatý a vodík - směs, nazývaná syngas, je pak zpracována v reaktoru F-T na těžký parafínový vosk, který lze rafinovat konvenční metodou. Existují tři typy zařízení F-T: 1. Zpracování uhlí na kapalné produkty (CTL), jako je tomu u firmy Sasol která na této bázi vyrábí již využívané letecké palivo 2. Zpracování plynu na kapalné produkty (GTL), již využíváno pro výrobu motorových paliv ve velkém měřítku a 3. Zpracování biomasy na kapalné produkty (BTL), v poslední době zaznamenává velké pokroky.



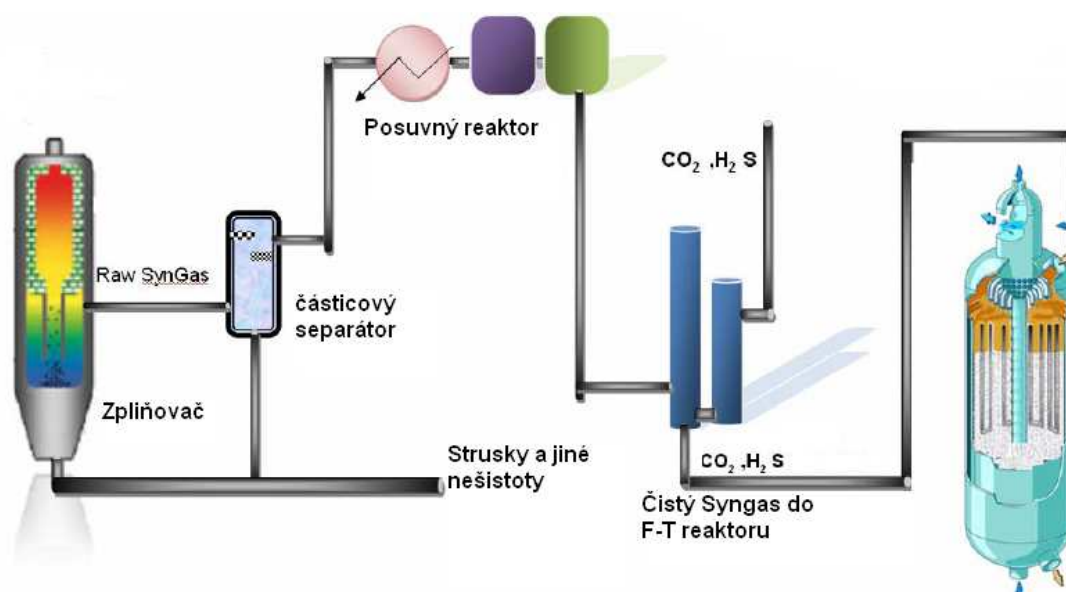
Obr. 2: Diagram výrobních procesů nepřímé výroby syntetických paliv [13]

2.1 Zpracování uhlí na kapalné produkty (CTL)

Ke vzniku této metody vedl fakt, že zásoby ropy nejsou na planetě rozděleny rovnoměrně - většina průmyslově vyspělých zemí jimi nedisponuje. Zejména v časech válek a politických krizí to má nemalé dopady na ekonomiku i politiku. Naproti tomu uhlí je rozprostřeno podstatně rovnoměrněji a nachází se v mnoha vyspělých zemích. Teoreticky je přitom možné jej převést na kapalná paliva, bez nichž se neobejde doprava ani válečné úsilí. Tuto skutečnost si uvědomili v Německu již před první světovou válkou.

Metoda byla vyvinuta roku 1920 Franzem Fischerem a Hanzem Tropschem z Kaiser Wilhelm Institutu. Jedná se o působení vodíku na uhlí (přesněji na oxid uhelnatý vzniklý nedokonalým spalováním uhlí) prostřednictvím katalyzátorů, meziproduktem však je plynná směs vodíku a kyslíčnicku uhelnatého, tzv. syngas. Z něj se pak vyrábí kapalná paliva. Hlavním účelem této syntézy je výroba umělé náhrady ropy. Za druhé světové války představoval syntetický benzín strategickou surovinu, která Německu umožňovala pokračovat v bojích i bez přísunu ropy. Část výroby probíhala i na našem území - a pokračovala tu až do 50. let. Tato metoda byla dále rozvíjena a s rostoucími cenami ropy se Fischer-Tropschův proces opět dostává do popředí. Obzvláště ve výrobě alternativních leteckých paliv se tato metoda velmi uplatnila.

Technologií CTL se uhlí mění na plyn, je to nákladný a energeticky náročný postup, kdy vzniká oxid uhličitý, který musí být izolován. Tato metoda je využívána již od druhé světové války. Princip výroby paliva z uhlí je poměrně jednoduchý a je rozdělen na dvě části v první části je v uhelném zplyňovači uhlí zplyňováno za vysokého tlaku a teploty na tak zvaný syngas a ve druhé části je v FT reaktoru syngas přetvářen na těžký parafínový vosk. Dále je pak tento vosk zpracováván jako ropa klasickou rafinací.



Obr. 3 Schéma zplyňování uhlí [14]

2. 2 Zpracování plynu na kapalné produkty (GTL)

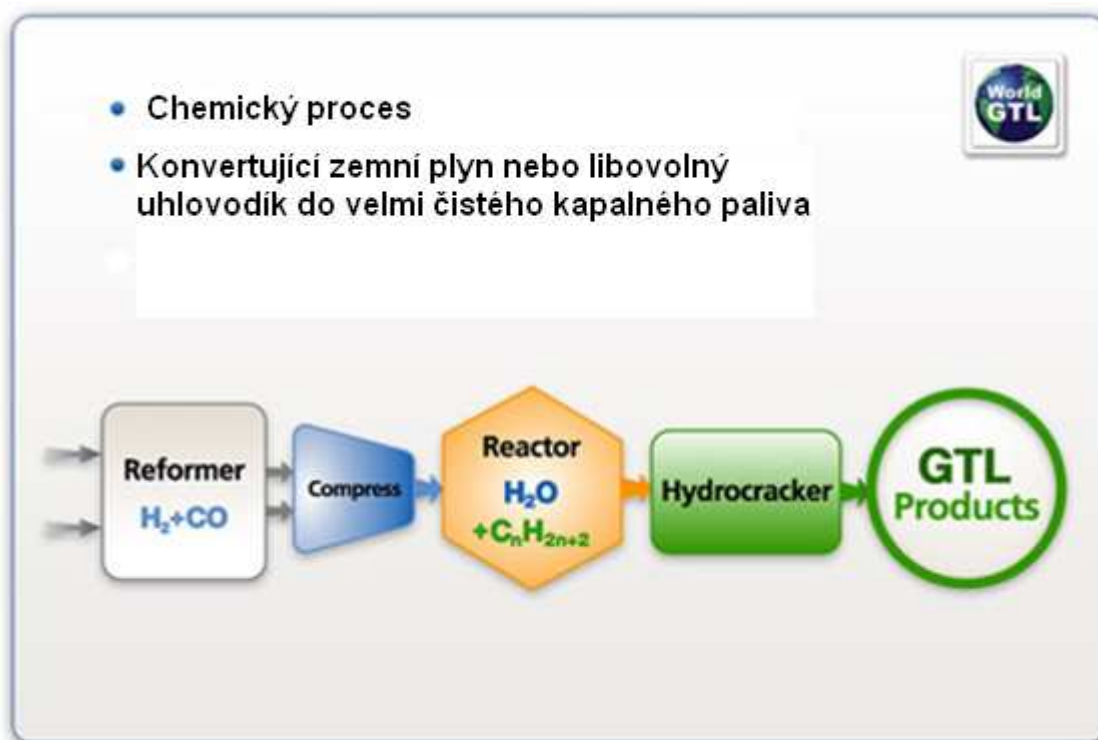
Technologie GTL je jednodušší než metoda CTL a množství emisí oxidu uhličitého, vznikajících v tzv. cyklu well-to-wheel, je přibližně stejné jako při konvenčním rafinování. Podstatou zpracování plynu na kapalné produkty je chemická přeměna zatím nezužitkovaných zásob zemního plynu na kapalné produkty a jejich doprava na světové trhy prostřednictvím existující konvenční infrastruktury pro transport ropy, jejíž kapacity by se při poklesu její těžby měly postupně uvolňovat. Pro ekonomickou přeměnu zemního plynu na kapalné produkty jsou již vypracovány různé modifikace Fischer-Tropschovy (FT) syntézy. Odhaduje se, že realizace projektu GTL bude ekonomicky ekvivalentní objevu několika desítek miliard tun nové ropy. V rámci projektu GTL se plánuje výstavba malých a středních konverzních závodů přímo na těžebních polích. Kapalné frakce vyrobené ze zemního plynu se budou nejprve přimíchávat do surové ropy dopravované ropovodem a v pozdějších letech dopravovat uvolněnými ropovody. Kapalné produkty FT syntézy jsou bez syrné, bez dusíku, neobsahují těžké kovy ani asfalteny a soli. Jejich přimícháváním do surové ropy se v rafineriích vyrobené produkty podstatně zkvalitní. Předpokládá se, že projekt GTL ovlivní rafinérský a petrochemický průmysl významnějším způsobem než kterákoliv jiná technologie realizovaná v posledních 50 letech.

Velkokapacitní FT syntéza je zatím realizována na bázi klasických fosilních paliv ve třech lokalitách, a to v Jižní Africe v závodech Sasol a v rafinerii Mossref a v Malajsii v rafinerii Bintulu. Zatímco v závodech Sasol se synplyn vyrábí zplyňováním popelnatého hnědého uhlí, v rafineriích Mossref a Bintulu je surovinou pro výrobu synplynu zemní plyn.



Obr. 4: Logo [13]

Pro výrobu syngasu se dosud používaly dva technologické postupy, parní reformování zemního plynu, nebo jeho termická parciální oxidace. Dosud největší výrobní syntézní plynů byla postavena v rafinerii Moosgas v Jižní Africe, ve které se vyrábí ze zemního plynu syntetická ropa. Ve 3 linkách dvoustupňového reformování se vyrobí 880 000 Nm³/h syntézního plynu. Toto množství je ekvivalentní 8 000 t metanolu za den. Ve výrobě metanolu, která byla uvedena do provozu v roce 1997 v Norsku a která má roční instalovanou kapacitu 830 000 t metanolu, se potřebný syntézní plyn vyrábí v jedné lince dvoustupňového reformování. Firma Haldor Topsoe považuje za reálné vyrábět v jedné lince autotermního reformování takové množství syntézního plynu, které by zajistilo výrobu až 10 000 t metanolu za den. Význam a potřeba syntézního plynu pro výrobu syntetické ropy a výše uvedených chemických surovin stále roste. V první polovině 90. let byl vývoj konverze zemního plynu soustředěn především na procesy parciální oxidace a suchého reformování zemního plynu, protože poskytují syntézní plyn s vyšším obsahem CO než parní reformování. Parciální oxidace má proti parnímu reformování výhodu v menší energetické náročnosti a v tom, že molární poměr $H_2/CO = 2$ je ideální pro syntézu metanolu a FT syntézu. Také procesem suchého reformování, spočívajícím v reakci metanu a oxidu uhličitého, vzniká syntézní plyn s relativně nízkým molárním poměrem H_2/CO vhodným zejména pro výrobu syntetické ropy FT syntézou. Proces vzbuzuje zájem ekologů s ohledem na skutečnost, že jsou při něm jako vstupní suroviny používány dva plyny, které v atmosféře vyvolávají tzv. skleníkový efekt, a to CH_4 a CO_2 . [10]



Obr. 5: Proces přeměny plynu na GTL palivo [14]

2. 2. 1 Parní reformování zemního plynu

Dosud je nejvíce rozšířeno parní reformování ve dvou stupních. V prvním stupni se zemní plyn a pára reformují v trubkovém reaktoru, naplněném Ni katalyzátorem, při teplotě 900–1000 °C a tlacích 1,5–2 MPa. Ve druhém stupni se po přidavku kyslíku zvýší reakční teplota např. na 1 065 °C a bez náplně reformovacího katalyzátoru i na vyšší teplotu, např. 1300 °C.

Důležitým parametrem kvality syntézního plynu je hodnota molárního poměru obou plynů H_2 a CO. Při úpravě poměru H_2/CO na požadovanou hodnotu je nutné podle potřeby zařadit další technologické stupně výroby a upravit reakční podmínky reformování. Ověřeny byly následující možnosti:

- oddělení přebytečného vodíku (membrány, adsorpce na zeolitech, kryogenní dělení),
- recyklace resp. přidavek CO_2 k zemnímu plynu do reformování,
- přidavek CO z jiného zdroje.

Z uvedených možností se nejčastěji uplatňuje recyklace, resp. přidavek CO_2 k zemnímu plynu. [5]

2. 2. 2 Parciální oxidace zemního plynu

Provozně se uplatnila i termická parciální oxidace; jednotky pro parciální oxidaci jsou energeticky soběstačné. Zpracováváný zemní plyn se nemusí odsiřovat. Při procesu se do speciálního hořáku vedou přehřátý zemní plyn, substechiometrické množství přehřátého kyslíku a zpravidla i malé množství vodní páry. Hlavní substechiometrická oxidační reakce produkující CO a H_2 a další simultánní reakce probíhají v turbulentní zóně plamene a dokončují se v prázdném vyzdřeném reaktoru při teplotě 1250 – 1500 °C a době zdržení pod 5 s. Syntézní plyn vyrobený parciální oxidací má vyšší tlak (3 – 8 MPa) a obsahuje více CO než plyn z parního reformování. Hlavní nevýhodou procesu je potřeba čistého kyslíku. Parciální oxidace může ekonomicky soutěžit s parním reformováním jen tehdy, může-li být do jednotky dodáván levný kyslík.

Parciální oxidace metanu může probíhat nejen jako čistě termická, vysokoteplotní reakce, ale i jako heterogenní katalytická reakce. Ačkoliv termická parciální oxidace metanu se již desítky let provozuje jako průmyslový proces, katalytická varianta procesu se dostala do popředí zájmu teprve v posledních letech a v současnosti je ve stadiu extenzivních laboratorních studií. Hlavní předností katalytické parciální oxidace metanu je snížení reakční teploty na 700 – 800 °C. Při kontaktní době několika milisekund je možno na vhodných katalyzátorech dosáhnout selektivity reakce na CO a H_2 přes 90 % při téměř úplných konverzích metanu.

Proces katalytické parciální oxidace metanu má však i jistá úskalí související s bezpečností provozu. Přivede-li se směs metanu a kyslíku na lože katalyzátoru zahřátého na vysokou teplotu, existuje reálné nebezpečí zpětného prošlehnutí plamene a výbuchu reakční směsi. Toto nebezpečí se ale dá eliminovat vhodnou konstrukcí hořáku. [10]

2. 2. 3 Kombinované postupy výroby syngasu

Široké průmyslové použití má kombinace parního reformování a parciální oxidace. Pro ekonomickou výrobu syngasu z metanu je možno s výhodou kombinovat endotermní reakci parního reformování, popř. endotermní reakci suchého reformování, s vysoce exotermní parciální oxidací metanu. Takové kombinované procesy jsou energeticky soběstačné, neboť reakční teplo reformování je plně kryto teplem z exotermní oxidace metanu. V kombinovaných procesech se dá snadněji regulovat podle potřeby molární poměr H_2/CO u vyráběného syngasu a kromě toho přítomnost vodní páry, resp. CO_2 v reakční směsi snižuje nebezpečí přehřátí reakční směsi a tedy i nebezpečí výbuchu. Kombinace suchého reformování s parciální oxidací metanu na vhodném katalyzátoru (NiO/MgO) při teplotě $790\text{ }^{\circ}C$ umožňuje dosáhnout až 90 % konverzi CH_4 při 98 % selektivitě této konverze na H_2 a CO . S ohledem na hodnotu molárního poměru H_2/CO v produkovaném syngasu, která se pohybuje okolo 1,3 je vyrobený plyn vhodný především pro FT syntézu.

Velmi úspěšnou variantu kombinovaných procesů představuje tzv. autotermní reformování. Spojuje procesy parciální oxidace metanu a parního reformování do jednoho vyžděného reaktoru, ve kterém se směs zemního plynu, páry a kyslíku nebo vzduchu reformuje na pevně uložené vrstvě katalyzátoru (Ni/MgO /alumina) nebo na katalyzátoru ve fluidní vrstvě (Ni/α -alumině). Hodnota molárního poměru H_2/CO u vyráběného syngasu závisí jak na množství použitého kyslíku, tak i množství přidávané vodní páry. Autotermní reformování zemního plynu bylo posouzeno jako proces, který by mohl být tandemově integrován s palivovým článkem. Z ekonomického hlediska je autotermní reformování poměrně výhodný proces. Vzhledem k jednoduché konstrukci reaktoru, energetické úspornosti a možnosti zpracovávat i neodsířený plyn, jsou investiční náklady současných autotermních jednotek nižší než u ostatních procesů reformování. Provozní náklady autotermního reformování závisejí především na ceně dodávaného kyslíku. Moderní verze autotermních jednotek se proto snaží dosáhnout vysoké konverze CH_4 při relativně malé spotřebě kyslíku. Napomáhá se tomu předehříváním nastříkovaných surovin na vysoké teploty a také zdokonalenou konstrukcí hořáku (např. Haldor Topsoe). Při průměrných cenách kyslíku mohou být i provozní náklady stávajících jednotek autotermního reformování srovnatelné s ostatními procesy reformování zemního plynu.

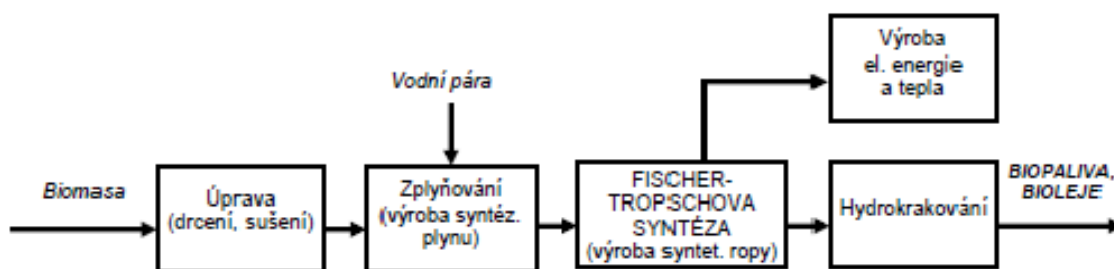
Pokračující vývoj reaktorů pro autotermní reformování zemního plynu přinesl některá nová řešení, která mohou proces ekonomicky ještě více zvýhodnit – např. vysokotlaké reaktory (menší rozměry výrobního zařízení, ekonomická úspora při využití tlakového plynu pro následné syntézy) a především keramické membránové reaktory (při integraci procesu separace kyslíku ze vzduchu a autotermního reformování zemního plynu do jednoho stupně se dosahuje významného snížení nákladů na nákup drahého čistého kyslíku). [10]

2.3 Zpracování biomasy na kapalné produkty (BTL)

Zatímco v případě zemního plynu se jedná v technologické praxi o již prověřenou variantu výroby pohonných hmot a využití biomasy pro tyto účely je považováno za perspektivní. V posledních letech je předmětem intenzivní výzkumné činnosti. Konverzi biomasy na pohonné hmoty lze realizovat různými termochemickými procesy a to buď přímo, nebo nepřímo. Technologie BTL slibuje velké snížení emisí oxidu uhličitého, ale zplyňování biomasy je záludné.

Mezi přímé postupy konverze biomasy na pohonné hmoty patří tzv. „mžiková pyrolýza“ biomasy poskytující bio-olej, který by mohl mít energetické využití, ale mohl by být i zdrojem některých cenných chemických surovin. Dalším postupem přímé výroby syntetických paliv z biomasy je proces označovaný jako HTU (Hydro Thermal Upgrading), jehož hlavním produktem je multikomponentní uhlovodíková směs podobná ropě, označovaná jako bio-ropa, kterou lze dále zpracovat na různé produkty. Konečně pozornost je věnována i studiu možností přímé přeměny rostlinných olejů katalytickým krakováním, hydrogenační rafinací a hydrokrakováním na motorová paliva, která by bylo možno použít v současných motorech. Tyto metody jsou dále popsány v kapitole 3.1.

Nepřímý postup výroby kapalných paliv a chemikálií ze zemního plynu, resp. Biomasy zahrnuje v prvním kroku výrobu syngasu a jeho čištění. Vyčištěný plyn lze pak následně použít pro výrobu motorových paliv, resp. syntetické ropy Fischer – Tropschovu (FT) syntézou a dále i pro výrobu metanolu, dimethyléteru, čpavku, případně lehkých alkenů a dalších důležitých petrochemikálií, tj. chemických látek, které jsou zatím vyráběny převážně na bázi ropy.



Obr. 6: Schéma Procesu výroby bio-paliva [10]

Jako surovinu pro výrobu syngasu lze použít i jakoukoliv lignocelulóзовou a celulóзовou biomasu získanou zpracováním zemědělských plodin (sláma, melasa), dále trávu nebo dřevní hmotu. Použít lze rovněž i mokrou biomasu jakou jsou tuhé komunální odpady nebo odpady ze zemědělské výroby, i když v tomto případě je dosahováno nižší tepelné účinnosti.

Zplynění biomasy je proces, při kterém probíhá její parciální oxidace po přidání kyslíku v množství menším než stechiometrickém. Kyslík reaguje s biomasou při vysokých teplotách, okolo 900 °C, reakce je exotermní. Ve variantě tzv. přímého zplyňování biomasy se potřebné teplo získá spálením části biomasy přímo ve zplyňovacím reaktoru, resp. generátoru. Pro zplynění lze použít jak čistý kyslík, tak i vzduch. Výhodou použití čistého kyslíku je skutečnost, že vyrobený syngas, synplyn, neobsahuje dusík. Na druhou stranu výroba kyslíku je značně nákladná, takže u této varianty jsou větší investiční náklady a spotřeba energie. V procesu nepřímého zplynění je potřebné teplo získáváno spalováním části biomasy nebo vyrobeného syngasu, které probíhá mimo generátor. Výhodou této varianty je, že se při ní nepoužije žádný kyslík a vyrobený syngas neobsahuje dusík. Naopak její nevýhodou je skutečnost, že z technického hlediska je komplikovaná, zahrnuje více operací a je při ní třeba vyčistit dva plynné proudy. Pokud se týká zplyňovacích generátorů, lze použít některý ze čtyř typů, a to buď generátor s pevným, pohyblivým, fluidním anebo unášeným ložem pevné fáze, tj. biomasy.

U generátoru s pevným ložem se pracuje při teplotách 700–1 200 °C. Proudění plynné fáze generátorem může být sestupné, vzestupné nebo horizontální a vzájemné uspořádání toků pevné a plynné fáze může být souprroudé, protiproudé anebo překřížené. Při souprroudém uspořádání toků obou fází je produkován synplyn relativně čistý, obsahuje méně dehtových podílů oproti protiproudému uspořádání. To je výhodné, protože při něm není třeba dodatečné čistění plynu. Na druhou stranu protiproudé uspořádání je flexibilní z pohledu zpracovávané biomasy a možného zvětšování rozměrů výrobního zařízení. Ve fluidním generátoru je přítomna směs biomasy a horkého inertního materiálu, např. písku, ve fluidním loži, a reakce probíhá v celém jeho objemu. V loži je všude stejná teplota, kterou lze řídit množstvím vzduchu, tj. nastavením poměru vzduchu a biomasy. Flexibilita fluidního generátoru z pohledu zpracovávané biomasy je výrazně větší v porovnání s generátorem s pevným ložem, ale vzniká v něm vždy určité množství dehtu (více než u generátoru se souprroudým uspořádáním toků), který je nutné odstranit. U generátoru s unášeným ložem se pracuje při vysokých teplotách, okolo 1 500 °C a vyráběný syngas neobsahuje dehet. Nevýhodou této varianty je špatná kontrola teploty a vyžadovaná malá velikost částic biomasy. Nejčastěji používaným typem generátoru je generátor s cirkulujícím fluidním ložem, který je možno použít pro široké rozmezí výkonu, od jednoho až do stovek MW/h. Pracuje se při atmosférickém tlaku a lze zplyňovat i při použití vzduchu, pro dosažení vysokých konverzí je však nutné zplyňovat kyslíkem.

Výsledkem zplynění biomasy je syngas, který je směsí hořlavých plynů, především CO a H₂, dále jsou přítomny CO, CH₄, H₂O a N₂. Jeho složení závisí na složení vstupní suroviny a reakčních podmínkách. Vedle toho obsahuje ještě řadu nečistot, malé částičky polokoksu, chloridy, síru, alkalické kovy, dusíkaté sloučeniny a dehet. Syngas lze použít jako palivo v kotlích, stacionárních motorech anebo plynových turbinách pro výrobu elektrické energie nebo tepla a dále jako surovinu pro chemický průmysl, resp. pro výrobu motorových paliv.

Nečistoty přítomné v syngasu snižují aktivitu katalyzátoru použitého při jeho následném chemickém zpracování a jsou i příčinou koroze výměníků tepla a případně i plynové turbíny, je-li použita. Přítomný dehet rovněž vyvolává korozi a saze vznikající při jeho nedokonalém spalování, resp. produkty polymerace sloučenin v něm

přítomných, pak způsobují opotřebení materiálu. Ve většině případů je proto nutno syngas předem zbavit nežádoucích příměsí.

Pokud je syngas použit jako surovina pro výrobu motorových paliv, resp. Syntetické ropy anebo různých chemikálií je třeba upravit u vyčištěného syngasu jeho složení, tj. upravit poměr CO a H_2 . Požadovaná hodnota poměru těchto hlavních složek syngasu je pro různé výroby odlišná. Například pro výrobu metanolu je požadovaná hodnota molárního poměru H_2/CO rovna 3, v případě Fischer – Tropschovy syntézy pak 2. Syngas ze zplyňování biomasy však obsahuje vodíku méně. Při úpravě složení syngasu jsou eventuálně přítomné uhlovodíky převedeny reformováním vodní párou na CO a vodík. Poměr obou plynů je pak upraven pomocí reakce vodního plynu (tzv. Water Shift Gas Reaction), tj. reakcí syngasu chudého na vodík s vodní parou při které reaguje CO s vodní párou za vzniku vodíku a CO_2 . Oxid uhličitý je následně oddělen pomocí fyzikální nebo chemické absorpce. Upravený syngas je stlačen a dopraven do reaktoru pro příslušnou syntézu. Popsaným postupem lze vyrobit také čistý vodík (bio-vodík). [10]

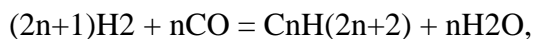
Aktivita v této oblasti jsou zaměřeny především na optimalizaci reakčních podmínek, minimalizaci potřebného množství kyslíku, dosažení vysokých výtěžků syngasu při maximální konverzi uhlíku a nízkých zbytkových obsazích uhlovodíků v syngasu. Řešeny jsou rovněž problémy spojené s čištěním vyrobeného syngasu za vysokých teplot.



Obr. 7: Schéma procesu výroby bio-paliva z biomasy [11]

2. 3. 1 Biokerosin

Příklad již vyráběného paliva typu BTL je bio-kerosin. Bio-kerosin je vyráběn z odpadu patentovaným procesem vysokoteplotního zplynování typu Solena Plasma Gasification Vitrification (SPGV) na bio-syngas. Odpad se v plazmovém reaktoru podrobí rozkladu při teplotě až 5000 °C za vzniku singasu. Po úpravě se bio-syngas, jako směs oxidu uhelnatého a vodíku, následně přemění procesem Fischer-Tropsch, podle známé reakce, kterou Němci vyráběli za II. světové války palivo zplynováním uhlí:



Kerosin s přísadou 50 % bio-kerosinu je již certifikován dle nové americké normy ASTM D7566-09 (pro palivové blendy 50/50) jako proudové palivo. S certifikací 100% bio-kerosinu se počítá až po plném náběhu výroby. Samotný bio-syngas může sloužit, podobně jako zemní plyn, pro pohon stacionárních plynových turbin.

První let s tímto palivem proběhl 23. listopadu 2009 s letadlem Boeing 747-400 společnosti KLM s jedním motorem na biopalivo. British Airways oznámila, že s americkou společností Solena Group postaví závod na výrobu bio-kerosinu jako paliva proudových letadel z odpadu, s termínem dodávek v roce 2014. Závod za 280 mil. USD přemění ročně půl milionu tun odpadu, určeného původně ke skládkování, na 60,6 mil. litrů bio-kerosinu při finální kapacitě 72 mil. litrů.



Obr. 8: Fotografie Boeingu 747 společnosti KLM [13]

3. Obnovitelná letecká paliva

Obnovitelná letecká paliva jsou většinou vyráběna z bio-olejů anglicky Hydroprocessed Renewable Jet (HRJ). Vedlejším produktem je v tomto případě bio-diesel FAME. Na těchto palivech pracují jak firmy, tak univerzity a snaží se dosáhnout úplné mísitelnosti s konvenčními palivy. Mezi obnovitelná letecká paliva patří kromě paliv na bázi bio-dieselu, také právě vyvíjené bio-paliva získané pyrolýzou zkapalněné biomasy. A dále pak paliva na bázi alkoholu získané hydrolýzou a fermentací, která se hodí hlavně pro malá sportovní letadla. Výsledek této výroby pak nazýváme bio-etanol. Tyto paliva by měla být opět plně mísitelná s konvenčními palivy. Samozřejmě se výroba všech těchto paliv různě prolíná a některé procesy jsou totožné s procesy využívanými u FT paliv. Jak je vidět na obrázku v příloze č. 2.

3.1 Paliva založená na přímé konverzi biomasy

Tyto paliva vznikají také z různých druhů biomasy, jako v případě BTL technologie, ale nevytváříme z ní syngas jako v případě BTL. V tomto případě získáváme z biomasy metodou nazvanou mžiková pyrolýza bio-oleje, který by mohl mít energetické využití, ale mohl by být i zdrojem některých cenných chemických surovin. Dalším postupem přímé výroby syntetických paliv z biomasy je proces označovaný jako HTU (Hydro Thermal Upgrading), jehož hlavním produktem je multikomponentní uhlovodíková směs podobná ropě, označovaná jako bio-ropa, kterou lze dále zpracovat na různé produkty. Na konec je pozornost věnována i studiu možností přímé přeměny rostlinných olejů katalytickým krakováním, hydrogenační rafinací a hydrokrakováním na motorová paliva, která by bylo možno použít v současných motorech. Tak zvaná HRJ paliva.

3.1.1 Pyrolýza biomasy

Na mžikovou pyrolýzu je možno použít jakýkoliv typ biomasy, nicméně upřednostňována je lignocelulózová biomasa. Surovinu je třeba nejprve rozemlít na velikost částic menší než 6 mm a vysušit na obsah vody pod 10 % hm. Při pyrolýze biomasy prováděné za nepřítomnosti kyslíku probíhá štěpení, krakování chemických vazeb v molekulách přítomných sloučenin při vysokých teplotách a výsledkem je na jedné straně vznik níže molekulárních plynných a kapalných produktů a na druhé straně vznik pevného uhlíkatého produktu, polokoksu. Množství reakčního produktu a jeho složení závisí na reakční teplotě, rychlosti ohřevu a době zdržení.

Je známo několik variant pyrolýzy, které se liší především rychlostí ohřevu a reakční dobou. Pro pomalou pyrolýzu, která se provádí při teplotách okolo 400 °C, je charakteristická malá rychlost ohřevu a doba zdržení někdy až několik dní. Hlavním produktem pomalé pyrolýzy je polokoks. Standardní pyrolýza se provádí při o něco vyšší teplotě a vznikají při ní plyn, olej a polokoks v přibližně stejném výtěžku. Rychlá pyrolýza probíhá při teplotách 500–650 °C a krátké době zdržení, obvykle 0,5 až 5 s. Za těchto podmínek vznikají plynné produkty, uhlovodíkové páry, kapalný podíl – bio-olej a pevný zbytek.

Mžiková pyrolýza je realizována za ještě vyšších teplot, 700 – 1 000 °C, rychlost ohřevu je extrémně vysoká, a to více než 10 000 °C.s⁻¹, a rychlé je rovněž i ochlazení reakčních produktů. Za těchto podmínek vzniká především kapalný produkt. Pro rychlou pyrolýzu lze použít různé typy reaktorů. Jedním z nich je reaktor s fluidním ložem tvořeným částicemi biomasy a částicemi inertního materiálu, obvykle písku.

Reaktor je vyhříván horkým plynem. Jiným typem reaktoru je rotující kónický reaktor s vyhřívánými stěnami, v tomto případě není třeba použít nosný plyn, takže reakční produkty jím nejsou naředěny. Krátký ohřev a velmi krátká doba zdržení plynné fáze umožňují dosahovat v případě dřeva jako suroviny výtěžku bio-oleje 75 – 80 % hm. Na druhou stranu velkou nevýhodou této technologie je nutnost rozemlít biomasu na částice menší než 2 mm. To nevyžaduje další z technologie tzv. cyklické pyrolýzy. Lze jí zpracovávat biomasu s velikostí částic až 13 mm a relativně velkým obsahem vody, až 15 % hm. Částice biomasy při ní procházejí postupně několika tepelnými výměníky, reakční produkt je separován v cyklonu. Teplo vzniklé spálením pevného zbytku separovaného z reakčního produktu je využito pro sušení biomasy a ohřev výměníků. Plynná fáze je vedena do chladiče, ve kterém zkondenzuje vzniklý bio-olej tvořící převážnou část reakčního produktu. Plynný produkt je směsí CO, CO₂, CH₄ a vodíku. Může být recyklován a využit pro sušení biomasy anebo jako nosné medium. Pyrolýzní olej obsahuje řadu cenných látek, které mají neenergetické využití, a to jako suroviny v chemickém průmyslu. [10]



Obr. 9: Pyrolýzní schéma [13]

Pokud se týká vlastností bio-oleje, má černou barvu, podstatně větší hustotu ($1,2 \text{ g/cm}^3$) ve srovnání s ropou, ale menší energetický obsah a to díky vysokému obsahu kyslíku. Spalné teplo oleje se pohybuje v rozmezí 16–19 MJ/kg. Olej má polární charakter a není mísitelný s uhlovodíky, ale je rozpustný ve vodě. Ve srovnání s ropnými produkty má méně dusíku, prakticky neobsahuje síru a kovy a má špatnou termickou stabilitu. Energetický obsah vztažený na objemovou jednotku je u získaného bio-oleje větší ve srovnání se vstupní surovinou, což vede k úspoře nákladů za dopravu, a mžiková pyrolýza je proto považována za efektivní způsob přeměny biomasy.

Výroba energie může být decentralizována, tj. realizována tam, kde je to potřeba. Pokud se týká energetického využití bio-oleje, lze jej použít jako palivo v elektrárnách a může rovněž nahradit klasická fosilní paliva ve stacionárních aplikacích, tj. jako palivo v kotlích a pecích a může rovněž nahradit klasickou motorovou naftu při pohonu stacionárních motorů. Pokud by měl naftu nahradit jako pohonná hmota v motorových vozidlech, je nutné nejprve podstatně upravit a zlepšit jeho vlastnosti. Je totiž silně kyselé a proto agresivní vůči oceli, a jak již bylo řečeno jeho termicko – oxidační stabilita je špatná. Dále může být využit i jako surovina pro výrobu syntézního plynu, ze kterého pak lze Fischer – Tropschovou syntézou vyrobit syntetickou ropu a tu pak zpracovat na paliva a chemikálie.

3. 1. 2 Hydrotermické zpracování biomasy

Během 80. let minulého století pracovala firma Shell na postupu hypotermického zpracování biomasy, který nese název HTU proces. V tomto procesu je biomasa rozkládána v přítomnosti vody a výsledkem je vznik kapalného produktu podobného ropě, označovaného jako „bio-ropa“ (bio-crude). Při vývoji tohoto procesu byla záměrem konverze biomasy na (motorová) paliva, tj. na produkty s větším energetickým obsahem na jednotku objemu než má výchozí biomasa. Z důvodu špatné ekonomiky byl vývoj procesu zastaven. Práce na něm byly znovu zahájeny na začátku 90. let minulého století společností Biofuel (založenou firmou Shell) a to z důvodu obnoveného zájmu o využití energetického obsahu biomasy.

Výhodou technologie HTU je její velká flexibilita z pohledu zpracovávané suroviny. Jako surovinu lze použít biomasu obsaženou jak v tuhých komunálních odpadech, tak i v zemědělských odpadech. Proces je určen především pro zpracování odpadů z cukrovarů (řízky, kaly). To znamená, že vstupní biomasu není třeba sušit, lze zpracovávat suroviny obsahující 10–30 % hm. vody.

Pokud se týká vlastní technologie, je-li vstupující surovina suchá, musí být nejprve smočena vodou, což je realizováno při teplotě 200–250 °C a tlaku 3 MPa. Přítomnost vody významně ovlivňuje vlastnosti biomasy i finálních produktů. Po té následuje ohřev suroviny a její vlastní konverze, která se provádí při teplotě 300–350 °C a tlaku 12–18 MPa po dobu 5 až 10 minut (pokusná jednotka v Apeldoornu v Holandsku). Proces je poměrně náročný na spotřebu energie. Vedle hlavního produktu, bio-ropy, vznikající ve výtěžku cca 50 % hm., vznikají plyny (výtěžek 30 % hm.) a dalším vedlejším produktem je voda (výtěžek 15–20 % hm.). Celkově 70–90 % hm. plynu tvoří CO_2 , 20–30 % hm. pak vodík, přítomno je také malé množství metanu a CO.

Voda obsahuje asi 5 % hm. organických sloučenin a lze jí použít na výrobu bioplynu. Jak bioplyn, tak i plynný produkt z jednotky jsou využity jako palivo v peci.

Bio-ropa je viskózní černá kapalina tvořená multikomponentní uhlovodíkovou směsí, je nemísitelná s vodou, obsah vázaného kyslíku se pohybuje okolo 10–15 % hm., a je podstatně stabilnější než pyrolýzní bio-olej. Obsah dusíku a síry je velmi malý, její výhřevnost se pohybuje v rozmezí 30–36 MJ/kg. Lze ji rozdělit na lehký a těžký podíl. Těžší podíly, které obsahují všechny minerální podíly přítomné ve vyrobené bio-ropě, lze spalovat společně s uhlím v tepelných elektrárnách a lze je rovněž použít pro výrobu chemikálií. Lehčí podíly vyrobené bio-ropy jsou velmi čisté a mohou být použity pro výrobu komponenty do motorové nafty katalytickou hydrorafinací označovanou jako hydrodeoxygenace, která však s ohledem na vysokou spotřebu vodíku výrazně zhoršuje ekonomiku celého procesu.

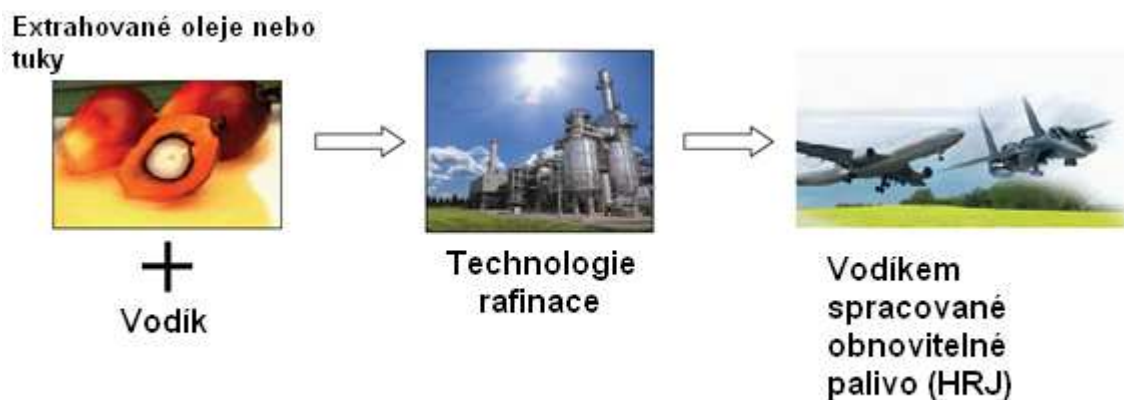
Zatím je provozována pouze pokusná demonstrační jednotka v Apeldoornu v Holandsku a do konce roku 2006 by měla být uvedena do provozu větší jednotka s kapacitou 3 000 t/rok. Velká komerční jednotka by měla být k dispozici koncem roku 2009. Odhadovaná tepelná účinnost HTU procesu je cca 80 %, začlenění hydrodeoxygenace tuto účinnost samozřejmě výrazně snižuje a to na 60 %. Při krátkodobé návratnosti se pro jednotku HTU se vstupní kapacitou 400 MWh pohybuje odhad investičních nákladů na úrovni 95 €/kWh, v případě dlouhodobé návratnosti lze očekávat snížení nákladů o 25 % a to u jednotky s kapacitou 1 000 MWh. Začlenění hydrodeoxygenace, které je v případě, že chceme vyrábět komponentu do motorové nafty nezbytné, vzrostou investiční náklady více než pětkrát na 535 €/kWh pro vstupní kapacitu 400 MWh, při dlouhodobé návratnosti lze opět očekávat jejich pokles o cca 25 %. Výrobní cena HTU paliva pro vznětové motory závisí nejen na investičních nákladech, ale je citlivá i na cenu vstupní suroviny. Holandská společnost Biofuel odhadla, že výrobní cena motorové nafty z tohoto procesu by se mohla pohybovat v rozmezí cca 5–7 €/GJ, resp. cca 0,16–0,24 €/l. Očekává se, že její kvalita bude velmi dobrá, cetanové číslo by mělo být vyšší než u klasické motorové nafty. HTU nafta bude mít jinak podobné vlastnosti jako klasická motorová nafta a bude možné ji do ní přidávat v libovolném poměru. Mezi hydrotermické způsoby zpracování biomasy lze zařadit i výše zmíněné hydrokrakování a hydrogenační rafinaci rostlinných olejů, které jsou ve stádiu výzkumně – vývojových prací.[10]

3. 1. 3 Hydroprocessed Renewable Jet (HRJ)

Je parafinické uhlovodíkové palivo vyráběné rafinací triglyceridů a mastné kyseliny přirozeně se vyskytujících v rostlinných olejích a odpadech z živočišného tuku (obr. 9). HRJ palivo je také někdy označováno jako bio-derivát syntetického parafinického petroleje, nebo bio-SPK.

HRJ výroba vyžaduje za prvé odstranění kyslíku pomocí reakce s vodíkem (dezoxygenaci). Za druhé, je snižováno množství uhlíkových atomů, až dosáhne klíčových vlastností leteckého paliva, jako je mrazu vzdornost a ideální bod vzplanutí. Rafinace probíhá velmi podobně jak u FT paliv. Typickými vedlejšími produkty jsou lehké plyny, propan a bionafta.

HRJ palivo byl úspěšně použito ve více obchodních a vojenských předváděcích letounech včetně letů s Air New Zealand, Continental, KLM. Boeing zveřejnil své závěry ze třech z těchto zkušebních letů. Analýza údajů ukazuje, že HRJ paliva splňují všechny požadavky na ně kladené. HRJ palivo splňuje ASTM specifikace pro syntetické parafinické petroleje a 50:50 směs HRJ a ropného paliva do proudových motorů se splňuje ASTM specifikace pro letecké palivo s obsahem syntetických uhlovodíků. Kromě toho míchané palivo splňuje všechny požadavky pro konvenční trysková paliva. Honeywell je jeden z velkých výrobců tohoto paliva.



Obr. 10: Proces vzniku HRJ paliva [8]

3.2 Bionafta

Odvětví pozemní dopravy rychle přijímá bionaftu, vyráběnou z rostlinných olejů, živočišných tuků a dokonce z dřevní buničiny. Letecká doprava na něj zatím čeká. Palivo totiž nemá při nízkých teplotách dobré vlastnosti, zamrzává za chladného počasí a ve velké nadmořské výšce. U bionafty jsou možné dva principy využití: Buď jako dieselové palivo do dieselových motorů či jako palivo nahrazující tryskové konvenční palivo. Z mého hlediska dosti nepravděpodobné. Aby bylo možné tryskové palivo nahradit bionaftou, bude ještě nutný v této oblasti průlomový pokrok. Bionafta je běžně míchána s konvenční naftou maximálně do 20 %, aby se předešlo problému se skladovatelností, protože se kazí a měla by být použita do šesti měsíců od výroby. Bionafta také rozkládá pryžové těsnění a hadice, ty však lze nahradit odolnými materiály. Největším problémem s bionaftou nepochybně představuje její potřeba vyšších teplot při jejím spalování. Je-li například, bionafta smíchána s kerosinem, zvýší se teplota, při které se tvoří mikrokristaly. Pouhých 10 % hmotnosti směsi bionafty zvyšuje tvorbu mikrokristalů z -51°C na -29°C .

Výzkumníci z pracují úspěšně na bionaftě odolné vůči chladu a doufají, že získají grant na využití směsi bionafty/kerosin ve vzduchu. V 90. letech Institut pro leteckou vědu na univerzitě nechal létat 60 hodin letadlo Beech King Air s motory Pratt and Whitney Canada PT6A na směs bionafty a kerosinu v poměru 20:80 a ostatní na 100% Jet A. Letalo v 25 000 stopách (7 600 m) a zdá se, že nemělo žádné problémy, řekl ředitel institutu Dr. Max Shauck. Tým testoval na zemi směsi až do 50% a obsahu bionafty a zjistil, že u směsi až do 50 % byla výkonnost stejná jako u paliva Jet A1. Nevýhodou bionafty je její obsah kyslíku, který zvyšuje její hmotnost. [6]

Lze konstatovat, že výroba bionafty představuje prověřenou a dobře zvládnutou technologii, která je úspěšně provozována ve velkokapacitním měřítku již řadu let i v podmínkách ČR. V Evropě je hlavní surovinou pro výrobu bionafty řepka olejná. Na 1 t metylesterů řepkového oleje (MEŘO) je potřeba okolo 2,5 t řepky. Současná cena MEŘO se v EU pohybuje okolo 0,5 €/l, resp. 15 €/GJ. [0]

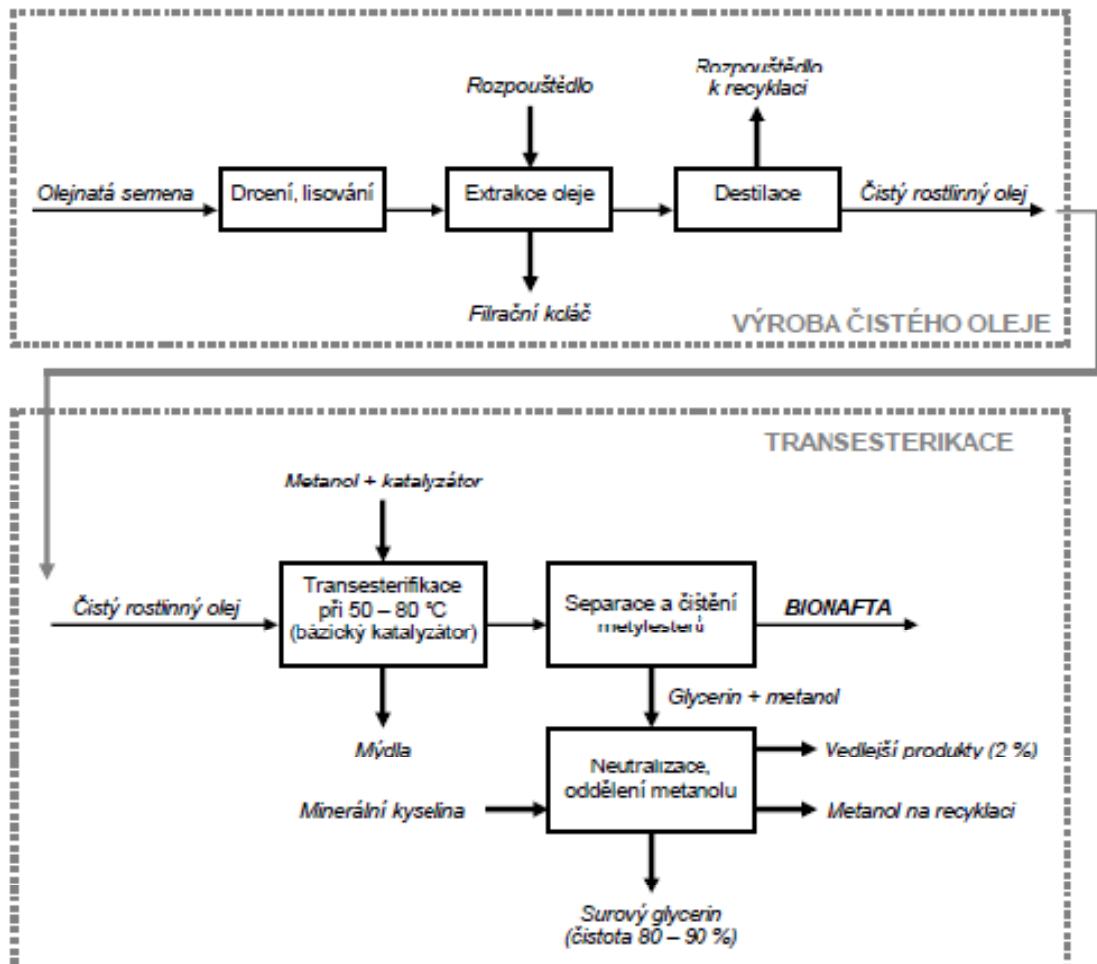
3.2.1 Technologie výroby bionafty

Termín bionafta byl zaveden pro metylestery (označované jako metylestery mastných kyselin – FAME). Výroba bionafty patří k zavedeným technologiím a předpokládá se, že již nedozná podstatných změn. Její podstatou je transesterifikace v surovině přítomných triglyceridů realizovaná v přítomnosti vhodného katalyzátoru. Reagujícími látkami jsou rostlinný olej získaný z olejnatých rostlin (sója, řepka olejná, slunečnice) nebo živočišný tuk (např. hovězí lůj, drůbeží a vepřové sádlo, rybí tuk) a metanol. Dále lze jako suroviny použít i upotřebené fritovací oleje a tuky. V současné době je 80 % světové roční produkce bionafty realizováno na bázi řepkového oleje.

Pro získání čistého rostlinného oleje jako suroviny pro výrobu bionafty se používá zavedený postup běžně používaný při výrobě rostlinných olejů v potravinářském průmyslu. Extrakcí, lisováním za studena anebo kombinací obou způsobů se získá rostlinný olej a jeho následnou destilací se oddělí rozpouštědlo, které se recykluje. Odpadní produkt, filtrační koláč, s vysokým obsahem proteinů lze využít jako krmivo.

Čistý rostlinný olej lze sice teoreticky použít jako palivo v dieselových motorech i přímo bez úpravy jeho chemické struktury a aditivace, problémem jsou ale jeho špatné vlastnosti (vysoká viskozita, špatná termická a hydrolytická stabilita a cetanové číslo jen 33–43 jednotek). Problémy byly zjištěny i při dlouhodobějším používání jeho směsi s motorovou naftou jako paliva ve vznětových motorech.

V prvním kroku se v metanolu nejprve rozpustí použitý katalyzátor, kterým je obvykle hydroxid draselný nebo sodný, a směs obou látek je společně s rostlinným olejem dávkována do uzavřeného reaktoru na transesterifikaci. U suroviny je třeba kontrolovat obsah vody a volných mastných kyselin. Jejich větší množství je příčinou tvorby mýdel (saponifikace) a problémů, ke kterým může docházet při oddělování glycerolu z reakční směsi. Transesterifikace je vratná reakce, z důvodu dosažení téměř úplné přeměny triglyceridů na metylestery se používá přebytek metanolu (molární poměr 4–20 : 1), použité množství katalyzátoru se pohybuje v rozmezí 0,3–1,5 % hm. vztaženo na surovinu. Reakční teplota se obvykle pohybuje v rozmezí 50 - 80 °C, reakční doba je od 1 do 8 hodin. Používá se buď vsádkový reaktor (obvykle u jednotek s menší výrobní kapacitou), je ale možno pracovat i kontinuálně při použití míchaných reaktorů nebo reaktorů s pístovým tokem.



Obr. 11: Blokové schéma výroby bionafty transesterifikací rostlinných olejů [10]

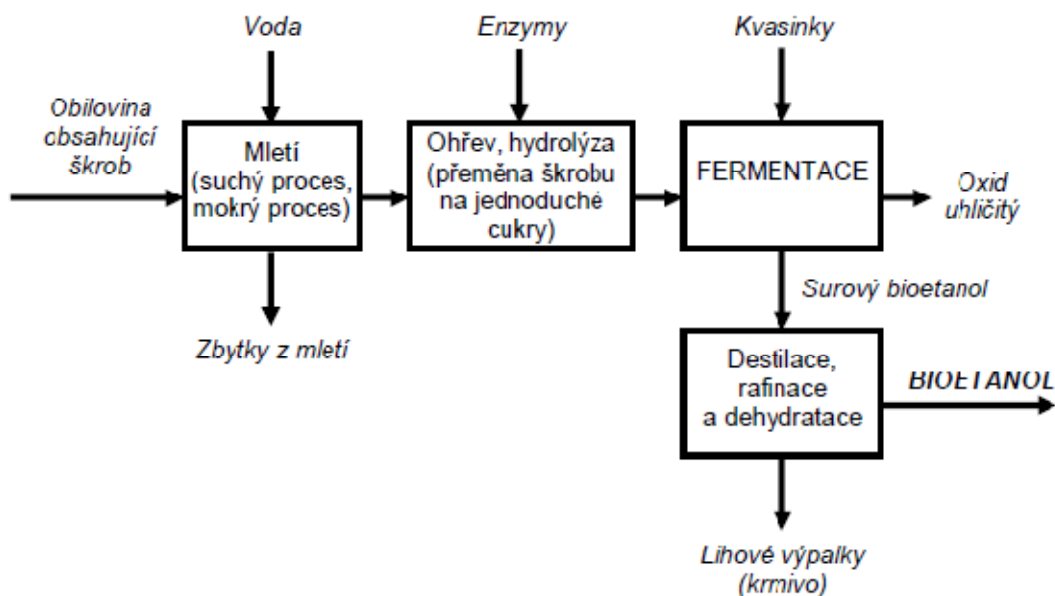
Transesterifikační reakce je katalyzována kvůli provedení reakce při nízké teplotě a tlaku, dosažení přímé a dostatečně vysoké konverze (cca 98 %) při relativně kratších reakčních časech. Po transesterifikaci následuje oddělení glycerolu od metylesterů. Protože jak bionafta, tak glycerol obsahují metanol, je dalším krokem jeho oddestilování. Obě oddělené fáze je nutno před oddestilováním metanolu nejprve zneutralizovat přidavkem minerální kyseliny; kyselina neutralizuje přítomný katalyzátor a rozštěpí vzniklá mýdla. Oddělený metanol je recyklován. Na 1 t bionafty (FAME) vzniká asi 100 kg glycerolu. Bionaftu je po odstranění metanolu ještě třeba důkladně promýt teplou vodou a odstranit tak zbytky katalyzátoru a/nebo mýdel a nakonec zbavit vody. Glycerin představuje cenný produkt pro kosmetický průmysl. [10]

3.3 Paliva na bázi alkoholu

Dalším typem obnovitelných paliv jsou paliva na bázi alkoholu. Tyto paliva, nejsou příliš vhodná jako náhražka konvenčního tryskového paliva, protože použití 100% etanolu jako leteckého paliva by vyžadovalo oddělené skladování a distribuční systém. Což by bylo velmi nákladné. Míchání etanolu s konvenčním tryskovým palivem by přineslo problémy, protože mají značně odlišné fyzikální i chemické vlastnosti. Nemluvě o negativních vlivech na proudové motory. A však toto palivo se hodí jako náhražka AVGASU pro malá letadla s pístovými motory. Detailnímu rozboru se budu věnovat v kapitole 8.

3.3.1 Výroba Bio-etanolu

Bio-etanol se vyrábí technologií alkoholového kvašení z biomasy. Obvykle z rostlin obsahujících větší množství škrobu a jiných sacharidů. Vedle rostlin obsahujících škrob, jako jsou kukuřice, obilí a brambory, jsou nejčastěji používanou surovinou cukrová třtina a cukrová řepa. Zatímco rostliny obsahující cukr se fermentují přímo, musí se u rostlin s obsahem škrobu škrob nejprve enzymaticky přeměnit na cukr. Vyrobený bio-etanol se může přímo používat ve spalovacích motorech jako pohonná hmota. Ale v praxi se čistý etanol nepoužívá, spíše se v množstvích 5 % až 10 % přimíchává do konvenčních minerálních paliv. Pomocí etanolu se zvyšuje oktanové číslo a snižuje se množství emisí CO_2 . Etanol obsahuje 35% kyslíku a vře při teplotě 78°C . Letecké palivo vře při teplotě 150 až 300°C . Etanol má výrazně vyšší výparné teplo než uhlovodíková paliva. Etanol je zároveň velmi silné rozpouštědlo a jeho vliv na materiály se stále zkoumá. Etanol je mísitelný s vodou na rozdíl od uhlovodíkových paliv.



Obr. 12: Blokové schéma výroby bioetanolu z obilovin [10]

3.3.2 Rafinace a dehydratace bio-etanolu

Pokud je vyráběný bio-etanol použit jako pohonná hmota, je jeho rafinace zaměřena na odstranění vedlejších produktů fermentace, které mohou nepříznivě působit na součásti palivového systému automobilů a na průběh procesu odvodňování lihu. Jde o kyseliny, aldehydy, ketony a přiboudlinu, jejichž odstranění vyžaduje soustavu dvou destilačních kolon. Celá tato soustava je procesně propojena tak, aby k jejímu provozu stačil jeden zdroj tepla a došlo ke kaskádovému vytápění jedné kolony s druhou. S ohledem na chemické složení destilovaného média se volí protiproudý teplotní spád s nižší teplotou varu zápary a vyšší u rektifikovaného etanolu. Důvodem vytvoření protiproudého teplotního spádu je odstranění možnosti vytváření inkrustací a usazenin v kontaktním ústrojí destilačních kolon, které mohou vznikat tepelnou degradací prokvašené zápary. Výsledkem rafinace a rektifikace surového bio-etanolu je rafinovaný bio-etanol, který obsahuje maximálně 95,5 % hm. etanolu, zbytek tvoří voda. To je dáno vlastnostmi směsi etanolu a vody vytvářející při destilačním dělení azeotropická směs (směs o konstantním boduvaru), která nejde tímto způsobem již dále dělit. K dělení azeotropické směsi vody a lihu je nutné použít modifikované metody, z nichž nejznámější je destilační dělení ternární směsi. [10]

4. Nemísitelná alternativní paliva

Nejsou mísitelná s konvenčními palivy a dokonce bude nutná nová infrastruktura pro jejich použití. Mezi tyto paliva patří tzv. kryogenní paliva. Do této skupiny patří například vodík. Tato technologie vypadá slibně v případě výroby vodíku ze zdrojů budoucnosti, jako je třeba jaderná fúze. A však nevýhoda je hlavně v tom že vyžaduje nové motory a novou kompletní techniku plnění a transportu. Což je v blízké budoucnosti nepravděpodobné ale postupem času si určitě i tato technologie najde uplatnění.

Zatím je v letectví využíván vodík v několika malých experimentálních letadlech. Kde se uplatňuje systém palivových článků. Jsou totiž energeticky mnohem účinnější než spalování vodíku. Tomuto palivu se dále nebudu nijak více věnovat ve své práci, protože svým obsahem a dlouholetostí předpovědí převyšuje rámec mé práce.

4.1 Vodík

Vodík je nejrozšířenějším prvkem ve vesmíru. Přepokládá se, že tvoří 90% atomů ve vesmíru a 75% se podílí na hmotnosti vesmíru. Již z tohoto hmotnostního podílu je vidět jeho důležitost a téměř neomezený nedostatek jeho zásob. Na Zemi je třetím nejrozšířenějším prvkem po kyslíku a křemíku. Asi 15,4% atomů zemské kůry a oceánů tvoří vodík vázaný ve sloučeninách. Vodík je hlavní složkou hvězd a zároveň jejich hlavním palivem. Hvězdy získávají svou energii díky fúzní reakci vodíkových jader za vzniku hélia. Vodík tvoří více chemických sloučenin než ostatní prvky včetně uhlíku a sloučeniny tvoří s většinou prvků periodické tabulky. V dnešní době se při výrobě vodíku nejvíce využívá metody zplynování uhlí. Touto metodou se vyrobí 90% produkce. Za další perspektivní metody se považují: elektrolýza vody, termické štěpení vody a zplyňování biomasy, zvláště biomasy odpadní.

Velké ropné společnosti produkující klasická kapalná motorová paliva i výrobci motorových vozidel jsou přesvědčeni, že vodík je palivem budoucnosti. Pro masové využití vodíku v dopravě je ovšem třeba mít k dispozici jeho dostatečný a relativně levný zdroj a vybudovat potřebnou infrastrukturu pro jeho distribuci. Je třeba říci, že vodík není primárním zdrojem energie pro pohon motorových vozidel, ale jejím nosičem. Pro pohon motorových vozidel jej lze využít dvěma základními způsoby:

- Jako palivo ve spalovacích zážehových motorech a to buď samotný, nebo v kombinaci s dalším palivem (metan, benzin)
- Jako surovinu pro elektrochemickou oxidaci v palivových článcích generujících elektrickou energii použitou pro pohon motorového vozidla.

Vodík je nejčistším palivem, při jeho spalování vzniká jako vedlejší produkt pouze voda. Z tohoto důvodu je výhodné jej použít přímo jako pohonnou hmotu pro motorová vozidla. Za perspektivní se však považuje především jeho využití v palivových článcích s ohledem na skutečnost, že při generování energie vykazují palivové články podstatně větší energetickou účinnost než motory s vnitřním spalováním. Předpokládá se, že palivové články by se mohly stát dominujícím způsobem pohonu motorových vozidel v průběhu příštích 50 let. Vodík je nejčastěji se

vyskytujícími prvky nejen na zemi, ale i v celém vesmíru. Pouze 1 % hm. z celkového množství na zemi se vyskytujícího vodíku představuje plynný vodík. Prakticky nevyčerpatelné jsou zásoby vodíku ve vodě, významně je zastoupen i ve fosilních palivech. Za perspektivní surovinu pro výrobu vodíku je považována biomasa.

Podobně jako pro výstavbu energetických zařízení i pro výstavbu velkých letadel je potřeba dlouhý čas. Současně se tím zvyšují i výrobní náklady, které potom vyžadují, aby životnost letadel byla co nejdelší. Velké letecké společnosti hledají palivo, které by nahradilo současně používaný letecký petrolej. V porovnání s používáním vodíku v pozemní dopravě je kryogenní skladování vodíku a jeho použití v letecké dopravě více schopné konkurovat už používaným palivům. Vyplývá to z podstatně většího obsahu energie na jednotku hmoty v případě použití LH_2 , což je rozhodujícím činitelem právě v letecké dopravě. Použitím vodíku se snižují provozní náklady, pořizovací cena letadel, energetická náročnost a dosahuje se menšího znečištění ovzduší a hluchosti. Vodík se dá určitě považovat za palivo budoucnosti. [15]



Obr. 13: Fotografie experimentálního letounu s pohonem na palivové články [14]

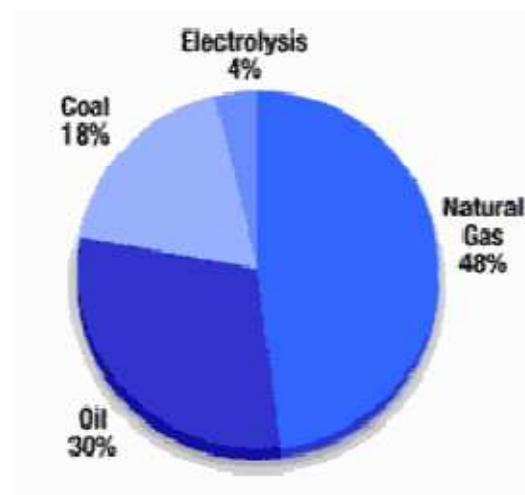
Průmyslově se vodík vyrábí hlavně jednak petrochemickými procesy včetně zplyňování uhlí jednak elektrolýzou vody, navíc je významným vedlejším produktem nebo součástí plynů odcházejících z rafinerií, koksáren a elektrochemických výroby na bázi vodných roztoků anorganických kyselin nebo solí. Dále lze vodík vyrábět elektrolýzou vody nebo tepelným rozkladem vody.

4. 1. 1 Elektrolýza vody

Jedná se o proces, při němž stejnosměrný proud rozkládá vodu na kyslík a vodík. Vzhledem k tomu, že se každý plyn vyvíjí na jiné elektrodě je možné je snadno oddělit. Výchozí surovinou je pouze voda. Celková spotřeba energie při této výrobě je 5 kWh/m^3 vodíku při celkové účinnosti cca 18-28%. Tato nízká účinnost je hlavní nevýhodou tohoto způsobu výroby vodíku.

4. 1. 2 Tepelný rozklad vody

Chemická vazebná energie vody je tak velká, že k rozštěpení molekuly dochází teprve při teplotě 3000°C . Vzhledem k obtížnému dosažení této teploty je přímý tepelný rozklad vody k výrobě vodíku v současné době nepoužitelný.



Obr. 14: Zastoupení způsobů výroby vodíku podle surovin [7]

5. Předpisy zabývající se bio-palivy v letecké dopravě

Významnou roli úspěšnosti alternativních paliv v letecké dopravě hraje taky legislativní stránka této věci. Provozovatelé letadel, kteří uvažují o použití alternativních paliv, by si měli být nejprve vědomi právních a správních předpisů, které ovlivňují využívání těchto paliv. Momentálně neexistují žádné předpisy, které by zavazovaly letecké společnosti k používání alternativních paliv, pomocí kvót nebo objemových cílů. Nicméně, Směrnice ES, které vytvořila EU Systém pro obchodování s emisemi (EU ETS) se vztahuje na letecké provozovatele ze všech zemí, jejichž lety přilétají nebo startují z EU letišť. EU ETS ustanovila přísné limity na emise, a proto požaduje, aby letecké společnosti, buď kupovali emisní povolenky, nebo zaváděli další emise-snižující techniky. Bio-palivo je vhodnou náhradou za tradiční tryskové palivo a nabízí jednoduchou cestu ke snižování uhlíkových emisí, aniž by významně měnilo stávající leteckou praxi.

5.1 Kjótský protokol a Evropské předpisy

Snížení globálních emisí skleníkových plynů bylo projednáváno v roce 1992 na Konferenci spojených národů o životním prostředí a rozvoji, která vytvořila smlouvu s názvem Rámcová dohoda spojených národů o změnách klimatu (UNFCCC). Cílem této smlouvy byla "stabilizace koncentrací skleníkových plynů v atmosféře na úroveň, která by zabránila nebezpečnému antropogennímu zasahování do klimatického systému". Nejvyšším rozhodujícím orgánem v rámci UNFCCC je Konference smluvních stran (COP).

Třetí zasedání COP v roce 1997 vyústilo k přijetí Kjótského protokolu (KP) o změně klimatu, kde došlo k obecné shodě o snížení emise skleníkových plynů na množství před rokem 1990. Kjótský protokol, který vstoupil v platnost v únoru 2005, vyústil ve vytvoření dvou komisí EU. Systému pro obchodování s emisemi (ETS) a Směrnice pro obnovitelné zdroje energie (RED). EU ETS je první systém na světě pro mezinárodní obchodování s emisemi. Pracuje na limitovaném a obchodním základě, kdy je stanovena celková alokace na začátku obchodovacího období. Směrnice pro obnovitelné zdroje energie stanoví ambiciózní cíle pro všechny členské státy tak, aby EU společně dosáhla 20% podílu energie z obnovitelných zdrojů do roku 2020 a 10% podílu obnovitelných zdrojů energie zejména v odvětví dopravy.

Od roku 2012 budou všechny letecké společnosti při vzletu nebo přistání na letištích v rámci Evropského společenství, součástí obchodování s emisemi, s výjimkou těch, které mají méně než 243 letů za rok.

5.2 Americké předpisy týkající se alternativních paliv

USA nikdy neratifikovaly Kjótský protokol, místo toho se rozhodly pokračovat v domácí agendě na základě energetické nezávislosti, v níž emise skleníkových plynů nejsou přímo omezeny. V roce 2005 Americký kongres schválil zákon o energetické politice (EPA), který se týkal ustanovení o daňových pobídkách a zárukách na úvěry pro výrobu energie z různých zdrojů. Ustanovení tohoto zákona Standardu obnovitelných paliv, pověřuje použití 7,5 miliard galonů ročně z obnovitelných pohonných hmot do roku 2012.

USA zákon o energetické nezávislosti a bezpečnosti z roku 2007 rozšířil EPA zvýšením mandátu na 36 miliard galonů ročně z obnovitelných zdrojů u pohonných hmot do roku 2012. Tento mandát se vztahuje na rafinerie, mixéry a dovozce paliva, ale ne konkrétně k odvětví letecké dopravy.

V únoru 2010, US EPA vydala své závěrečné předpisy pro Program národních norem o obnovitelných palivech. Tato nová norma vyžaduje kombinaci různých alternativních paliv (pravděpodobně včetně leteckých biopaliv) k dosažení celkového objemu. [8]

5.3 Systém evropské unie pro obchodování s emisemi (EU ETS)

Systém evropské unie pro obchodování s emisemi ustanovuje daně pro letecké společnosti, na základě ověřitelných údajů o jejich spotřebě paliva a zpráv o příslušných emisních (uhlík) faktorech. V rámci ETS se letecká paliva založená na biomase považují za CO₂-neutrální a letecké společnosti mohou mít prospěch z osvobození od povolenek a kreditů.

V roce 2012 budou v EU podchycené limity pro emise z letecké dopravy. Budou stanoveny na 97% průměru ročních emisí z let 2004-2006 a od roku 2013 budou sníženy na 95%. Průměrné roční emise oxidu uhličitého v letectví z let 2004-2006 byly přibližně 217 milionů tun, což znamená, že hranice bude stanovena na 97% to je 210 milionů tun. Proto celkové emise oxidu uhličitého z letecké dopravy v roce 2012 nesmí překročit 210 milionů tun.

Každá letecká společnost byla přiřazena k jednomu z členských států a daný členský stát bude udělovat limity uhlíku pro každou leteckou společnost, v poměru k její činnosti v roce 2010. Letecké společnosti budou muset prokazovat, že nepřekračují limity množství uhlíku pro ně povolené.

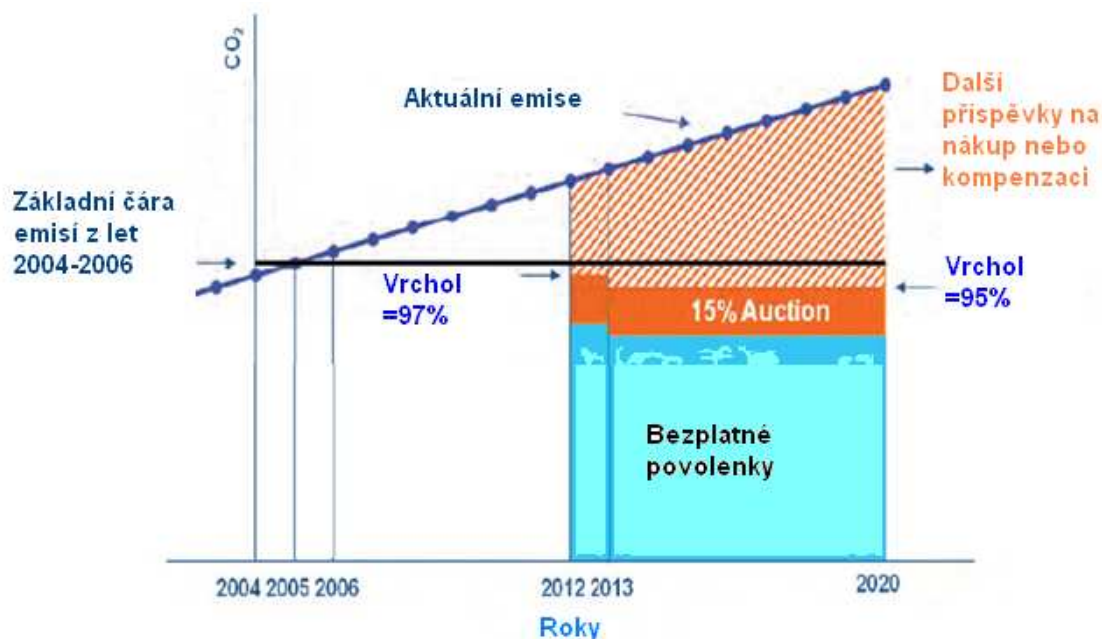
5.3.1 Letecké emisní povolenky v EU

Nejvyšší povolený limit pro odvětví letecké dopravy, 210 milionů tun uhlíku v roce 2012 bude kontrolován vytvořením 210 milionů leteckých emisních povolenek (EUAAs), z nichž každá odpovídá jedné tuně CO_2 . 85% těchto povolenek bude rozděleno členskými státy mezi jejich letecké společnosti a zbytek se bude dražít. V lednu 2010 evropská komise zveřejnila konečný seznam zaznamenaných provozovatelů letadel u EU ETS a jejich správních členských států, který zahrnoval 4280 společností. Tyto společnosti nesmí společně vypouštět více než 210 milionů tun CO_2 v roce 2012.

EUAAs jsou formou uhlíkových kreditů, které jsou obchodovatelnou komoditou, a mohou být doplňovány následujícím způsobem:

- **EUA** (EU povolenka emisí = 1 tuna CO_2) běžné povolení pro pozemní zařízení (v neleteckém sektoru) v EU ETS. Letecké společnosti mohou získat EUA navýšením svých EUAAs.
- **CER** (Certifikované snižování emisí = 1 tuna CO_2) vytvořené KP mechanismem čistého rozvoje (CDM), což představuje snížení o jednu tunu CO_2 . Letecké společnosti mohou získat CER ke kompenzaci emisí CO_2 .
- **ERU** (snižovací emisní jednotka = 1 tuna CO_2), vytvořená mechanismem KP Joint Implementation (JI), což představuje snížení o jednu tunu CO_2 . Letecké společnosti mohou získat ERU pro kompenzaci emisí CO_2 .

Během tří měsíců od konce ohlašovacího roku (tj. do 31. března následujícího roku), každá letecká společnost musí vyřadit povolenky ve výši svých celkových emisí za uplynulý rok. Zpočátku obdrží svých přidělených 85% EUAAs zdarma, ale zbytek si budou muset dokoupit formou aukce nebo přímým prodejem. Alternativně mohou letecké společnosti získat EUA, CER a/nebo ERU, jejichž součet (plus volné EUAAs) se musí rovnat jejich čisté uhlíkové emisi za každý ohlašovací rok.



Obr. 15: Schematické znázornění emisí a výše příspěvků EUAAs [8]

5. 3. 2 EU ETS monitorování a podávání zpráv o emisích

EU ETS směrnice ukládají provozovatelům letadel zaznamenaných systémem monitorování a vykazování zpráv o svých emisích nechat zprávy ověřit nezávislým a akreditovaným ověřovatelem. Hlavní výzvou pro letecké společnosti je, jak integrovat alternativní paliva do svého ročního emisního monitorovacího plánu (AEMP) a ročního výkazu emisí (AER), tak aby alternativní paliva byla uznána jako faktor na snížení uhlíkových emisí. Roční emisní monitorovací plán (AEMP) popisuje pozorování spotřeby paliva a postupy při podávání zpráv příslušným autoritám do 31. srpna roku před ohlašovacím rokem. Příslušné autority schvalují roční emisní monitorovací plán do 31. prosince před rokem ohlašovacím.

Roční emisní monitorovací plán obsahuje informace o leteckém parku provozovatele a určuje předem metody, které mají být použité při sledování:

- Údaje o spotřebě paliva, včetně vybraných metodik pro výpočet spotřeby paliva
- Postupy pro měření doplněného paliva a paliva v nádržích
- Postupy pro zajištění měření u nejistých komponentů pro sjednocení monitorovaných údajů a podávaných zpráv
- Postupy pro měření hustoty paliva
- Seznam alternativních paliv, které mohou být použity, včetně obsahu biomasy a emisních faktorů

Roční výkaz emisí se podobá ročnímu emisnímu monitorovacímu plánu, ale podává se po uplynutí ohlašovacího roku do 31. března následujícího roku. Roční výkaz emisí používá metodiku již popsanou v ročním emisním monitorovacím plánu pro výpočet celkových emisí uhlíku. Mezi další informace ročního výkazu emisí patří:

- Celkový počet letů za ohlašovací rok
- Celkové množství emisí CO₂
- letadlové údaje (typ, registrační číslo, apod.)
- Odchyly od metod popsaných v AEMP
- Seznam používaných alternativních paliv, obsah biomasy a emisní faktory

5.3.3 Schvalování bio-paliva a určování emisních faktorů

Množství emisí CO₂ vznikající při spalování je přímo úměrné množství spotřebovaného paliva. Emise CO₂ se vypočítávají vynásobením spotřeby paliva konstantním emisním faktorem. Příslušný emisní faktor se stanoví pro každý druh paliva, což je hlavním úkolem ročního emisního monitorovacího plánu a ročního výkazu emisí. Znění pozdějších předpisů stanoví emisní faktor konvenčního paliva do proudových motorů na 3.15 kg CO₂/kg paliva. To znamená, že na každý kg konvenčního proudového spalovaného paliva je odepisováno 3.15 kg CO₂. Při typické hustotě tryskového paliva ve výši 0,8 kg / litr, při spalování přibližně 400 litrů leteckého paliva se jedná 1 tunu emitovaného CO₂.

V EU ETS je stanoven emisní faktor bio-paliv na 0. To odráží skutečnost, že paliva z biomasy vypouštějí mnohem méně čistého uhlíku do atmosféry. Vzhledem k tomu, že paliva z derivátů ropy přijímají uhlík z fosilních zdrojů a uvolňují ho zpět do atmosféry, aniž by ho z ní předtím odčerpaly. Paliva vyrobená z biomasy absorbují uhlík z atmosféry při růstu a pouze ho znovu do ní vrací při spalování. Proto spalování konvenčního leteckého paliva zvyšuje koncentraci CO₂ v atmosféře, zatímco bio-paliva jsou považována za neutrální. Následující výňatky z MRG [7] demonstrují, jak se určuje emisní faktor bio-paliva:

-Z MRG Přílohy I, oddíl 5.5: "Biomasa je považována za CO₂ neutrální. Emisní faktor 0 se aplikuje na biomasu. Seznam příkladů různých druhů materiálů přijatých za biomasu je uveden v oddíle 12 této přílohy. "

-Z MRG Přílohy I, oddíl 12 (Seznam CO₂-neutrální biomasy): "Tento seznam obsahuje materiály, které jsou za biomasu považovány při uplatnění těchto pokynů a mají se považovat za materiál s emisním faktorem 0 ... Skupina 4 - Paliva, jejichž složky a meziprodukty byly kompletně vyrobeny z biomasy ". Bohužel Skupina 4 (kapalná bio-paliva) seznamu neobsahuje konkrétní odkaz na FT-SPK nebo HRJ, typická letecká bio-paliva, ale následující pasáž to objasní.

-Z MRG Přílohy I oddíl 11 (emisní faktory): "Jestliže palivo nepatří k existující kategorii paliva provozovatel má použít odborný posudek k přiřazení používané pohonné hmoty k příslušné kategorii paliva, s výhradním souhlasem příslušného orgánu. " [7]

Vzhledem k tomu, že jak FT tak i HRJ jsou vyrobeny z biomasy (s výjimkou paliv FT z uhlí nebo zemního plynu), každý je kvalifikován na základě kategorie "jiná kapalná bio-paliva" a jsou definována emisním faktorem nula. Výběr tohoto emisního faktoru musí být jasně uveden v AEMP a AER letecké společnosti a musí být schválen příslušným orgánem.

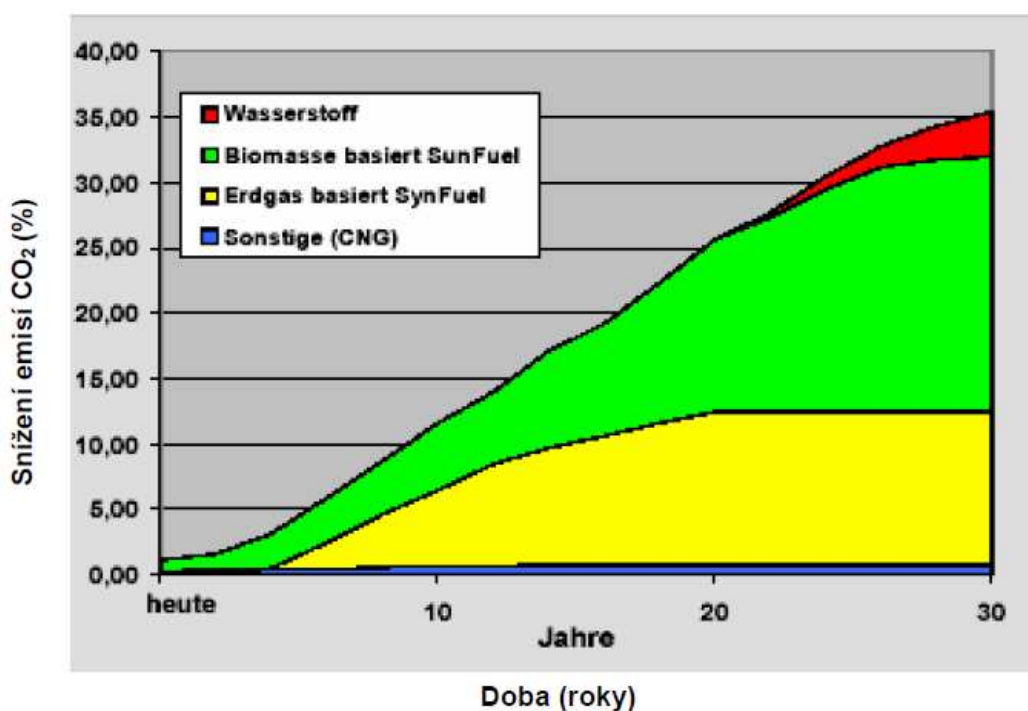
Připomínám, že spalování 400 litrů konvenčního leteckého paliva zapříčiňuje jednu tunu emisí CO₂, dá se tedy říci, že spalování 400 litrů bio-paliva vede k zamezení emisí jedné tuny CO₂. To vzhledem k nulovému emisnímu faktoru dělá z bio-paliva zajímavou možností pro letecké společnosti v souladu s EU ETS. [7]

5. 3. 4 Směrnice EU pro obnovitelné zdroje energie

V EU směrnici pro obnovitelné zdroje energie musí tvořit 10% podílu s celkové spotřeby energie obnovitelná paliva v dopravě a to do roku 2020. Provozovatelé letadel nejsou povinni přispívat k tomuto cíli, ale letecká paliva z obnovitelných zdrojů mohou započítat do celkového objemu mandátů dopravních bio-paliv členských států. Proto jsou členské státy motivovány k začlenění leteckého bio-paliva do svých portfolií finančních pobídek pro obnovitelné zdroje energie.

Finanční pobídky pro výrobu a spotřebu bio-paliv (kromě snížení potřeby získávání nákladných EUAA v rámci ETS), jsou zpracovávány na úrovni členských států. Vzhledem k tomu, že existuje 27 členských států, a směrnice pro obnovitelné zdroje energie funguje stále jen na úrovni vnitrostátních právních předpisů, kompletní seznam bio-palivových pobídek není v současné době možný. Registrované letecké společnosti se musí kontaktovat se svým příslušným správcem pro získání podrobností o místních podporách k používání bio-paliv.

Stejně jako u amerického systému, bio-paliva, která splňují příslušná kritéria lze započítat k vnitrostátním cílům stanoveným podle směrnice pro obnovitelné zdroje energie.



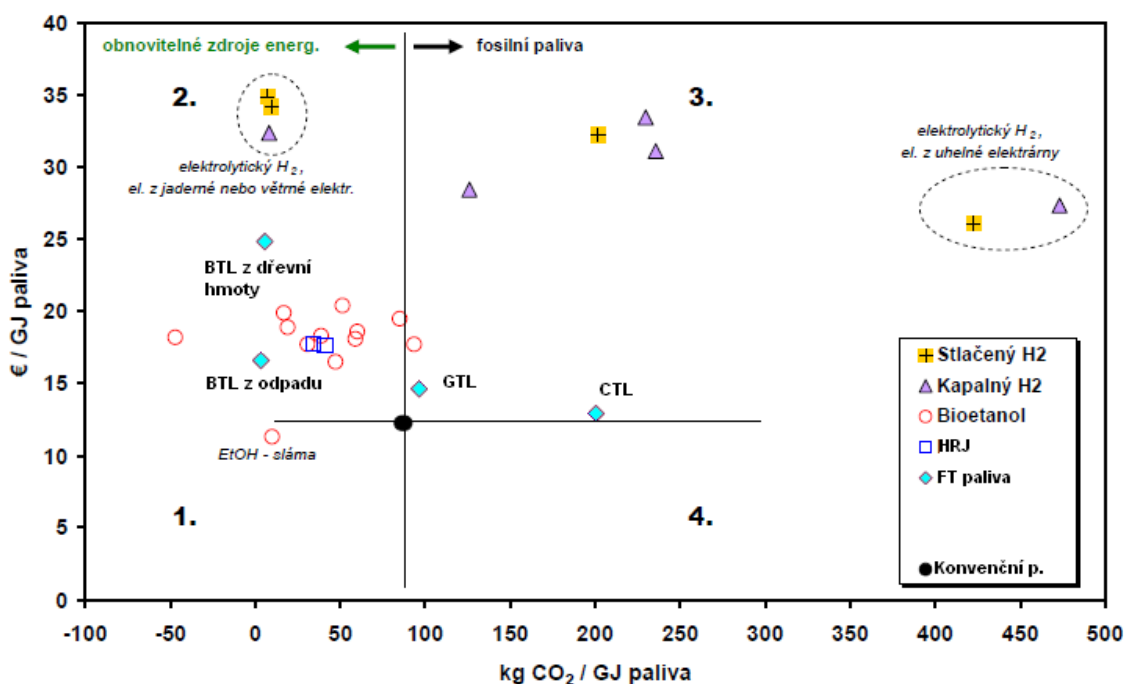
VODÍK **BTL SYN FUEL** **GTL SYNT. PALIVA NA BÁZI ZEMNÍHO PLYNU** **CNG**

Graf 1: Evropský scénář snižování emisí CO₂ z dopravy a podíl jednotlivých typů alternativních paliv na tomto snižování [10]

6. Produkce skleníkových plynů a cenová náročnost alternativních paliv

V této kapitole bych chtěl zhodnotit všechny dostupné druhy alternativních leteckých paliv. A to na základě jejich ceny a produkci skleníkového plynnů. Vycházel jsem z dat týkajících se alternativních paliv pro automobily. Přílohy č. 3,7,8. Vzhledem k tomu že HRJ proces je podobný výrobě bionafty. Podobně jako výroba leteckého bio-paliva z BTL je podobné výrobě syntetické nafty využívající BTL proces. Jsou tyto data plně využitelná pro úvahy o leteckých palivech.

Co se nákladů týče, jsou zohledněny i jednotlivé vedlejší výrobky, tudíž nejsou hodnoty odlišné od alternativních paliv pro autodopravu. V Obr. 15 jsou shrnuty jak data o emisích tak data o cenách a přímo vybízí k snadnému pochopení závislostí, které ovlivňují využitelnost a budoucí úspěšnost jednotlivých paliv. Ekonomická využitelnost jednotlivých alternativních paliv se odvíjí od vyspělosti technologie výroby, ale zároveň ji ve značné míře ovlivňuje světová cena ropy. Tento způsob vizualizace dat všech paliv se mi zdá být velmi efektivní a plně nahrazuje jednotlivé propočty pro různé varianty užití paliv u konkrétní společnosti. Je zde i pěkně znázorněna produkce skleníkových plynů jednotlivých paliv. Diagram umístěn i v příloze č.1.



Obr. 16: Porovnání výrobní ceny a emisí

Z prezentovaných dat zcela jednoznačně vyplývá značná finanční náročnost skleníkových plynů v porovnání s klasickými kapalnými palivy na ropné bázi. Ideální oblast reprezentuje 1. kvadrant, s nižšími emisemi skleníkových plynů a současně i výrobní cenou paliva, nižší než je cena konvenčních motorových paliv, nejméně vhodnou oblastí je pak 3. kvadrant, v němž emise skleníkových plynů a současně i výrobní cena paliva vzrůstají. Do 1. kvadrantu lze v současnosti zařadit naprosté minimum alternativních paliv, reálný je pouze bio-ethanol z odpadní slámy. S postupným nárůstem ceny ropné suroviny se bude posunovat vodorovná osa kříže směrem k vyšším hodnotám a tím se do 1. kvadrantu přesunou i další kapalná a plynná alternativní paliva a významně se tak rozšíří spektrum konkurence schopných pohonných hmot (bio-ethanol, HRJ, syntetická paliva). Mimo oblast reálného použití v krátkodobém i střednědobém horizontu pravděpodobně zůstane výroba vodíku (3. i 2. kvadrant). V případě vodíku jako alternativního paliva je ekologická výhodnost/nevýhodnost zásadním způsobem ovlivněna zdroji a způsobem jeho výroby.

Kvalitní syntetická letecká paliva vyrobená F-T syntézou ze zemního plynu GTL představují z hlediska skleníkových emisí celkově vyšší zátěž životního prostředí než konvenční motorová paliva, ale stále výrazně menší než syntetická paliva vyrobená z uhlí CTL. Syntetická GTL (nebo CTL) paliva bude reálně využívat ve střednědobém horizontu. CTL a GTL jsou vhodné spíše jako krátkodobá náhražka paliv z ropy. Neřeší, však žádný z problémů vznikajících spalováním ropných produktů, jen odsouvají jejich řešení. Proto je ani nezařazují do svých dalších úvah.

Varianta výroby syntetických paliv z biomasy BTL je velmi výhodná z hlediska úspory skleníkových plynů, ale stále ještě energeticky velmi náročné. HRJ paliva jsou na tom velmi podobně jako BTL paliva. HRJ a BTL paliva jsou nejvhodnější pro hromadnou leteckou dopravu (jako náhrada za JET A1). Jak z diagramu vyplývá bude se stoupající cenou ropy jejich výroba stále výhodnější.

Jako jediné vhodné palivo pro sportovní malá letadla s pístovými motory se mi jeví bio-ethanol, i když v jeho případě bude zapotřebí vybrat vhodný zdroj pro výrobu. Hodnoty se značně liší podle surovin, ze kterých je vyráběn. Nejvhodnější by byla sláma. Jak vyplývá z grafu v příloze č. 7.

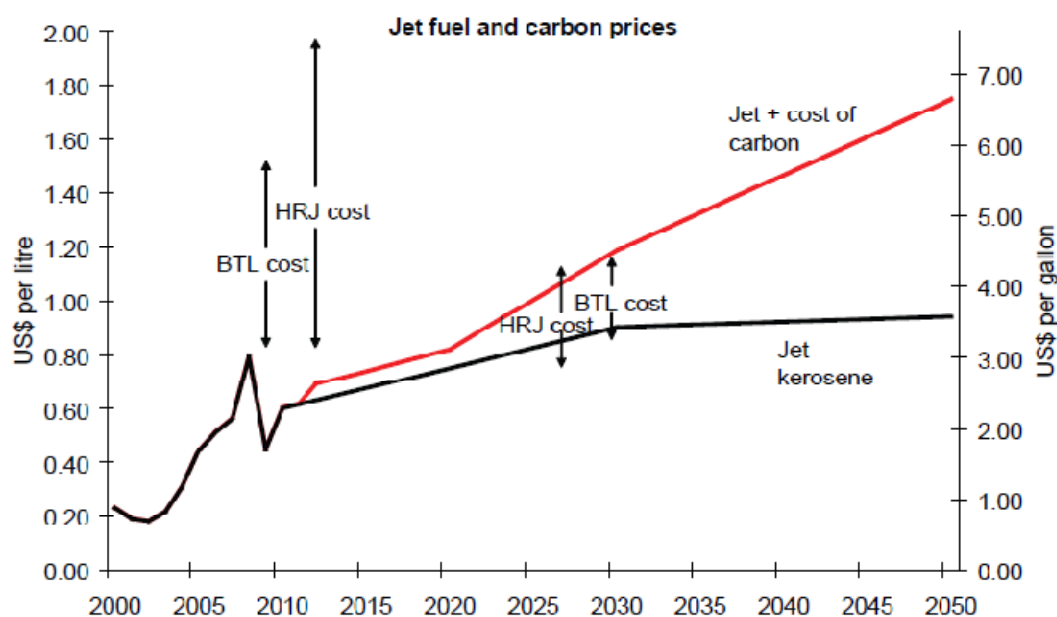
Jedním z hlavních argumentů pro používání alternativních leteckých paliv jsou ekologické důvody. Které, jak vyplývá z diagramu, jsou u všech uváděných biopaliv na velmi nízkých hodnotách. Alternativní letecká paliva obecně představují menší zátěž pro ovzduší jak z hlediska emisí skleníkových plynů, tak i dalších anorganických a organických škodlivin obsažených ve zplodinách z leteckých motorů – oxidu uhelnatého (CO), oxidů dusíku (NO_x), celkových uhlovodíků a částic. Výhodou alternativních paliv jako je bionafta nebo bio-ethanol – je jejich biologická odbouratelnost ve srovnání s klasickými leteckými palivy na ropné bázi. Bio-paliva jsou vyráběna z různých typů rostlin a ty při svém růstu filtrují z ovzduší CO₂. Tato vlastnost se bere v potaz a odečítá se od množství CO₂ které je při spalování bio-paliva vypouštěno do ovzduší. S čehož vyplývá, že nemá smysl dělat porovnávací propočty mezi bio-palivem a konvenčním palivem. Ve své práci se proto budu věnovat více legislativě a budoucnosti alternativních paliv. Všechny bio-paliva beru jako CO₂ neutrální.

7. Hromadná letecká doprava vs. alternativní paliva

V této části práce bych chtěl shrnout veškeré faktory ovlivňující úspěšnost alternativních leteckých paliv u leteckých společností. Pro toto letecké odvětví jsou stěženy dvě věci. První se týká bezpečnosti a ta je daná přísnou certifikací leteckých paliv, kterou již zvládli absolvovat dva typy paliv (FT a HRJ). No a ta druhá se týká peněz tedy přesně řečeno ekonomickou stránkou alternativních paliv. Myslím si, že rentabilita různých alternativních paliv bude pro jednotlivé technologie a druhy paliv rozhodující. Proto bych chtěl ekonomickou stránku alternativních paliv stavět do popředí. A změřit se v tom na dva hlavní lídry v tomto sektoru FT a HRJ palivech. Podle toho jak již dnes přibývá leteckých společností, které experimentují s alternativním palivem je jasné, že zájem o tyto paliva je a v budoucnu bude jen narůstat. I když v současné době neexistuje pro provozovatele letadel nutnost používat bio-paliva, existuje mnoho důvodů proč zvážit jejich používání do budoucna:

- přínosy životnímu prostředí a při změnách klimatu
- image zelené firmy
- zvýšení energetické nezávislosti
- souhra a potenciální úspory s ohledem na emisní omezení a obchodní systém
- Finanční pobídky / dotace spojené s využíváním obnovitelných zdrojů energie
- obnova cenných uhlíkových kreditů prostřednictvím investice do pěstování určitých Bio-palivových rostlin

Tyto body budou jistě pro hodně leteckých společností velkým lákadlem. Avšak průzkumy týkající se ekonomičnosti leteckého bio-paliva v minulém roce, odhalili širší, dále nejistý rozsah nákladů. Současné průměrné odhady nákladů pro BTL a HRJ se pohybují přibližně na 1.20-1.40US\$ za litr, což je zhruba dvojnásobek ceny nynějšího leteckého paliva včetně nákladů za emise.



Graf 2: Mění se ekonomika HRJ a BTL paliv [8]

Nicméně existuje naděje, že se tento rozsah nákladů dá snížit vylepšením technologie a mírou znalostí. Většina předpovědí, například Mezinárodní agentura pro energii, předpokládá rostoucí ceny ropy. Politika také stále setrvává v kurzu zvyšování poplatků vyměřovaných uživatelům energie za emise oxidu uhličitého, tím či oním způsobem. V důsledku tohoto vývoje se letecká bio-paliva mohou stát ekonomickými přibližně asi za 20 let dle aktuálních předpokladů.

Automobilová bio-paliva již dostávají v některých zemích podporu v hodnotě téměř 1 dolaru za galon, tak aby byly ekonomicky výhodné. Vlády a rozvojové banky podporují rovněž demonstrační elektrárny a další budování kapacit, které umožňuje ekonomické zlepšení na straně nabídky. Podobná situace je nezbytná pro letecké bio-palivo, pokud má dojít ke zrychlení jeho komercializace dříve než za 20 let.

7.1 Náklady na výrobu a distribuci jednotlivých bio-paliv

Je jasné, že trend bio-paliv v hromadné letecké dopravě je na svém počátku a bude se jistě do budoucna dále rozvíjet. Nyní zbývá odpovědět na otázku který druh paliva je nejvhodnější a má smysl dále rozvíjet technologie jeho výroby? Ze všech dnes známých typů alternativních paliv jsem vybral pro hromadnou leteckou dopravu. Dva momentálně nejúspěšnější procesy výroby paliva BTL a HRJ. Všechny ostatní alternativní paliva jsou buď nevhodná pro proudové motory (bio-etanol) nebo jsou teprve na počátcích výzkumu a jejich budoucnost je zatím značně nejasná jako například u syntetických uhlovodíkových paliv z cukrů.

7.1.1 Ekonomické zhodnocení BTL paliva

BTL palivo (tekuté palivo z biomasy) je ve vývoji nejdále a ekonomičnost tohoto směru výroby leteckého bio-paliva je nejlépe prozkoumána. Většina rozborů se týká kombinace uhlí s biomasou coby výchozí suroviny, jejíž největší výhodou je redukce emisí. CBTL palivo (tekuté palivo z uhlí a biomasy) s podílem biomasy mezi 10-30%. Na 10 000 vyrobených barelů tohoto paliva za den což je maximum co je možné vyrobit, jsou odhadované výrobní náklady 0.52 až 0.62 US\$ za litr (nebo mezi 1.97 až 2.39 US\$ za galon). Výrobci specializovaní na BTL budou mít vyšší náklady na výrobní jednotku, než CBTL, z důvodů stoupajících požadavků investic do zplyňování a nižší tepelné výhřevnosti. Studie odhadují, že existuje horní práh produkce (schopnosti vyrábět pouze z biomasy), asi 5000 barelů denně, což snižuje stupeň ekonomičnosti dosahovaný při velkovýrobě CBTL. Náklady na dodávání biomasy ke zpracovateli budou pravděpodobně vyšší než náklady spojené s těžbou a dodávkou uhlí.

PARTNER studie odhaduje cenu výroby BTL paliva průměrně na 1.51 US\$ za liter nebo 5.8 US\$ za galon. Rovněž bych chtěl zmínit nejnovější studie NETL vycházející z výrobních nákladů nafty, že při schopnosti výroby BTL, 5000 barelů za den jsou průměrné náklady 1.56 US\$ za litr nebo 6 US\$ za galon. Pro srovnání, ceny leteckého kerosinu koncem října 2010 byly v průměru 0.6 US\$ za litr nebo 2.3 US\$ za galon (tj. méně než polovina současných rozpočtů nákladů na bio-paliva). [8]

7.1.2 Ekonomické zhodnocení HRJ paliva

Nejhůře se určují náklady na HRJ palivo. Náklady jsou odhadované z výroby HVO (hypotermické zpracování biomasy) a FAME bionafty, které mají podobné výrobní procesy jako HRJ. Ale neexistuje žádný veřejně dostupný analytický rozpočet nákladů na získávání leteckého paliva z rostlinných a živočišných tuků. Náklady na výrobu HRJ používající coby výchozí surovinu olej z řas zůstávají extrémně nejisté, s širokým spektrem ve využitelnosti získávání oleje a v životním koloběhu uhlíkových zplodin.

Americká národní laboratoř pro obnovitelnou energii předložila doklady četných studií o výrobních nákladech bio-paliva z oleje získávaného z řas, které jsou podstatně vyšší, než již bylo uváděno. Jejich průměr se pohyboval okolo 1.59\$ za liter anebo 6.00\$ za galon a některé studie operovala s náklady tak vysokými, jako 5.00\$-6.00\$ za liter anebo 20.00\$-60.00\$ za galon. Je jasné, že se u této technologie jedná teprve o její

počáteční vývojový stupeň, a proto není možné provést přesné výpočty očekávaných nákladů. Přesto se zde jeví významný potenciál k zvýšení výnosu a snížení nákladu u této palivové technologie.

7. 1. 3 Srovnání BTL a HRJ

HRJ proces je podobný HVO výrobě syntetické nafty. Co se nákladů týče, jsou zohledněny jednotlivé vedlejší výrobky, tudíž se nerozchází daleko od získávání metanolu z takových surovin jako je řepka olejná při výrobě bionafty (FAME). Podobně je výroba leteckého bio-paliva z BTL blízka procesu výroby syntetické nafty používající BTL.

Diagram v příloze 3 ukazuje, že současné příspěvkové náklady jak pro HRJ tak pro BTL se pohybují průměrně mezi 0.90-1.30 za liter, 3.50-5.00 za galon, také ukazuje, že na tyto náklady má podstatný vliv cena ropy i do blízké budoucnosti. Existuje však jen málo důkazů o tom, že by BTL byla podstatně dražší než HRJ, i přes kapitálovou podstatu BTL procesu a nízké efektivitě skladování palivových surovin.

Komerční úspěch těchto paliv bude záviset na budoucím vývoji výrobních nákladů. IEA předpokládá, že dotační náklady budou dlouhodobě klesat okolo jedné pětiny u BTL a právě přes jednu osminu u HRJ .

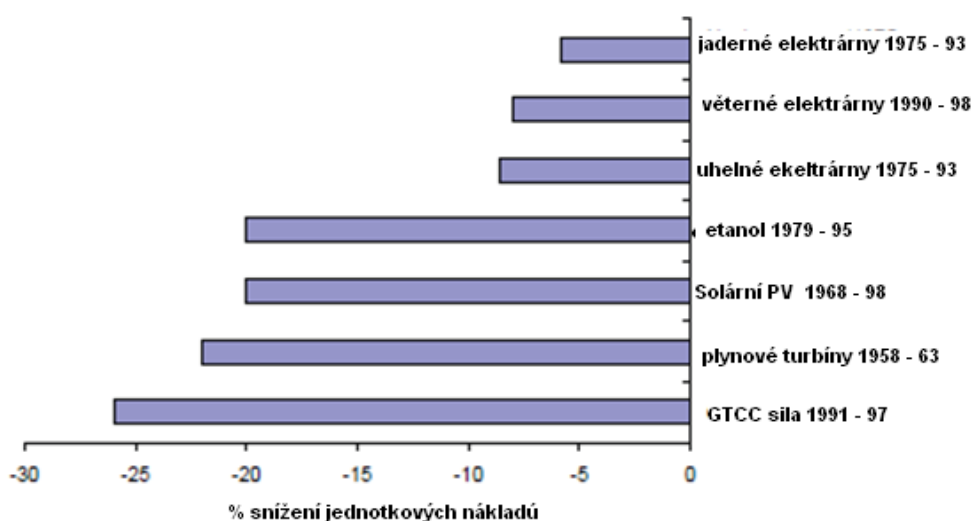
Jiní nesouhlasí namítajíce, že HRJ a SH (syntetický uhlovodík z cukru) letecké biopalivo má mnohem větší potenciál vzhledem k růstu produktivity a nižším dotačním nákladům do budoucna než BTL. Vyzdvihují vzájemně si odporující požadavky na energii z BTL surovin, které zřejmě zvýší relativní náklady na současně levné suroviny jako dřevo nebo odpad. Nové olejninu jsou mnohem dražší variantou pro získávání energie, a proto nebudou muset čelit protikladným požadavkům. Navíc je FT proces u BTL relativně vyzrálý, ale technologický rozvoj zabývající se posílením zisku z oleje z nových olejnin je jen několik málo let starý. To může vytvářet vyšší potenciál u HRJ a SH než u BTL z budoucích výrobních zisků a proto redukovat náklady.

7.2 Potencionální redukce výrobních nákladů bio-paliva

Prognózy vychází z klesajících nákladů na výrobu bio-paliva do budoucna, navzdory předpovědím o stoupajících cenách za fosilní paliva a obiloviny. Stoupající ceny ropy a potravin se očekávají jako důsledek rostoucí populace a ekonomických aktivit. Které zvýší poptávku po omezených zásobách. Ale existují dobré důvody věřit předpovědi IEA, že díky rozvoji výrobních technologií a výzkumu nastane pokles jednotkových výrobních nákladů. Není to totéž jako pokles cen pro konečného konzumenta. Ceny bio-paliva na trhu neklesnout pod cenu leteckého kerosinu plus poplatků z emisí. Aby však vytvářel výhodnou alternativu k leteckému kerosinu, musí výrobní náklady bio-paliva klesnout natolik, aby výrobcům umožnily podstatný návrat investovaného kapitálu.

V podstatě IEA poskytla historické důkazy o vlivu rozsahu existujících energetických technologií. V grafu 3 prezentuje, že po každém dvojnásobném rozšíření kapacity, dochází k 10-20% redukci jednotkových nákladů. Nejde pouze o ekonomičnost rozšíření, ale také o zlepšení technologie (získávání zkušeností v čase).

Toto dokazuje, že rozvojové plány nebo vládní financování předváděcích zařízení výroby leteckého bio-paliva a další podpory rozvoje, mohou hrát hlavní roli v dosahování nutných zlepšení při zvýhodňování leteckého bio-paliva.



Graf 3: Historické zkušenosti s klesajícími náklady na jednotku s rostoucí stupnicí [13]

7.3 Hospodárnost bio-paliva v EU

Evropské studie poukazují na současné náklady BTL, které se pohybují mezi 1.05-1.84 US\$ za litr, rozdíl závisí na výchozí surovině (v tomto případě dřevěné pelece, piliny, sláma), lokálních podmínkách a zpracování biomasy. Což vychází o něco dražší než 0.79 US\$ za liter uváděných ve světě. Kapitálové náklady vychází podobně. Rozdíl je ve vyšších nákladech na surovinu a provozními náklady v Evropě. Evropské podnebí není to nejlepší pro pěstování biomasy, tudíž můžeme očekávat vyšší ceny než je celosvětový průměr.

Evropská studie se zabývá také některými detaily výroby bionafty transesterifikací ze semen olejnin, třeba řepky olejné nebo slunečnic. Náklady na transesterifikaci při výrobě bionafty jsou poměrně nízké. HVO a HRJ bio-palivo potřebuje pro hydrogenaci z biomasy vodík, spíše než metanol běžně užívaný při transesterifikaci. Což je finančně náročnější rozdíl, ale převážná část nákladů se vyrovná cenou biomasy. V tomto případě biomasa tvoří 80% nákladů, před zápočtením úvěrů. Širší poznatky tedy dokazují, že hlavní dodávkové náklady tvoří biomasa. V obou případech se počítá s cenami ropy na současné úrovni, bionafta užívající za surovinu olejninových semen má výrobní náklady 0.70-0.80US\$ za liter.

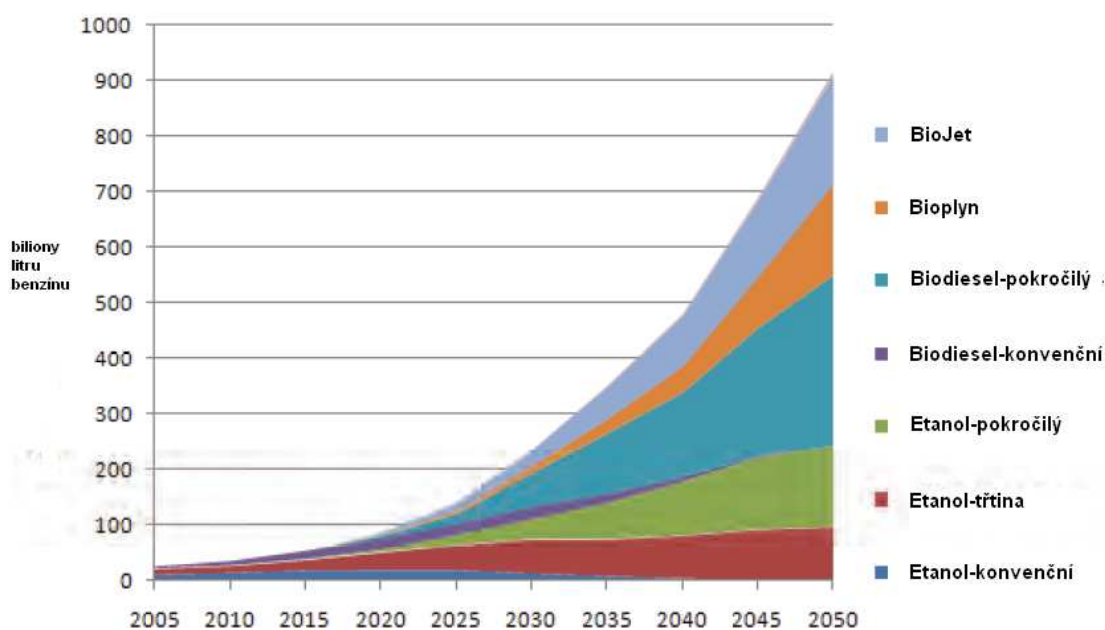
Průmyslové zdroje předpokládají, že HVO/HRJ kapitálové náklady se budou pohybovat asi o 20% výše, než u FAME, závisle na průmyslovější podstatě hydrogenace než transesterifikace. Je potřeba více surovin než u bionafty, což FAME rovněž zvýhodňuje. Na druhou stranu vedlejší výrobky HVO/HRJ (nafty, LPG) dosahují vyšší ceny, než glycerol z FAME. Výsledkem je, že dodávkové náklady HRJ biojetu za použití camelina, jatropa a do jisté míry řasy se mohou postavit směle na stejnou úroveň s HVO a FAME bionaftou.

7.4 Aktuální scénáře budoucnosti zásobování leteckými biopalivy

Institute, jako Mezinárodní agentura pro energii (IEA) nedoufá, že by letecké bio-palivo bylo k dispozici v obchodním množství v blízkém termínu. Nicméně i ony předpovídají význam výroby a vzrůst využití těchto paliv od roku 2030 až na 200 miliard litrů, tedy zhruba 30% celosvětové poptávky pohonných hmot u komerčních leteckých společností, v roce 2050 podle jejich scénáře uváděného v tzv. BLUE-plánech. Od vzniku tohoto scénáře je IEA mnohem optimističtější a vyžaduje mnoho politických opatření a pobídek sloužících leteckému průmyslu k dosažení cíle v roce 2050, 50% snížení emisí, aniž by se spoléhala na odstranění poplatků z nich.

Také u vývoje technologie vládne stále velká nejistota. Přesto existuje několik optimistických prognóz pro dlouhotrvající rozvoj leteckého bio-paliva. E4tech pracující pro výbor zabývající se změnami klimatu vypracoval loni řadu možných scénářů, zakládajících se na řadě předpokladů týkajících se rozvoje technologie a rentability paliva (obr.15). Navrhuje možnost pokrytí dodávek leteckým bio-palivem z 35-100% pro rok 2050 s jistotou předpovědi na 85%.

A však, aby k této optimističtější prognóze týkající se ekonomičnosti leteckého bio-paliva mohlo dojít, bude nutné podstatně a základně zlepšit investice do jeho výrobních kapacit.



Obr. 17: Optimistický scénář výroby biopaliv podle IEA [8]

7.5 Souhrn

Technologický vývoj je velmi nejistá záležitost a nejlepší metodou se jeví podpora různých potencionálních vítězů. Přesto se v budoucnu očekávaná redukce nákladů nespustí samovolně. Bude závislá na dostatečných investicích do rozvoje a vývoje. Bez těchto dotací, které budou v začátcích rozvoje záviset hlavně na vládních dotacích, nemohou být náklady zredukovány a tyto paliva by se nestaly konkurenceschopnými na volném trhu. V podstatě, neexistuje jistota, který výzkum a rozvoj by měl vést k dosažení rentability u nových olejnin, jež by do budoucna mohli snížit HRJ náklady. Existující znalosti o výrobních nákladech naznačují, že BTL a HRJ letecké bio-paliva mohou v budoucnu vytvářet podstatný podíl leteckých bio-palivových zásob.

8. Všeobecného letectví vs. alternativní paliva

Samozřejmě že i v této sféře letectví se začíná diskutovat o aplikaci alternativních paliv. Většina výzkumů a vývoj velkých ropných společností se zabývá vývojem alternativního leteckého paliva pro velké proudové motory. Tento druh paliva (určený pro proudové motory) jsme zhodnotili důkladně v kapitole 7. V oblasti pístových motorů v letectví není zatím vývoj alternativních paliv tak bouřlivý nebo snad ano? Dá se totiž říci, že vývoj náhražky AVGASU probíhá zároveň se snahou nahradit fosilní paliva automobilové dopravy. Zároveň obě tyto odvětví budou čerpat z pokroku ve výzkumech alternativních paliv pro proudové motory. Protože běžná výroba leteckých bio-paliv obvykle produkuje vedlejší výrobky vhodné pro pohonné hmoty do pístových motorů.

V této kapitole bych se chtěl věnovat hlavně druhům paliva, které se hodí pro malé sportovní letouny s pístovými motory. Jako nejpravděpodobnější náhražka fosilních paliv pro malé sportovní letouny se mi jeví bio-etanol. Je však stále ještě třeba překonat značné množství překážek, než bude etanol široce přijímán jako vhodná alternativa k leteckému benzínu.



Obr. 18: Letoun Ipanema na bio-etanol [14]

8.1 Etanol

Etanol je velmi dobrým palivem pro letadla s pístovými motory. Během mnoha let testování bylo zjištěno, že se jedná o nejlepší palivo, které je k dispozici pro tuto oblast letectví. V říjnu 2004 dokonce obdržel letoun Ipanema od společnosti Embraer první světovou certifikaci vydanou pro sériové letadlo využívající jako palivo 100% etanol.

Etanol – neboli etylalkohol je stejná látka, jaká je v alkoholických nápojích. Pro použití jako palivo je etanol nejčastěji vyráběn z obilí. Má svá omezení a své výhody pro pístové motory, ale nefunguje dobře u plynových turbín, protože jeho energetická hustota a měrná energie jsou příliš nízké. U letounů s proudovými motory by maximální dolet letadla a jeho užitečné zatížení bylo značně omezeno a nízký bod vzplanutí etanolu, který je pouhých 12°C, by představoval ohrožení bezpečnosti. Konstrukční možnosti však tyto nevýhody odstraňují u letadel s pístovými motory.

U etanolu se všechno palivo spotřebovává v počáteční jiskře. U leteckého benzínu tomu tak není, protože pracujete s velmi úzkým pásmem hořlavosti. Benzín se vrací zpět do válce v kapalném skupenství, a poté se vznítí později, než by měl. Maximální dolet letadla je s etanolem menší, než je tomu v případě leteckého benzínu, tento problém není tak závažný vyžaduje pouze přeplánování letů podle nové hodnoty doletu. Větší problém představuje nižší výkon motoru běžící na etanol. Vedoucí programu paliv u FAA, říká, že snížený výkon motoru oproti konvenčním leteckým palivům je jedním z mnoha problémů, který stále ještě řeší a potřebuje podrobné zkoušky. Pro odstranění tohoto problému bude zapotřebí zajistit o hodně větší průtok paliva. Existuje ještě další odrazující faktor, který se vztahuje k etanolu a tím je jeho zamrzání v potrubích. Ale tento problém není u malých sportovních letounů tak výrazný, protože tyto letouny se pohybují většinou ve výškách do 4000km kde nejsou tak vysoké teploty aby palivo zamrzalo. Dosud ještě nejsme tak daleko, že by etanol mohl představovat úplnou náhradu za letecký benzín. Je zapotřebí provést ještě dost testů na to, abychom mohli nahradit AVGAS etanolem.

8.1.1 Náhrada AVGASu palivo AGE-85

V Americe probíhá výzkum na novém palivu nahrazující letecká paliva do pístových motorů. Palivo se nazývá AGE-85, je směsí 85% etanolu denaturovaného pomocí 2% benzínu, méně než 1% bionafty a zbytkového pentanového izomerátu. Toto palivo může být použito jako alternativa k široce používanému leteckému benzínu AVGAS. Použití paliva AGE-85 by zvýšilo hmotnost paliva o 9 % oproti hmotnosti paliva AVGAS pro ekvivalentní objem paliva. Dále by pak snížilo provozní dolet o 35% v porovnání s použitím konvenčního leteckého paliva.

Snížený výkon může být přijatelný, vezmeme-li v úvahu přínosy plynoucí z čistších emisí a zrušení závislosti na fosilních palivech. Všeobecné letectví v Americe má výjimku ze zákazu používání olovnatého paliva, avšak stále se usiluje o vývoj vhodného bezolovnatého leteckého benzínu. Etanol by mohl představovat vhodnou náhradu. Dřívější studie zjistily nižší úroveň oxidu uhelnatého a těkavých organických látek v případě etanolu, než je tomu při použití leteckého benzínu.

V roce 2007 FAA (Federal Aviation Administration) zveřejnila zjištění vyplývající z jejich prvních rozšířených testů leteckého etanolu (AGE) v pístovém leteckém motoru. Únavová zkouška trvající 150 hodin uvedla motor na maximální teplotu, aby bylo možno zjistit opotřebení, výkonnostní parametry, slučitelnost materiálů, dolet, účinnost, zředění oleje a tvorbu usazenin. Ze zkoušky vyplynulo, že u motoru došlo k normálnímu opotřebení s výjimkou lícního povrchu výfukového ventilu a dřívku ventilu, které vykazovaly poškození z důvodu rázového efektu. Únavová zkouška dále potvrdila snížení výkonu, které bylo uváděno i jinými studiemi. Zkouška výkonu byla prováděná na letounu Lycoming IO-360C s upraveným časováním zapalování a zvýšeným tokem paliva ukázala, že daný motor vytvořil o 2,3 % vyšší špičkový výkon za použití AGE-85, než tomu bylo při použití referenčního paliva o stejném oktanovém čísle, ale daný špičkový výkon požadoval o 56 % větší tok paliva.

8. 1. 2 Vliv etanolu na palivové systémy

Největším problémem je nejasný vliv etanolu na palivové systémy. Koroze je jedním z důvodů, proč se zvedla taková vlna odporu vůči návrhu Kongresu, který byl předložen v roce 2007 a vyžadoval, aby ropná paliva v USA měla do roku 2010 v sobě zakomponovanou 10% příměs obnovitelného paliva.

Studie EAA, Cessny a FAA ukázaly, že paliva s příměsí etanolu jsou škodlivá pro rekreační letadla a letadla používaná ve všeobecném letectví tím že napadají komponenty jejich palivových systémů (gumové hadice, palivová čerpadla, gumová těsnění a palivové nádrže). Plynová bubliny v palivovém potrubí tvořící se při letu, jsou rovněž jednou z kritických bezpečnostních překážek způsobovaných používáním paliva s příměsí etanolu v leteckých motorech. Skrze palivo s příměsí etanolu dochází k určitým narušením palivového systému, ale je zřejmé, že experti a vědci působící v daném sektoru mohou toto riziko snížit a mohou zajistit, aby tento systém fungoval pro u všech letounů. Je třeba, aby se společnosti v oblasti všeobecného letectví přizpůsobily trendu alternativních paliv. Ani ne tak z krátkodobého hlediska, jako spíše v dlouhodobém horizontu budou muset opustit fosilní paliva.

Samozřejmě i v Evropě probíhá stále výzkum v této oblasti. Například Micheal Wagner otestoval 5% příměsí etanolu v motorech Rotax a plánuje provádět zkoušky se směsmi o vyšším obsahu etanolu. V Evropském společenství existuje tříletý mandát na zvýšení alkoholu v palivech a my se jím samozřejmě musíme držet, tvrdí, že s etanolem se snadno pracuje a je pro motor dobrou volbou. Spalování je stabilní. Hezky hoří. Je čistý. Výkonové parametry jsou dobré. Při správném vyladění směsi paliva a vzduchu, motor funguje s cela bez závad. Wagner dokonce tvrdí, že pro motor je to mnohem lepší volba než letecký benzín.

8. 1. 3 Snižování emisí

Všichni zastánci etanolu poukazují na snížené emise v případě paliv na bázi etanolu. Ty by mělo pomoci při splňování termínů pro omezování skleníkových plynů na celém světě. Při spalování etanolu dochází k mírnému navýšení emisí oxidů dusíku, ale současně je zde pokles oxidu uhelnatého, pokles těkavých organických látek. Velmi důležitým aspektem je, že použití etanolu eliminuje CO_2 . Na výstupu máte stejné množství CO_2 , jako u konvenčních paliv ale tento CO_2 je eliminován právě pěstováním biomasy pro vytvoření paliva, která jej při svém růstu eliminuje.

8. 1. 4 Základní ekonomické aspekty výroby bio-etanolu

Výrobní cenu bio-etanolu samozřejmě ovlivňuje výrobní kapacita jednotky: z 50–80 % se na ní podílí cena výchozí suroviny, asi 25 % tvoří fixní náklady a asi 10 % náklady na energii. Zhodnocení odpadů z výroby bio-etanolu může jeho cenu snížit o 15–25 %. Klasická technologie jeho výroby ze zemědělských plodin je propracovaná a nelze již očekávat její zásadní inovaci. V případě výroby etanolu z obilí se očekává, že se ve větší míře uplatní suché mletí vykazující menší energetické nároky než mokré mletí, které v současné době ve světě převládá. Za perspektivní je považována výroba bio-etanolu z lignocelulózových surovin, na jejímž budoucím komerčním využití se ve světě intenzivně pracuje. Její komerční využití se předpokládá v horizontu 10–15 let. Průměrný hektarový výtěžek bio-etanolu se pohybuje v rozmezí 21–56 hl v závislosti na typu suroviny, v případě obilných zrn je to asi 28 hl. Vyjádřeno jiným způsobem lze říci, že na výrobu 1 t etanolu je potřeba asi 3 t zrn, resp. 2–4 t suché dřevní nebo travní suroviny. Současná cena bio-etanolu vyrobeného z cukrové řepy nebo škrob obsahujících plodin je vysoká. V USA (obilí) se pohybuje okolo 20 €/GJ, a v Evropě (cukrová řepa) v rozmezí 15–25 €/GJ, resp. 0,32–0,54 €/l. V případě bio-etanolu vyrobeného z lignocelulózové biomasy byl učiněn odhad jeho ceny pro výše popsané moderní postupy a to 5–15 €/GJ, resp. 0,11–0,32 €/l

Závislost bio-etanolového řetězce na politické vůli vládnoucí reprezentace a na schopnosti vytvářet zisk za podmínek, jaké může nastavit stát, vybízí k maximální snaze o snížení výrobních nákladů.

8. 2 Shrnutí

Etanol má zajisté před sebou budoucnost bio-paliva v letectví. Je jen otázkou, do jaké míry bude rozšířen. Vše bude záviset na výrobcích paliva ale také na výrobcích leteckých motorů, kteří v případě tohoto paliva budou muset zavést úpravy do motorů. Technické problémy spjaté s tímto druhem paliva jsou možné zajisté všechny odstranit. Otázkou je, zda bude o toto palivo zájem mezi piloty malých sportovních letadel? Vše bude záviset na zákonech zabývajících se alternativními palivy a vjejí se ceně ropy.

9. Vrtulníková přeprava vs. alternativní paliva

Co se týká tohoto odvětví letecké dopravy platí pro něj veškeré závěry vyvozené ve výše uvedených kapitolách 7 a 8. Již nyní se experimentuje s alternativními palivy ve vrtulnících. Vzhledem k tomu že vrtulníky létají na stejné palivo, jako letadla budou využívat i jejich úspěchů v těchto oblastech vývoje. To znamená, že vrtulníky létající na paliva typu JET A1 budou postupem času experimentovat s palivy typu BTL či HJR. Samozřejmě jen v případě že to bude pro provozovatele vrtulníků ekonomicky výhodné. Jsou totiž poměrně malým odvětvím letectví, takže na ně zajisté nebudou kladeny takové nároky jako na velké letecké společnosti co se týká emisí.

U vrtulníků využívajících AVGAS tedy s pístovými motory se jen tak brzo náhrady v podobě bio-paliv nedočkáme. Nástup alternativních paliv v těchto sférách letectví bude velmi pomalý. Vzhledem k tomu že by pro ně připadal v úvahu zatím jen bio-etanol jako náhražka za konvenční palivo a to má vlastnosti které budou u vrtulníků hůře překonatelné či jejich řešení bude finančně nákladnější. Jako je například zvýšení množství paliva na stejný dolet, zachování stejného výkonu jako v případě fosilních paliv a problémy bio-etanolu s rozpuštěním částí palivového systému.



Obr. 19: AH-64D Apache [14]

Jako příklad prvního úspěšného použití alternativního paliva při provozu vrtulníku, lze považovat lety vrtulníku AH-64D Apache patřící nizozemské armádě, který létá na bio-palivo. V budoucnu by na směs rostlinného oleje a klasického paliva mohly létat všechny stroje nizozemského Královského letectva. Motor po celou dobu běžel na směs z klasického paliva a bio kerosinu, uvedlo v oficiální zprávě nizozemské ministerstvo obrany.

Závěr

Z této práce vyplívá, že v hromadné letecké dopravě se již naplno počítá s alternativními palivy a že o prvenství se budou prát paliva FT a HRJ. Co se týká menších letounů tam tak jasná budoucnost není, ale pokud se tam začne nějaké bio-palivo uplatňovat tak jedinečně etanol. Zároveň stále ještě existuje velký stupeň nejistoty, pokud jde o výrobní náklady alternativních paliv. Ačkoli máme k dispozici málo konkrétních údajů, některé nákladové ukazatele nás informují, že průměrné očekávání výrobních nákladů u FT a HRJ paliva se bude pohybovat v rozmezí 1.20-1.40 US\$ za litr, což je přibližně dvojnásobek aktuální ceny konvenčního paliva do proudových motorů. Sice se očekává, že náklady půjdou dolů, s vylepšováním technologie ale prognózy předpokládají ekonomičnost bio-paliva až za 20 let, za předpokladu větší efektivity výroby, vyššími cenami ropy a poplatky za emise oxidu uhličitého.

Prognóza rentability až za 20 let, není předpokladem přílivu soukromého kapitálu do budování kapacit pro dodávky leteckých bio-paliv. Chce-li letecké bio-palivo obstát, bude nutné urychlit jeho konkurenceschopnost vůči běžnému leteckému palivu jak ve výrobě, tak v nákladech na distribuci, a musí se mu dostat přílivu kapitálu nutného pro budování dostatečných kapacit. Předpokládá se partnerství s automobilovým průmyslem, protože běžná výroba leteckého bio-paliva obvykle produkuje vedlejší výrobky vhodné pro pohonné hmoty. Rovněž bude nutné zapojení vlád, pokud tyto pohonné hmoty mají být k dispozici v komerčním množství během příštích 20 let. Vše nám ale s jistotou odhalí až budoucnost.

Vysvětlivky

AEMP = Annual Emissions Monitoring Plan – Roční emisní monitorovací plán
AER = Annual Emissions Report – roční výkaz emisí
ATA = Air Transport Association (USA)
BTL = Biomass to Liquids (Fischer-Tropsch process) - syntetické palivo z biomasy
CTL = Coal to Liquids (Fischer-Tropsch process) – syntetické palivo z uhlí
COP = Konference smluvních stran
EC = European Commission
EU = European Union
EUA = European Union Emission Allowance - povolenka
EUAA = European Union Aviation Emission Allowance – letecké emisní povolenky
EUETS = Systém pro obchodování s emisemi
FT = Fischer-Tropsch
FAA = Federal Aviation Administration (USA) – Vládní letecký ústav
FAME = Fatty Acid Methyl Ester
GTL = Gas to Liquids (Fischer-Tropsch process) – syntetické palivo z plynu
HRJ = Hydroprocessed Renewable Jet fuel – obnovitelné palivo
IEA = International Energy Agency – mezinárodní energetická agentura
KP = Kjotský protokol
PARTNER = Partnership for Air Transportation Noise & Emission Reduction
RED = Renewable Energy Directive (EU)
RER = Směrnice pro obnovitelné zdroje energie
RFS = Renewable Fuel Standard (USA)
SPK = Synthetic Paraffinic Kerosene
UNFCCC = Rámcová dohoda spojených národů o změnách klimatu

Jednotky

N – Newton
m – metr
t – tuna
Pa – Pascal
kg – kylogram
h – hodina
W – Wat

Literatura

- [1] Předpis L16/II Emise letadlových motorů, LIS-ŘLP ČR
- [2] KOCÁB, J., ADAMEC, J.: 2000. Letadlové motory. 1. vyd. Praha 2002, nakladatelství KANT cz s.r.o. 176 s. ISBN 80-902914-0-6
- [3] BUTLER, F. G., KELLER, R. M.: 2001. Handbook of Airline Strategy. Inc., New York 2001, The McGraw - Hill Companies, 733 p. ISBN 0-07-982393-9
- [4] DALY, M., GUSTON, B.: 2008. Jane's Aero - Engines, Issue Twenty-three 2008, Inc., 2008 by Jane's Information Group Limited, 776 p. ISSN 1748-2534
- [5] DALY, M., GUSTON, B.: 2007. Jane's Aero - Engines, Issue Twenty-two 2007, Inc., 2007 by Jane's Information Group Limited, 776 p. ISSN 1748-2534
- [6] Časopis FLIGHT Internationale, www.flightglobal.com
- [7] Commission Decision 2009/339/EC of 16 April 2009 [online]. 2009 [cit. 2011-04-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.caa.cz/index.php?menu=67&mm=25&stranka=172>>.
- [8] IATA 2010 REPORT ON ALTERNATIVE FUELS [online]. 2011 [cit. 2011-04-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.iata.org/ps/publications/pages/alternative-fuels.aspx>>.
- [9] KYOTO PROTOCOL STATUS OF RATIFICATION [online]. 2006 [cit. 2011-04-03]. Dostupné z WWW: <http://unfccc.int/files/essential_background/kyoto_protocol/application/pdf/kpstats.pdf>.
- [10] Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě [online]. 2006 [cit. 2011-04-03]. Dostupné z WWW: <http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoeekonomicka_analyza_vhodnych_alternativnich_paliv_v_dopravecast_1.pdf>.
- [11] Alternatívne letecké biopalivá– čoraz bližšie k certifikácii [online]. 2006 [cit. 2011-04-01]. Dostupné z WWW: <http://www.vurup.sk/conferences/44_ipc/programme_2009_seminar.html>.
- [12] Analyses of the European air transport market [online]. 2008 [cit. 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <http://ec.europa.eu/transport/air/observatory_market/doc/annual_2008.pdf>.

- [13] Beginner's Guide to Aviation Biofuels [online].
2009 [cit. 2011-04-02]. Dostupné z WWW:
< www.enviro.aero/Content/.../BeginnersGuide_Biofuels_WebRes.pdf>.
- [14] Umwelt Bericht 2010 [online].
2010 [cit. 2011-04-02]. Dostupné z WWW:
< http://ec.europa.eu/transport/air/observatory_market/doc/annual_2008.pdf>.
- [15] Vodík jako alternativní ekologické palivo [online].
2007 [cit. 2011-04-02]. Dostupné z WWW:
< <http://www.vossost.cz/pk/Data/HTML/VODIK.HTM>>.
- [16] Renewable fuels for advanced powertrains' 2008 [online].
2008 [cit. 2011-04-02]. Dostupné z WWW:
< http://www.renew-fuel.com/fs_documents.php>.

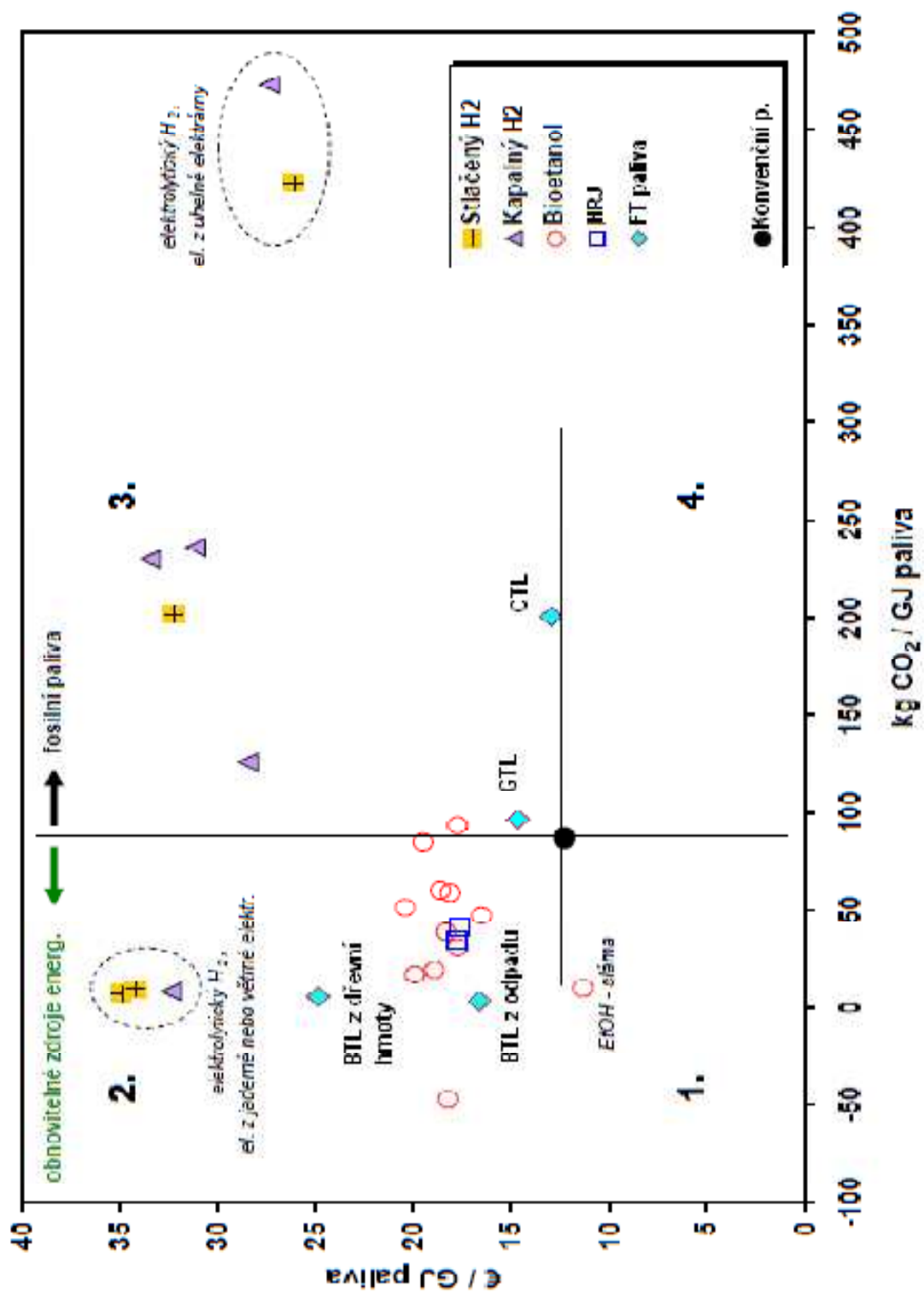
Seznam obrázků

Obr. 1: Diagram výrobních procesů nepřímé výroby syntetických paliv [13]	7
Obr. 2 Schéma zplyňování uhlí [14]	8
Obr. 3: Logo [13]	9
Obr. 4: Proces přeměny plynu na GTL palivo [14]	10
Obr. 5: Schéma Procesu výroby biopaliva [10]	13
Obr. 6: Schéma procesu výroby biopaliva z biomasy [11]	15
Obr. 7: Fotografie Boeingu 747 společnosti KLM [13].....	16
Obr. 8: Pyrolýzní schéma [13]	18
Obr. 9: Proces vzniku HRJ paliva [8]	21
Obr. 10: Blokové schéma výroby bionafty transesterifikací rostlinných olejů [10]	23
Obr. 11: Blokové schéma výroby bioetanolu z obilovin [10]	25
Obr. 12: Fotografie experimentálního letounu s pohonem na palivové články [14]	28
Obr. 13: Zastoupení způsobů výroby vodíku podle surovin [7]	29
Obr. 14: Schematické znázornění emisí a výše příspěvků EUAAs [8]	32
Obr. 15: Porovnání výrobní ceny a emisí	36
Obr. 16: Optimistický scénář výroby biopaliv podle IEA [8].....	44
Obr. 17: Letoun Ipanema na bioetanol [14]	46
Obr. 18: AH-64D Apache [14].....	50

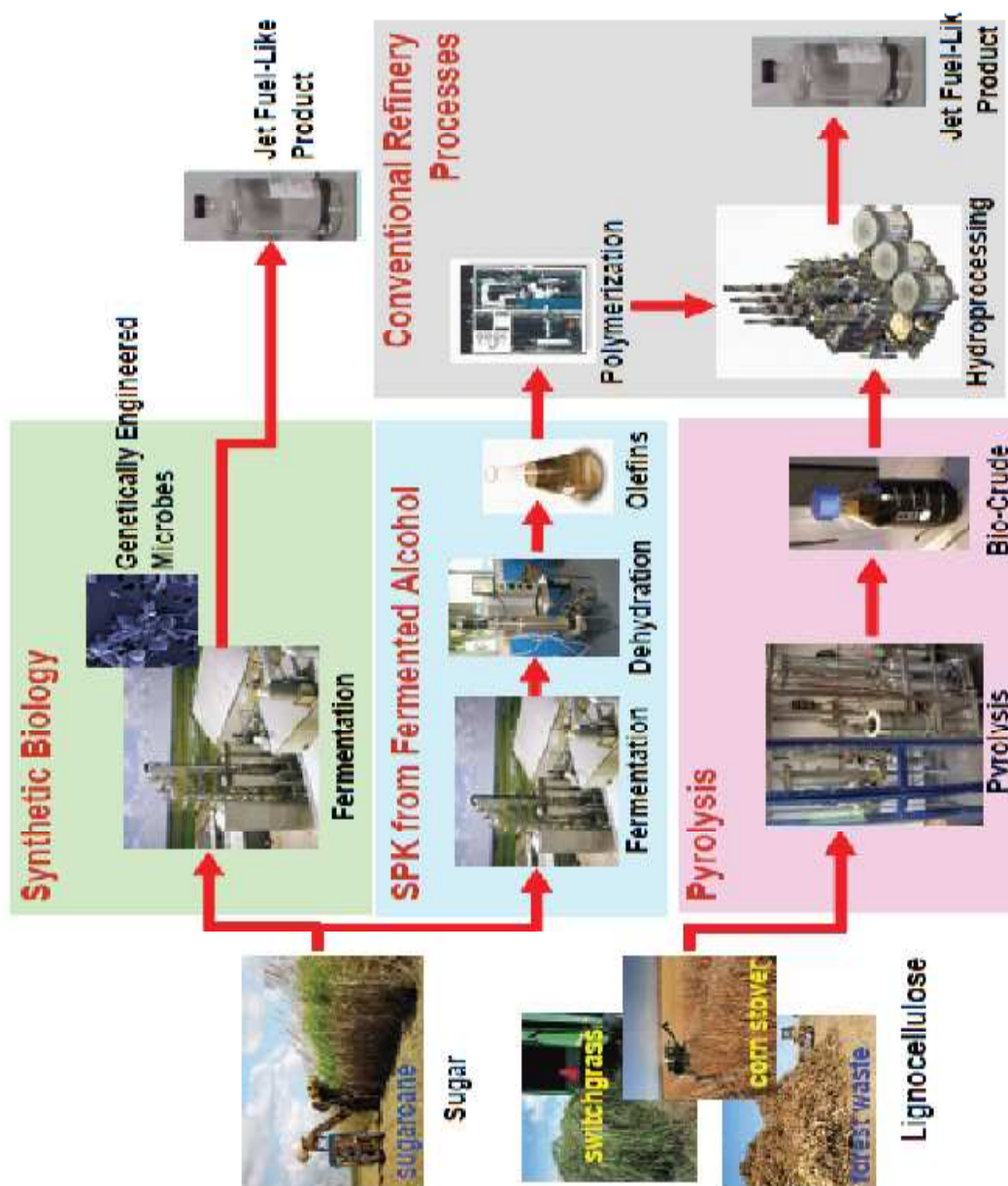
Seznam příloh

Příloha č. 1 - porovnání výrobních cen a emisí
Příloha č. 2 - Výroba alternativních leteckých paliv
Příloha č. 3 - Emise skleníkových plynů způsobené životním cyklem alternativního tryskového paliva
Příloha č. 4 - Možnosti pro využití syngasu
Příloha č. 5 - F-T proces (GTL / CTL / BTL) v porovnání s HRJ
Příloha č. 6 - IEA Odhad výroby a nákladů na výrobu a distribuci bio-paliva
Příloha č. 7 - Porovnání nákladů pro různé způsoby výroby bio-etanolu v závislosti na ceně ropy
Příloha č. 8 - Porovnání nákladů pro různé způsoby výroby bio-etanolu v závislosti na ceně ropy

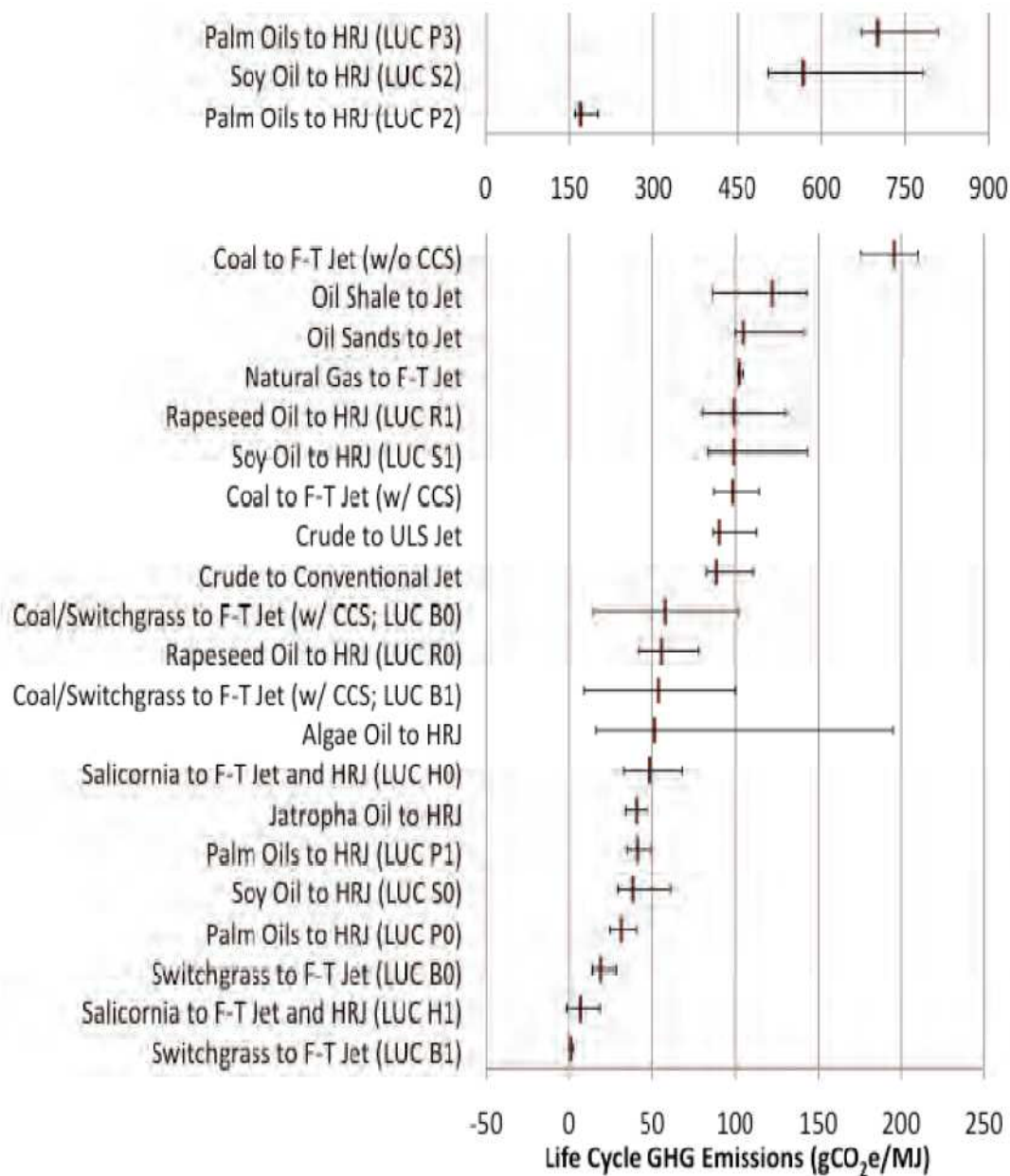
Příloha č. 1 – porovnání výrobních cen a emisí [10]



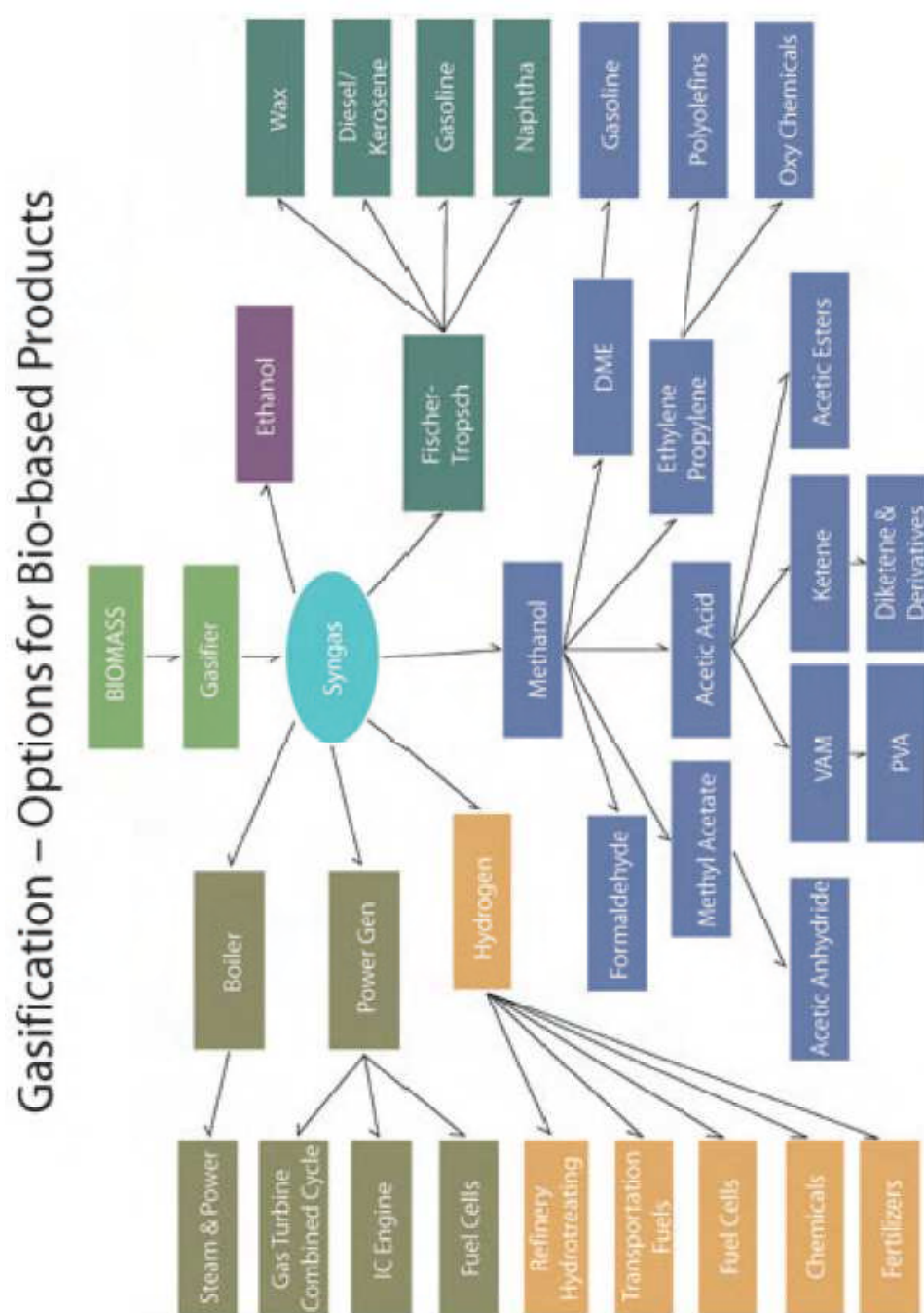
Příloha č. 2 - Výroba alternativních leteckých paliv [8]



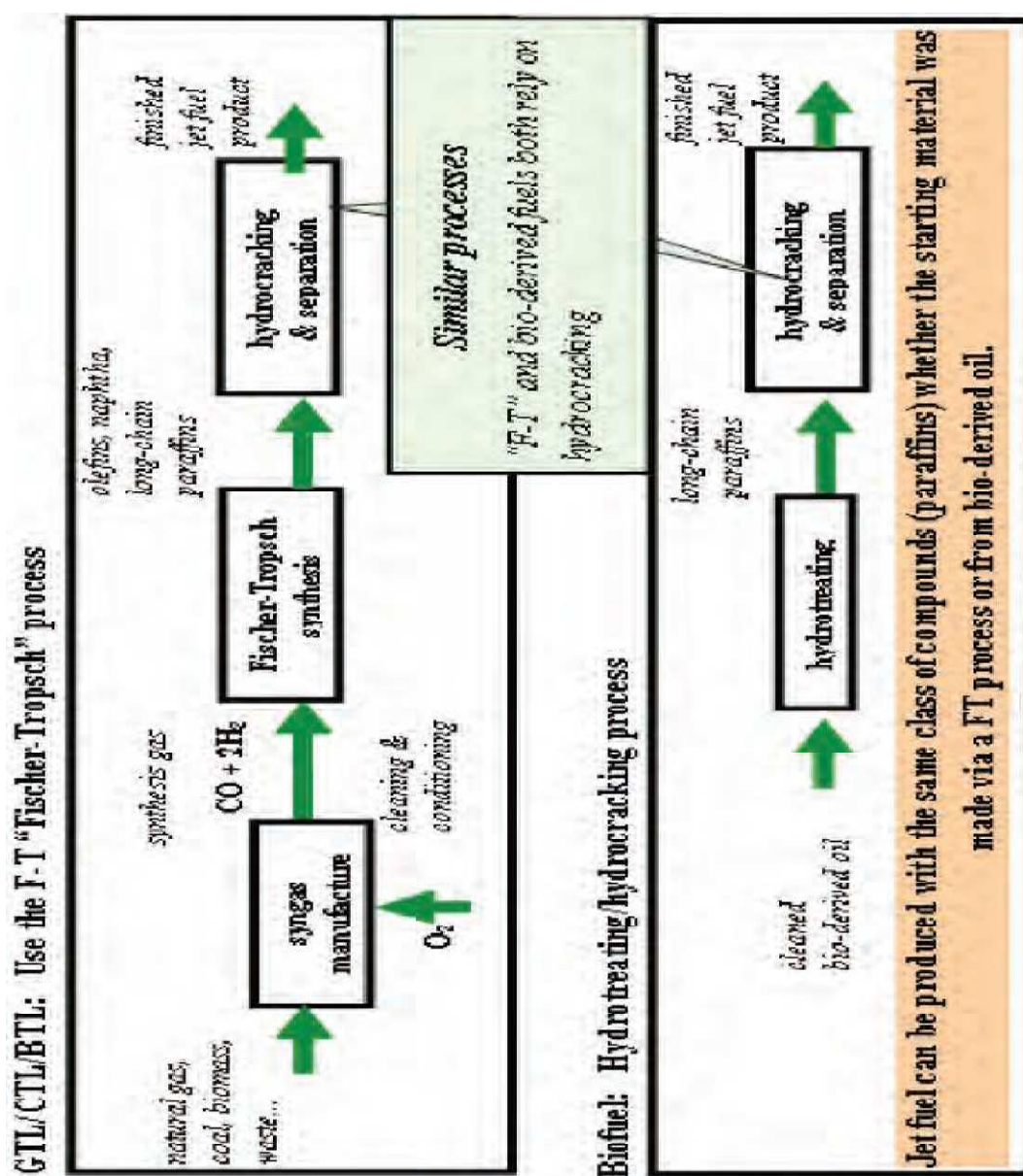
Příloha č. 3 - Emise skleníkových plynů způsobené životním cyklem alternativního tryskového paliva [8]



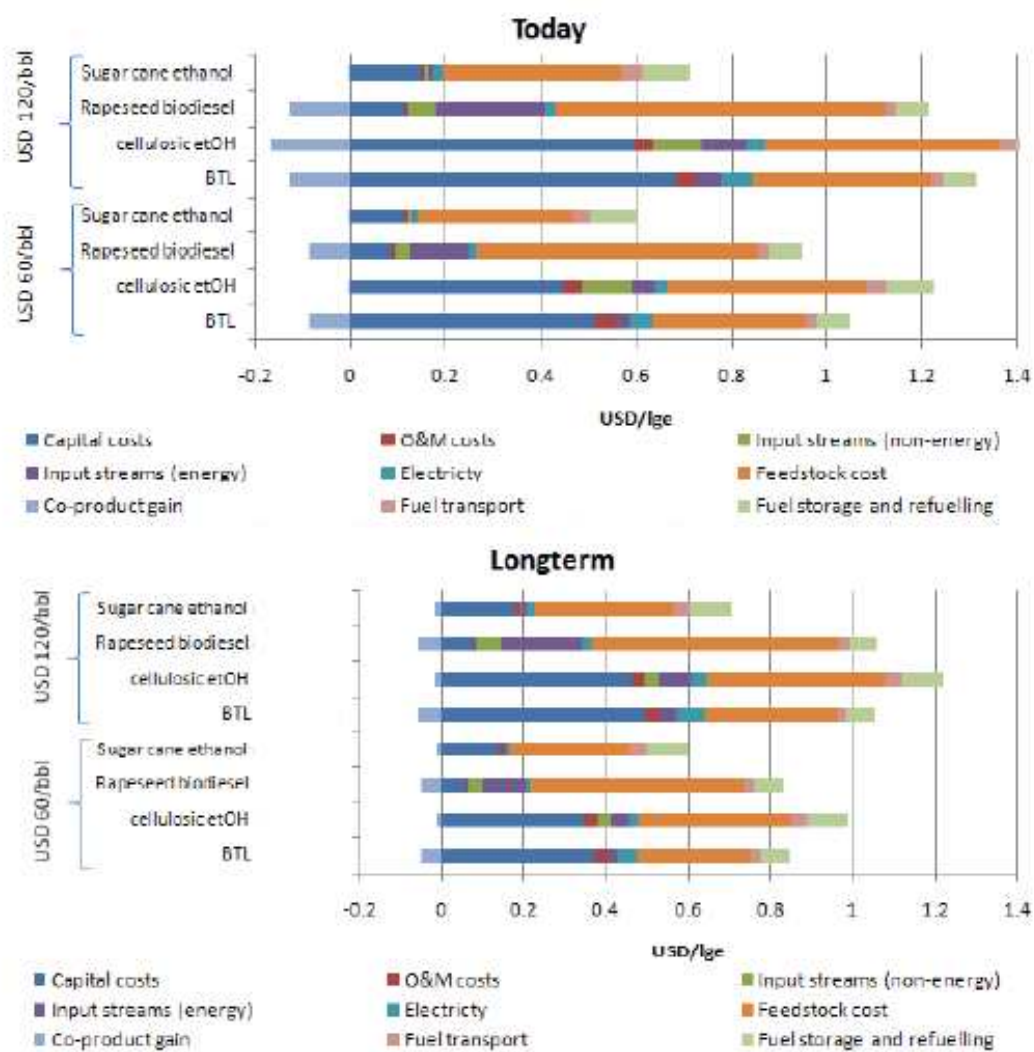
Příloha č. 4 – Možnosti pro využití syngasu [8]



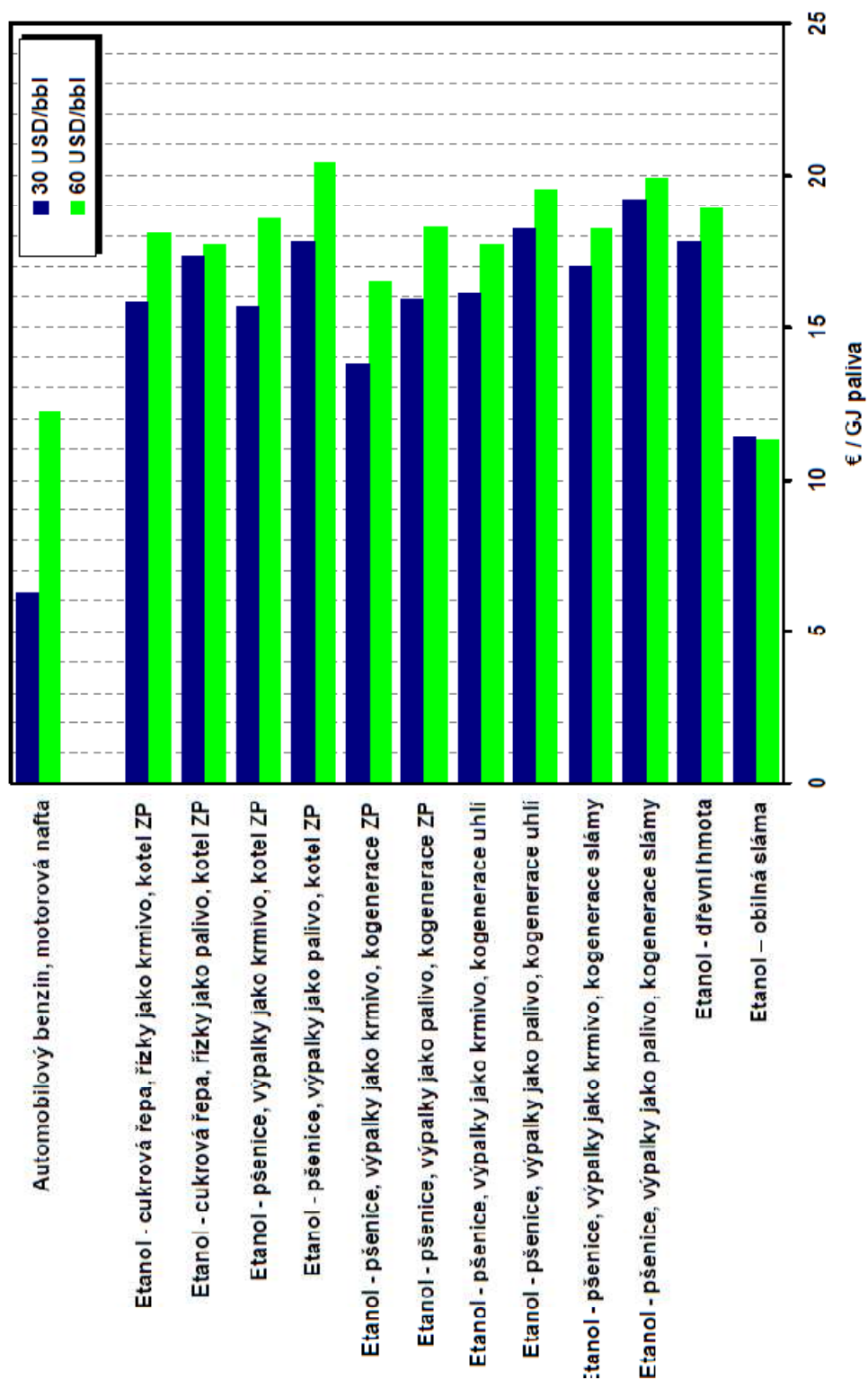
Příloha č. 5 - F-T proces (GTL/CTL/BTL) v porovnání s HRJ [8]



Příloha č. 6 – IEA Odhad výroby a nákladů na výrobu a distribuci biopaliva [14]



Příloha č. 7 - Porovnání nákladů pro různé způsoby výroby bioetanolu v závislosti na ceně ropy [10]



Příloha č. 8 - Porovnání nákladů pro různé způsoby výroby bioetanolu v závislosti na ceně ropy [10]

