



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ
ÚSTAV LETECKÉ DOPRAVY

Bc. Kateřina Sklenářová

**VLIV ALTERNATIVNÍCH PALIV NA BUDOUCNOST
LETECKÉ DOPRAVY**

2021

Poděkování

V této části diplomové práce bych ráda poděkovala všem, kteří mi jakýmkoliv způsobem pomohli k jejímu zdárnému dokončení. Zejména bych ráda poděkovala mým vedoucím, panu doc. Ing. Jakubu Hospodkovi, Ph.D.Ing. a mému externímu vedoucímu panu Ing. Adamovi Vysockému, za odborné vedení a pomoc při konzultování diplomové práce po celou dobu její tvorby. V neposlední řadě je bych ráda poděkovala své rodině a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

„Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).“

V Praze dne

.....
Kateřina Sklenářová

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

VLIV ALTERNATIVNÍCH PALIV NA BUDOUCNOST LETECKÉ DOPRAVY

Diplomová práce

Listopad 2021

Bc. Kateřina Sklenářová

Abstrakt

Cílem diplomové práce je stanovit alternativní paliva vhodná pro využití v letecké dopravě a zjistit vliv na budoucnost letecké dopravy a emise CO₂. Vliv bude stanoven na základě finanční analýzy provedené na konkrétních příkladech spolu s jejich spotřebou emisí. Tím bude možné stanovit predikci spotřeby emisí a porovnat budoucí provoz letadel na fosilní paliva vs. udržitelná letecká paliva. Výsledkem provedení analýz bude implementace nejvhodnější alternativy do reálného provozu, výpočet finanční stránky a spotřebu emisí v rámci konkrétních příkladů a jejich možné zavedení do leteckého provozu.

.

Klíčová slova

Udržitelná letecká paliva, fosilní paliva, emise, CO₂, alternativní letecká paliva, konvenční petrolejová paliva

Abstract

The aim of the diploma thesis is to determine alternative fuels suitable for use in air transport and to determine the impact on the future of air transport and CO₂ emissions. The impact will be determined based on a financial analysis performed on specific examples together with their emission consumption. This will make it possible to predict emissions and compare the future operation of fossil fuel aircraft vs. sustainable aviation fuels. The result of the analyses will be the implementation of the most suitable alternative into real operation, the calculation of the financial side and the consumption of emissions within specific examples and their possible introduction into aviation.

Key words

Sustainable aviation fuels, fossil fuels, emissions, CO₂, alternative aviation fuels, conventional kerosene fuels

Obsah

1	Úvod	10
2	Rešerše alternativních energetických zdrojů	12
2.1	Modifikace turbodmychadlového motoru	12
2.2	Architektura otevřeného motoru	14
2.3	Hybridně elektrická pohonná jednotka	16
2.4	Turboelektrická pohonná jednotka	18
2.5	Elektrická pohonná jednotka	19
2.6	Spalování vodíku	20
2.7	Palivové články	21
2.8	Udržitelná letecká paliva	24
3	Druhy udržitelných leteckých paliv	27
3.1	Procesy získání udržitelných leteckých paliv	28
3.1.1	Termochemický proces	28
3.1.2	Fischer-Tropschovy syntézy (FT paliva)	30
3.1.3	Biochemický proces	33
3.1.4	Elektropaliva	33
3.2	Certifikovaná paliva	36
3.3	Výhody	37
3.4	Nevýhody	37
4	Infrastruktura udržitelných leteckých paliv	39
4.1	Dodavatelský řetězec	39
4.1.1	Tier 3	40
4.1.2	Tier 2	41
4.1.3	Tier 1	44
4.1.4	OEM	47
4.2	Analýza letadel využívající udržitelná letecká paliva	48
4.3	Analýza letišť vybavené tankováním SAF	50

5	Palivový management.....	51
5.1	Plánování paliva	52
5.1.1	Celkové palivo	53
5.1.2	Traťové palivo – Trip fuel.....	53
5.1.3	Palivo pro pojiždění – Taxi fuel.....	53
5.1.4	Dodatečné palivo.....	54
5.1.5	Palivo pro nepředvídatelné situace – Contingency fuel.....	54
5.1.6	Alternativní palivo – Alternate fuel.....	54
5.1.7	Konečná záloha paliva – Final reserve fuel.....	54
5.1.8	Extra palivo.....	54
6	Udržitelná letecká paliva v provozu.....	55
6.1	Vývoj cen udržitelného leteckého paliva	56
6.2	Vývoj cen konvenčního leteckého paliva Jet-A	57
6.3	Let na krátkou vzdálenost.....	58
6.3.1	Finanční analýza letu na krátkou vzdálenost.....	61
6.4	Let na dlouhou vzdálenost.....	62
6.4.1	Finanční analýza letu na dlouhou vzdálenost.....	64
6.5	Analýza emisí CO2 vlivem letů na krátkou a dlouhou vzdálenost.....	65
6.6	Vliv udržitelných leteckých paliv na emise CO2 a jejich predikce při zavedení do provozu	67
6.7	SWOT Analýza	68
6.7.1	Silné stránky.....	68
6.7.2	Slabé stránky.....	69
6.7.3	Příležitosti.....	69
6.7.4	Hrozby	70
7	Vyhodnocení výsledků analýz.....	71
7.1	Výsledky finanční analýzy obou letů	71
8	Závěr	73
9	Zdroje	75

10	Seznam použitých obrázků	83
11	Seznam grafů.....	84
12	Seznam tabulek	85
13	Seznam rovnic	86

Seznam zkratek

η – Účinnost elektrického motoru

el-sys – Elektrický systém

mot – Motor

PE – Výkonová elektronika

cond – Kondukce

bat – Baterie

SAF – Sustainable Aviation Fuel – Udržitelné Letecké Palivo

UHB – Ultra high bypass – Vysoký obtokový poměr

NASA – Národní úřad pro letectví a vesmír

MTOW – Maximálně vzletová hmotnost

VTOL – Letoun s vertikálním vzletem

IATA – Mezinárodní organizace sdružující letecké dopravce

ATJ – Alcohol to jet – Přeměna alkoholu na turbínové palivo

CO₂ – oxid uhličitý

AFC – alkaline fuel cell (alkalický elektrolyt)

MCFC – molten carbonate fuel cell (tavený uhličitán)

PAFC – phosphoric acid fuel cell (kyselina fosforečná)

PEMFC – proton-exchange membrane fuel cell (polymerní membrána)

SOFC – solid oxide fuel cell (tuhý oxid)

HTFT – high-temperature Fischer–Tropsch

LTFT – low-temperature Fischer–Tropsch

kWe – kilowatt-electric

H₂ – vodík

O₂ – kyslík

CO – oxid uhelnatý

1 Úvod

Letecká doprava patří stále mezi velmi oblíbený sektor dopravy. Po dobu pandemie Covid-19 se jednalo o sektor, který byl nejvíce zasažený, a díky pandemii došlo k velké redukci letů. Díky tomu zájem o leteckou dopravu klesl nejvíce od roku 1950 a to o přibližně 60 procent v přepočtu na osobokilometry. Současná situace dostala leteckou dopravu do období před pěti lety, ale dá se dle predikcí očekávat, že zájem o ni bude po této pandemii opět růst a dostane se tak na čísla stejná, ne-li vyšší než před již zmíněnými pěti lety. [80] V roce 2018 bylo v Evropské unii odbaveno na 1 miliardu cestujících a každý den se uskutečnilo na 22 tisíc letů za jeden den. Více než 90 procent letounů z dané statistiky využívá tryskový pohon. [81] Tato statistika se pravděpodobně nezmění. Letectví se postupně dostává do situace, kdy dojde k maximalizaci kapacity vzdušného prostoru a na jeho rozvoj bude zapotřebí vysokých investic a na tyto data je třeba reagovat.

Úskalí letecké dopravy spočívá v jejím vlivu na emise CO₂. Letadla emitují z motorů teplo, vysoký hluk a plyny, které mají vliv na globální oteplování. V současnosti produkuje letecká doprava 2-3 procenta emisí znečišťujících životního prostředí. Pokud by nedošlo ke snížení provozu letecké dopravy, a naopak by se navýšil prostor s letadly na tryskový pohon, v roce 2050 by se podíl na emisích zvýšil na 22 procent. Na základě těchto dat se zavázal letecký průmysl snížit emise do roku 2050 o 50 procent v porovnání s daty z roku 2005. Letečtí dopravci a společnosti zabývající se materiály do letectví tak musí jednat v rámci této iniciativy, aby došlo k jejich postupnému snížení.

V rámci této diplomové práce se budu věnovat analýze aktuálně probíhajících projektů, které se soustředí na snížení emisí různými způsoby. V tomto případě se nabízí metody změny konstrukce letadla, změny konstrukce motorů či alternativní metody paliv. Výsledkem analýzy současných projektů bude vybrán alespoň jeden, kterým se bude diplomová práce zabývat mnohem intenzivněji. Díky tomu, že se bude práce zaměřovat alespoň na jeden produkt bude více informativní. Jejím účelem bude zjistit současný stav, způsoby výroby, aktuální infrastruktura a její možné rozšíření.

Výsledkem analýzy, jejíž data jsou předmětem této diplomové práce je zaměření na alternativní metodu paliva, která je v současnosti nejvíce reálnou možností snížení emisí v blízké budoucnosti letecké dopravy. Součástí práce budou procesy získání daného paliva, statistika letadlového parku, které využívají alternativní letecká paliva, palivové systémy a jejich zavedení na letištích, včetně konkrétních letišť využívající alternativní řešení. Zvolení alternativní metody, která bude v rámci práce uvedena do provozu bude zkoumána jak z ekonomického hlediska, tak vlivu na životní prostředí.

V diplomové práci bude užito více názvů alternativní metody paliv, které se v anglickém jazyce nazývají sustainable aviation fuel (SAF), který se v této práci používá formou zkratky, případně českým názvem alternativní letecká paliva.

2 Rešerše alternativních energetických zdrojů

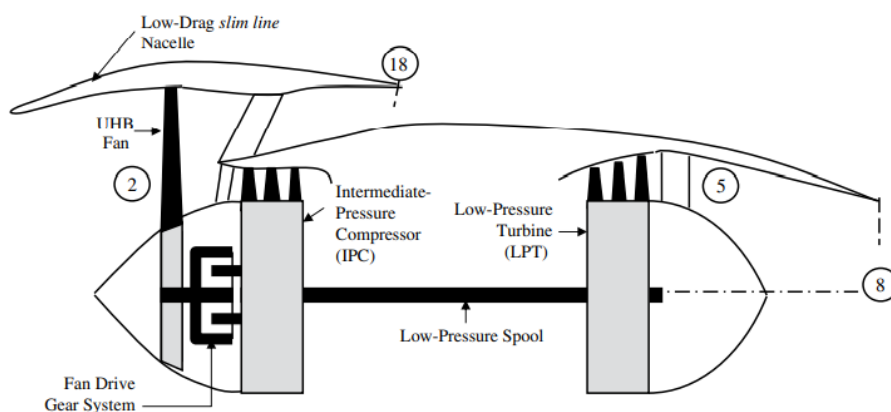
Evropská komise v rámci programu Clean Sky stanovila cíl do roku 2050, který zahrnuje snížení emisí CO₂, skleníkových plynů a hluku produkované leteckou dopravou. Tento program vznikl v roce 2007 a v současné době probíhá jeho druhá část. Clean Sky 2 chce dosáhnout snížení emisí a hluku z letecké dopravy inovativními technologiemi implementovanými na platformách jako jsou velké dopravní a regionální letadla a helikoptéry. To se bude týkat zejména úprav draků, pohonných jednotek a využívaných leteckých systémů. Probíhající druhá část programu je zaměřena na vývoj technologií, které budou v letecké dopravě přispívat k zelenější budoucnosti. [31] Současná letecká doprava produkovala dle statistik v roce 2019 až 915 milionů tun emisí CO₂, což představuje 2 procenta celkových emisí CO₂ způsobených člověkem. Clean Sky 2 je především iniciativa Rady pro Evropskou Unii, na které spolupracuje přes 300 partnerských společností. [31] Za účelem snížení emisí se zapojili také Národní úřad pro letectví a vesmír (NASA) a Poradní výbor Evropské unie pro výzkum v oblasti letectví v Evropě (ACARE), kteří se rozhodli spolupracovat s leteckým a kosmickým průmyslem a s akademickou sférou na hledání alternativních řešení v komerční letecké dopravě. Na základě této iniciativy a celkového přehledu byla vypracována následující rešerše, jejíž cílem bylo identifikovat programy a projekty vyvíjející aplikace přispívající k daným cílům.

- Modifikace turbodmychadlového motoru
- Architektura otevřeného motoru
- Hybridně-elektrická pohonná jednotka
- Turboelektrická pohonná jednotka
- Elektrická pohonná jednotka
- Vodík jako palivo
- Palivové články
- Biopaliva

2.1 Modifikace turbodmychadlového motoru

Nová architektura turbodmychadlového motoru přináší změnu především ve větším průměru. Přesný název této modifikace je ultra-high bypass (UHB), neboli motor s ultra velkým obtokem vzduchu. Tento způsob vede ke snížení hluku, spotřeby paliva a motor tak produkuje méně znečišťujících látek, emisí. Dělení motorů dle obtokového poměru je na médium, jehož poměr je 2-4, motory s vysokým obtokovým poměrem, jehož poměr je 5-8 a motory s velmi vysokým obtokovým poměrem, jehož obtokovým poměr je v rozmezí 9 a

více. [48] Vývoj motoru UHB se zaměřuje převážně na zlepšování propulzní účinnosti a snížení spotřeby paliva. Spotřeba paliva je pro dopravce velmi důležitá, jelikož představuje vysoký podíl na přímých provozních nákladech. Při vývoji motoru mohou však vznikat problémy spočívající v provozní disproporci mezi dmychadlem o velkém průměru a malým průměrem jádra motoru, tedy mezi nízkotlakým a vysokotlakým kompresorem, který je poháněn stejnou hřídelí.[1] Hmotnost celého vnitřního systému motoru vyžaduje design gondoly „štíhlé linie“, tj. lopatky a ostatní části motoru musí být vyvinuty z velmi lehkých materiálů. Materiály, ze kterých jsou aktuálně nejčastěji vyvíjené motory jsou kompozitní materiály, které jsou charakteristické nízkou hmotností a vysokou pevností.



Obrázek 1 UHB pohonný systém [1]

Projekty zaměřené na Ultra High Bypass

Společnost	Program /Název motoru	Obtokový poměr	Aktuální stav	Stav
Evropská unie	ENOVAL	Mezi 12 a 20	Vývoj, uvedení do provozu je rok 2025	Program Evropské unie na vývoj pohonných systémů s vysokým obtokovým poměrem. Na programu spolupracuje 35 společností, mezi které patří i výrobci motorů MTU, Rolls-Royce, Avio Aero, Safran atd.

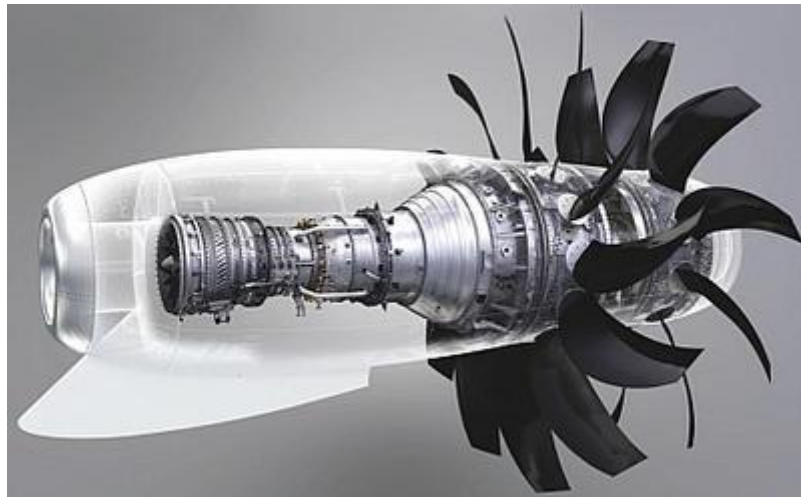
Pratt & Whitney	Nová verze motoru PW1000G	> 12	Vývoj, rok uvedení do provozu není znám	Jedná se o nový motor verze PW1000G, jehož obtokový poměr bude větší než 12. P&W pracuje na vývoji se společností MTU.
Safran Aircraft Engines	UHBR – Ultra High Bypass Ratio	> 15	Vývoj, rok uvedení do provozu není znám	V rámci programu Clean Sky 2 se snaží o vývoj motorů s nízkými emisemi a nižším hlukem.
Rolls-Royce	UltraFan	> 15	Vývoj, rok uvedení do provozu není znám	Jedná se o největší motor na světě, jehož průměr je 3,5 m. Motor přinese zlepšení palivové účinnosti o 25 % oproti první generaci Trent motorů. Motor byl testován se 100 % udržitelným leteckým palivem.
Rolls-Royce	Trent 1000	10	V provozu	Motor vytvořený pro letoun B787 Dreamliner, o 20% účinnější než předchozí verze

Tabulka 1 Tabulka probíhajících projektů UHB společností globálně [11, 12, 13, 14,16,50]

2.2 Architektura otevřeného motoru

Výzkum architektury otevřeného rotoru byl zahájen v osmdesátých letech 20. století americkou společností GE ve spolupráci s NASA. Dřívější výzkumy však byly provedeny v Rusku v padesátých letech 20. století na motoru NK-12, který měl dva protiběžné čtyřlísté rotory o průměru 6 metrů. Tyto motory byly instalovány na ruských letadlech Tu-114 a An-22. Výzkumy americké společnosti prokázaly podstatně nižší spalování paliva oproti turbodmychadlovým motorům. Hluk z motoru s otevřenou architekturou nebyl o mnoho vyšší než z turbodmychadlových motorů. Důvodem ukončení vývoje nebyl technický, ale sociálně ekonomický. V 80. letech minulého století klesla cena paliva, která byla důvodem

pro ukončení technologického vývoje tohoto typu motorů, který byl dražší než doposud vyvinuté motory. Přestože byl program na vývoj otevřeného rotoru v roce 1989 zrušen, současný vývoj ve spolupráci s moderní výpočetní technikou dynamiky tekutin a aero akustikou umožnily pokrok v designu nad rámec toho, čeho bylo dosaženo před desítkami let. Jak již bylo řečeno, architektura otevřeného motoru spočívá ve dvou protiběžných vrtulích, které jsou poháněny turbínovým motorem. Druhá řada lopatek vrtule otáčející se proti první řadě odstraňuje rotaci ze sloupce vzduchu, čímž se získá více přímého tahu a lepší propulzní účinnost. Technologie otevřeného rotoru nabízí potenciál pro významné snížení spalování paliva a emisí srovnatelné s turbodmychadlovými motory s ekvivalentním tahem. Motory s architekturou otevřeného rotoru odstraňují hmotnostní omezení způsobené obklopující gondolou díky ovládním lopatek vrtule, což umožňuje dosažení vysokých poměrů obtoku vzduchu. Architektura otevřeného rotoru je určena především do regionálních letadel. [5, 3, 2]



Obrázek 2 Architektura otevřeného rotoru [4]

Fotografie zobrazuje otevřený rotor od společnosti Safran Group, která na této technologii v současnosti pracuje od roku 2008. V roce 2015 byl sestaven demonstrátor a v květnu 2017 byly provedeny pozemní testy s cílem snížit spotřebu paliva a emise CO₂ o 30 % ve srovnání s turbodmychadlovým motorem CFM56 od společnosti CFM International. [4]

Aktuálně probíhající projekty architektury otevřených motorů

Společnost	Země	Název programu	Rok zahájení provozu	Poznámky
CFM International	USA	Není uvedeno	2030-2040	Spolupráce společnosti GE a NASA na architektuře otevřeného rotoru.
Safran Aircraft Engine	Francie	Counter Rotating Open Rotor	2030-2035	

Tabulka 2 Tabulka aktuálních projektů s architekturami otevřeného motoru [15, 63]

2.3 Hybridně elektrická pohonná jednotka

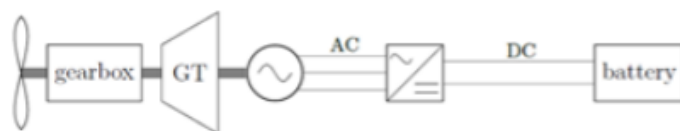
Dalšími alternativními pohonnými jednotkami jsou hybridně elektrické. Jak už z názvu vyplývá, jedná se o kombinaci dvou pohonů pohánějící letadlo. Kromě spalovacího motoru dodávají energii baterie. Během různých částí letu mohou být nosiče energie vyváženy tak, aby celkový systém mohl optimálně fungovat. Pro baterie jsou hlavní omezení hustota energie a hustota výkonu. Baterie přispívají svou energií převážně při vzletu a stoupání. To vede ke zmenšení turbínových motorů, které mají elektrickou podporu. Jsou zkoumány dva typy hybridně elektrických uspořádání – paralelní a sériové. [6, 7]

- **Hybridně elektrické paralelní uspořádání:**

V paralelním uspořádání je elektrický motor namontován na stejné hřídeli jako spalovací motor a všechny komponenty jsou umístěny relativně blízko u sebe. Existují však polohové a teplotní limity, které mohou být pro některé komponenty systémů kritické. Těmi je například elektrický motor, který by z teplotních důvodů neměl být v bezprostřední blízkosti spalovacího motoru. Elektrický motor je tedy umístěn před kompresorem či před převodovkou. Výpočet elektrické účinnosti hybridně elektrického motoru v paralelním uspořádání lze vypočítat:

$$\eta_{el-sys} = \eta_{mot} * \eta_{PE} * \eta_{cond} * \eta_{bat}$$

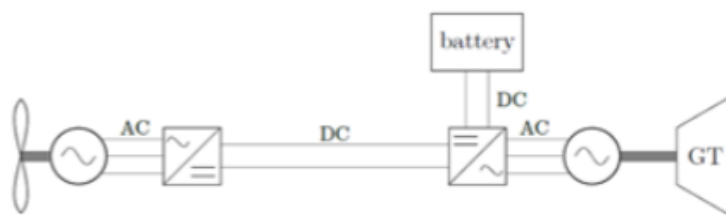
Rovnice 1 Elektrická účinnost hybridně elektrického motoru v paralelním uspořádání [5]



Obrázek 3 Hybridně elektrické paralelní zapojení [5]

- **Hybridně elektrické sériové uspořádání**

V hybridně elektrickém sériovém uspořádání je spalovací motor oddělen od elektrického pohonu. V této koncepci zapojení neposkytuje generátor veškerou energii. Během vzletu a stoupání na spotřebu energie částečně přispívá baterie. Z důvodu omezení MTOW nemůže překročit asi 10 % vzletového výkonu. Účinnost elektrického systému sériového zapojení je nižší než paralelní. Pokud baterie poskytuje další energii, výsledkem bude smíšená hodnota jako celková elektrická účinnost. Vzhledem k tomu, že se systém skládá z mnoha komponent, je složitý a těžký, což má za následek velké nevýhody.



Obrázek 4 Hybridně elektrické sériové zapojení [5]

Hybridní jednotky byly zavedeny již dávno v automobilovém průmyslu. V leteckém sektoru jsou stále v rané fázi vývoje s potenciálem využití hybridně elektrického pohonu alespoň do malých až středních letadel. Dle průzkumů mají spalovací motory ve srovnání s elektrickými nižší účinnost a poměr výkonu k hmotnosti. [6]

Společnost	Země	Název programu	Rok zahájení provozu	Poznámky
Airbus	Francie	E-Fan X	Není známo	Hybridně elektrické malokapacitní letadlo, které nahradilo jednu pohonnou jednotku ze čtyř elektrickým motorem. Spolupráce na programu byla v roce 2020

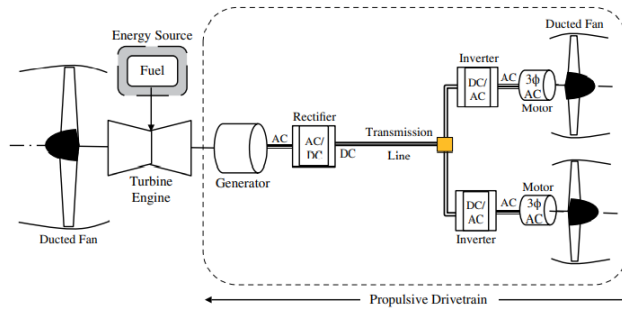
				zrušena z důvodu pandemie Covid-19.
Faradair	Velká Británie	Bio Electric Hybrid Aircraft (BEHA)	2026	V rámci programu se společnost zaměřuje na 3 varianty, jenž jednou z nich je právě hybridně elektrický M1H
Electric Aviation Group (EAG)	Velká Británie	Hybrid Electric Regional Aircraft (HERA)	2028	70 místní hybridně elektrický regionální letoun. Letoun bude pravděpodobně upgradován na plně elektrický.
Zunum Aero+Safran	USA	ZA10	2022	Americká společnost vyvíjí 12 místní letoun, s motory společnosti Safran Aircraft Engines doplněny elektrickým generátorem. Program byl posunut o 2 roky od původního plánu, kdy měl přijít do provozu v roce 2020.

Tabulka 3 Tabulka aktuálně běžících hybridně elektrické projektů [17, 18, 19, 20]

2.4 Turboelektrická pohonná jednotka

V turboelektrické konfiguraci se mechanická energie turbínového motoru převádí na elektrickou energii generátorem. Koncept turboelektrické jednotky využívá třetí spalovací motor, který je zabudován do upraveného ocasního kužele, který napájí elektrické jednotky umístěné na křídlech pomocí elektrického generátoru. Jelikož je pohonná jednotka umístěna v zádi trupu, sníží se tak odpor vzduchu a hluk z motoru. Všechny pohonné jednotky představují třetinu tahu. Předběžné studie prokázaly zlepšení účinnosti o 10 %.

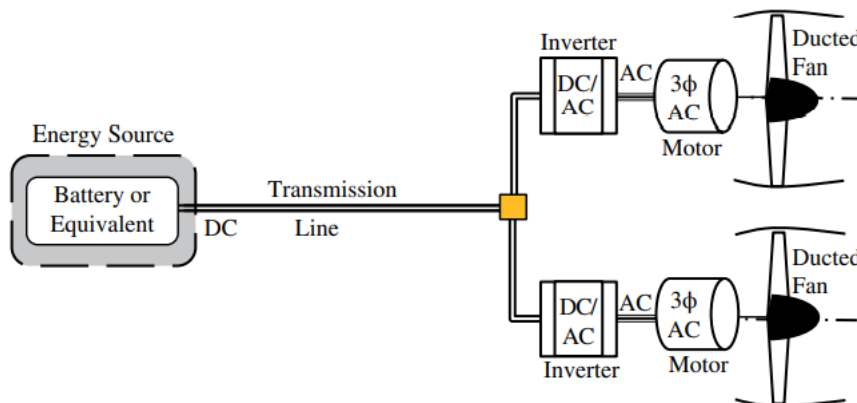
[1,6]



Obrázek 5 Turboelektrická pohonná jednotka [1]

2.5 Elektrická pohonná jednotka

Princip elektrické pohonné jednotky je velmi jednoduchý. Elektrický pohon je poháněn výhradně bateriemi nebo ekvivalentními zdroji energie. Účinnost elektrického motoru je přibližně stejná jako paralelní zapojení hybridně elektrického motoru. Ekologická, či uhlíková stopa elektrického systému spočívá hlavně v typu nabíjecích systémů používaných při nabíjení baterií. Na uhlíkovou stopu má například vliv energetická síť založená na uhlí (fosilní palivo) nebo případně obnovitelné zdroje, jako je sluneční nebo větrná energie k nabíjení. Zároveň je třeba zohlednit dopad na životní prostředí z používaných bateriích, jako je kadmium nebo lithium. Hmotnost elektrického motoru je mnohem větší než ostatní alternativní pohonné jednotky právě díky napájení z baterií. Hmotnost baterie lze tedy považovat za limitující parametr. Aby se umožnil plně elektrický let, je třeba uvažovat nad správnou délkou letu a bezpečnostní rezervou, kterou je třeba vždy zohlednit. [1, 6]



Obrázek 6 Elektrická pohonná jednotka [1]

Společnost	Země	Název programu	Rok zahájení provozu	Poznámky
Airspeeder	Austrálie, Velká Británie	Speeder MK-4	2021	Jedná se o první elektrické vozidlo, připomínající formuli
Heart Aerospace	Švédsko	ES-19	2026	Plně elektrické 19místné letadlo, pro regionální provoz
Archer	USA	Archer	2024	Plně elektrické VTOL
NASA	USA	X-57 Maxwell	2021	Experimentální letadlo na elektrický pohon. Italský Tecnam P2006P s jinou pohonnou jednotkou.
Bye Aerospace	USA	eFlyer	Není známo	Dvoumístný letoun
Embraer	Brazil	eVTOL koncept	2024	Koncept elektrického VTOL letounu

Tabulka 4 Aktuální projekty s elektrickým pohonem [21, 22, 23, 24, 25]

Do výroby elektrických letounů se zařadili i velcí výrobci letounů jako je Airbus a Boeing. Velkou většinu elektrických letounů tvoří typu VTOL, následně pak regionální letouny a dvou či jednomístné letouny. V současné době není ve vývoji malokapacitní letoun s elektrickým pohonem. Jediným certifikovaným letadlem s elektrickým pohonem je letoun Pipistrel Velis Electro od Slovinské společnosti Pipistrel. [26]

2.6 Spalování vodíku

Vodík je prvek vyskytující se nejhojněji ve vesmíru následovaný heliem. Jedná se o nosič energie, který je často označován za čisté palivo, které neobsahuje uhlík. Nejčastějším průmyslem, kde se vodík využívá jako palivo je energetický a dopravní. Reakce vodíku spolu s kyslíkem produkuje vodní páru, teplo nebo také elektřinu, které jsou žádanými výstupy. Vodík se hojně využívá ve vesmírném programu, což byl základ a iniciativa pro letecký průmysl. Získání vodíku jako použitelného zdroje energie přináší mnoho výzev, mezi které patří například to, že se vodík ve volné přírodě nevyskytuje v čisté formě, ale spíše ve sloučeninách jako je voda a metan. Historie vodíku jako nositele energie či jako

alternativní palivo však není novinka. Spalovací motory na vodík se začali vyskytovat již od roku 1800, ale rozsáhlejší vývoj dostal prostor až v roce 1990. Podobně na tom byl vývoj vodíkových palivových článků. Důvodem neúspěchu byla nedostatečná infrastruktura a malá poptávka z důvodu vysokých finančních nákladů. V současné době ale začíná být vodík jako palivo brán vážně, což lze vidět i na podpůrných nástrojích a strategiích Evropské unie, které by mohli započít vodíkovou revoluci. Drahá výroba vodíku je zapříčiněna zároveň malým dodavatelským řetězcem, který se bude více rozšiřovat s větším zájmem o tuto technologii. Vodík má velmi malou hustotu ($0,0899 \text{ kg/m}^3$) a nízký bod varu ($-252,9 \text{ }^\circ\text{C}$), což je velmi složité a nákladné na skladování a distribuci. V letectví je momentálně vysoký zájem o vodík jako palivo, které lze využít dvěma způsoby. Spalování vodíku ve spalovacích motorech a využití vodíku formou palivových článků. Při spalování vodíku dochází k přeměně chemické energie na teplo a mechanickou práci, což nezpůsobuje produkci emisí oxidu uhličitého, ale naproti tomu produkuje malé množství oxidu dusíku. Využití vodíku formou palivových článků, kde dochází k přeměně chemické energie na elektrickou, může pro letectví znamenat bezemisní létání za předpokladu výroby vodíku z obnovitelných zdrojů. Nejznámějším projektem zabývající se vodíkem jako alternativním palivem je ZEROe od společnosti Airbus, který chce vyvinout do roku 2035 tři letouny různých konceptů létající na vodík v kombinaci s palivovými články. [1, prac. Analýza, 8]

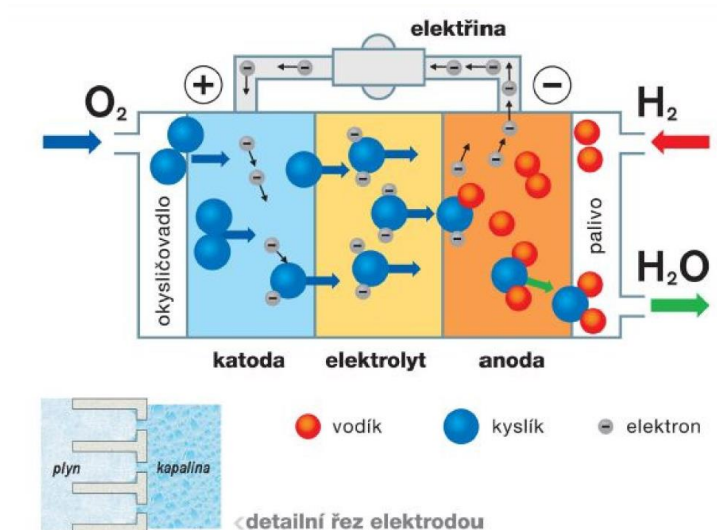
2.7 Palivové články

Palivové články jsou využívány jako zdroj elektrické energie již od vesmírného programu Gemini v šedesátých letech. Princip využití palivových článků za účelem pohonu letounu je přeměna chemické energie z článků bohatých na vodík na elektrickou energii. Tato přeměna energie dosahuje elektrické účinnosti až 60 % v porovnání s klasickými energetickými zdroji. Jeden palivový článek se skládá z několika individuálních článků. Každý článek obsahuje anodu, katodu a vrstvu elektrolytu. Vodík vstupuje do palivových článků a reaguje s kyslíkem v okolním vzduchu. Tato reakce produkuje jak elektrický proud, tak teplo a vodu. Typy palivových článků se dělí dle materiálu elektrolytu. Palivové články tak mohou být s alkalickým elektrolytem (AFC), s tavenými uhličitany (MCFC), s kyselinou fosforečnou (PAFC), s polymerní membránou (PEMFC) a s tuhými oxidy (SOFC). Palivo do palivových článků je přiváděno nepřetržitě a vlastní palivový článek nepůsobí žádnou práci. Palivový článek se tak na rozdíl od baterie nemůže vybit. Výhodami palivových článků jsou velmi nízké emise CO_2 , nízký hluk, dlouhá doba aktivního provozu mezi občasnými poruchami a vysoká energetická účinnost. Naproti tomu nevýhody palivových článků jsou vysoká pořizovací cena, nízká životnost, energetická účinnost s dobou provozu klesá a jsou citlivé na některé příměsi paliv. [1, 8, 9]

Společnost	Země	Název programu	Rok zahájení provozu	Poznámky
Aviacor	Rusko	Tu-155	1988-1987	Letoun poháněný vodíkem, později přeměněn na LNG
Smartfish	USA	Hyfish	Není známo	Palivovými články na vodík poháněný bezpilotní prostředek. O projektu byli nalezeny pouze informace z roku 2007.
Boeing	USA	Phantom Eye	Není známo	Bezpilotní prostředek (UAV) poháněny motorem na vodík. Poslední update o vývoji UAV je z roku 2013, kdy byl uskutečněn druhý let.
AeroDelft	Nizozemsko	Phoenix PT	2024	Cílem je být první společností s letounem na vodíkové palivové články. Vzlet letounu je podporován bateriemi. Vodík je uchováván v nádržích při teplotě téměř absolutní nuly (-253 °C)
Reaction Engines	Velká Británie	Skylon	2025 letové zkoušky	Jedná o jednostupňový kosmický letoun,

				jehož motory budou poháněny vodíkem, který bude zároveň ochlazovat helium využívaný k cirkulaci v systému.
Boom Supersonic	USA	XB-1	Není známo	Projekt nadzvukového dopravního letadla, které bude využívat vodík jako palivo.
Airbus	Francie	ZEROe	2035	Airbus v roce 2020 vydalo prohlášení a vývoji 3 nových typů dopravních letadel na vodík a palivové články. Jejich podobě se liší, ale princip je u všech stejný.

Tabulka 5 Aktuálně probíhající projekty s vodíkovým pohonem a palivovými články [27, 28, 29, 30, 7, 32]



Obrázek 7 Funkce palivového článku [9]

2.8 Udržitelná letecká paliva

Do alternativních paliv jako zdroj energie patří i udržitelná letecká paliva. Jedná se o alternativní paliva vyrobená z biologického odpadu nebo z biomasy. Jsou atraktivní především z důvodu nízkých emisí skleníkových plynů při spalování, minimální závislost na zdrojích fosilních paliv a vysoká dostupnost obnovitelných zdrojů. Všechna biopaliva musí mít specifické vlastnosti, jako jsou vlastnosti za studena, tepelnou stabilitu a nízký bod tuhnutí. Zároveň musí být biopalivo vhodné pro danou konstrukci motoru. Biopaliva se dělí na tuhá, kapalná a plynná a mohou mít různý původ. Energetické plodiny používané jako zdroj by neměly zpochybňovat produkci potravin a ekosystém. Zároveň by neměly poškozovat životní prostředí a nezpůsobovat odlesňování. Hlavními dostupnými zdroji pro proces výroby energie jsou nejdříve olejniny, odpad, nebo zbytky lesů. Biopaliva z již uvedených zdrojů lze získat různými technologiemi, jako jsou termochemické procesy či biochemické přístupy. Vzhledem k nízké ceně zdrojů, které jsou obnovitelné je pravděpodobné, že se sníží cena nákladů na palivo. Výroba biopaliva může přinést ekonomické zisky zejména v rozvojových zemích, kde je obtížná dodávka fosilních paliv. Mezinárodní organizace pro leteckou dopravu IATA očekává do roku 2030 až třicetiprocentní podíl biopaliva na celkovém palivu pro tryskové motory na jeden let. [10]

Společnosti zaměřené na udržitelná letecká paliva:

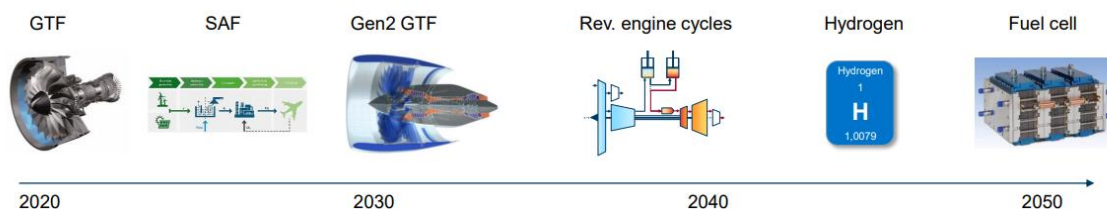
- **ENGIE:** Energetická společnost Engie ve Francii zahájila snahu snížit oxid uhličitý do roku 2050 o polovinu v porovnání s rokem 2005. Jejich řešení je zaměřené na biopaliva především z důvodu snížení emisí oxidu uhličitého o 90 %. Engie je ve Francii vedoucí energetická společnost, která bude dodávat e-petrolej – syntetický petrolej, vyrobený z obnovitelné energie, vody a biogenického CO₂. Hlavními partnery projektu jsou společnosti ADP Group, Airbus, Air France KLM Group a Safran, což povede ke snížení emisí v letectví. [33]
- **Rolls-Royce:** Výrobce dvouproudových motorů do velkokapacitních i malokapacitních letounů vstoupí do další fáze testů motorů na sto procentní biopalivo. Bude se jednat o letový test motorů na letadle Boeing 747-200 ve třetím kvartálu roku 2021. Za posledních pár měsíců byly doposud provedeny pozemní testy motorů Trent 1000 a Pearl 700, na který bylo využito sto procentní biopalivo. [34]
- **GKN Aerospace:** Společnost zabývající se výrobou leteckých komponent bude testovat motor RM12 (turbodmychadlový motor vyvinutý pro víceúčelový letoun Saab JAS-39 Gripen) s padesáti procentním biopalivem a padesátiprocentním petrolejovým palivem. Test bude demonstrovat potenciální využití biopaliv ve

vojenském letectví. Testování na motoru RM12 je součástí bilaterální dohody mezi Švédskou správou vojenského materiálu a americkými vzdušnými silami a námořnictvem. [35]

- **Airbus:** Francouzská společnost Airbus se snaží o co nejnižší uhlíkovou stopu nejen s letouny na vodík a palivové články. V současné době jsou letadla Airbus schopna létat na směs složenou z padesáti procent z petrolejového paliva a z padesáti procent z biopaliva. Cílem je dosáhnout létání se sto procentním biopalivem. Překážkami všech společností k co nejnižší konstrukční změně je dosáhnout podobných vlastností jako je klasické fosilní palivo, tj. využití jako chladící kapalina, mazivo a kapalina ovládající hydrauliku uvnitř motoru. [36]
- **Deutsche Aircraft:** Německá společnost provede přestavbu starého typu letounu D328 na variantu D328eco, která bude mít novou konstrukci spolu s novými motory a avionikou. Konstrukce letounu bude delší a díky tomu bude dostupnější pro více lidí a bude mít nové zvětšené nádrže pro palivo – biopalivo. Motory od společnosti Pratt & Whitney tak budou stoprocentně kompatibilní s biopalivem. Plánovaný vstup do provozu je v roce 2030. [37]
- **Ryanair:** Evropská jednička na trhu s aeroliniemi oznámila, že se přidala k iniciativě „Fuelling Flight Initiative“, která podporuje udržitelná paliva jako cíl k dosažení bezuhlíkového letectví. Tato iniciativa poskytuje doporučení týkající se aspektů udržitelnosti v koncepci politiky Evropské Unie na podporu biopaliv. Díky sdružení společností z oblasti ekologie, leteckých společností a výzkumných organizací dosáhly souhlasu ohledně nezbytných kroků k přechodu z fosilních paliv k uhlíkově neutrálnímu létání. [38]
- **Safran:** Francouzská společnost Safran, která se zaměřuje na vývoj leteckých motorů a pomocných energetických jednotek se snaží o snížení uhlíkové stopy vývojem několika typů motorů. Zároveň podporuje projekty zabývající se udržitelnými palivy a jejich studie na produkci biopaliv. Společnost podepsala půjčku s Národní investiční bankou na 500 milionů euro na výzkum nové generace propulzních systémů na snížení emisí oxidu uhličitého. [39, 40, 41]

Na základě výše provedené rešerše projektů a společností zabývajících se vývojem nových technologií se zaměřením na bezemisní letový provoz bylo pro podrobnější studii zvoleno biopalivo, resp. udržitelné letecké palivo (SAF). Podrobnější zaměření na udržitelná letecká paliva přispěl i graf na obrázku č. 8, který byl vytvořen společností MTU, která se zabývá vývojem a výrobou motorů. Společnost se v současnosti zaměřuje mimo jiné také na alternativní letecká paliva a jejich implementaci do budoucího provozu. Na grafu lze vidět

časovou osu, která predikuje budoucnost projektů zaměřených na alternativní letecká paliva do roku 2050. Predikce začíná se snižováním emisí v letecké dopravě pomocí motorů velmi vysokými obtokovými poměry následované udržitelným leteckým palivem. Jako nejzazší projekt vstupující na trh s ambicemi snižování emisí v letecké dopravě jsou palivové články.



Obrázek 8 Časová predikce implementace alternativních paliv do letecké dopravy od společnosti MTU [63]

3 Druhy udržitelných leteckých paliv

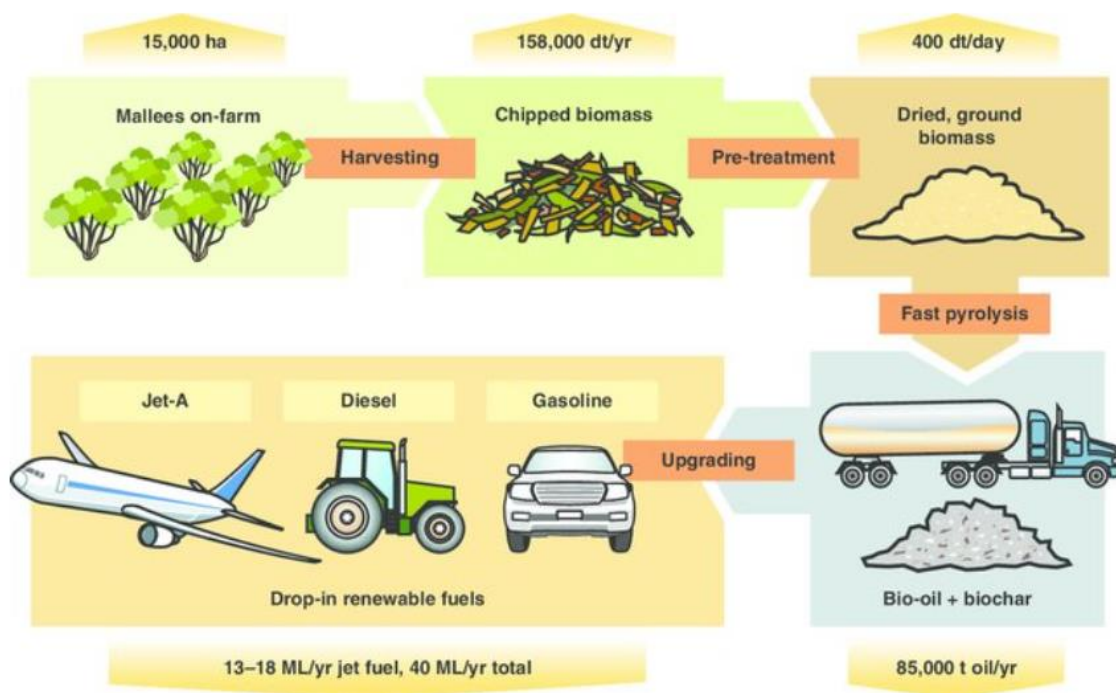
Suroviny použité k výrobě alternativních leteckých paliv jsou biologického původu. Zpracování obnovitelných zdrojů se liší různými chemickými procesy a finální podoba paliv tak může být v tuhém, kapalném a plynném skupenství. Všechny druhy paliv však musí splňovat stejné kvality a charakteristiku jako klasická petrolejová paliva, aby mohla být použita v letovém provozu. V současné době je využití alternativního leteckého paliva v poměru ke konvenčnímu palivu 50:50, což bylo identifikováno dle rešerše zmíněné výše. Současně s tím jsou testovány motory se 100 % alternativním leteckým palivem, což je podporováno mnoha společnostmi. Provozovatelé se tak soustředí především na snížení emisí CO₂ bez potřeby změny architektury letadel a infrastruktury systému, což alternativní letecká paliva splňují. Aby se předešlo problémům s infrastrukturou i používaným palivem, byly přijaty mezinárodní specifikace pro konvenční paliva. Dva nejpoužívanější standardy pro zajištění vhodného paliva jsou od společnosti American Society for Testing Materials (ASTM). Ty jsou označeny číslem D1655 a DEF STAN 91-91, které jsou přijaty i Evropskou agenturou pro bezpečnost EASA. Díky těmto standardům jsou stanoveny kritéria, kterými jsou složení a jejich těkavost, tekutost, spalování, koroze, tepelná stabilita, kontaminanty a přísady použité při výrobě. Standardy mimo jiné zajišťují, že palivo je následně kompatibilní pro daného uživatele. [42] Aby bylo palivo považováno za udržitelné, musí být získané z obnovitelných zdrojů, snižuje emise skleníkových plynů a musí být kompatibilní s konvenčním palivem. Těmito kritérii lze dosáhnout tzv. čistého spalování. [9, 44]

Obnovitelnými zdroji, které jsou pro výrobu udržitelného paliva v současnosti preferovány, jsou rostlinné energetické plodiny, řasy, komunální a splaškové odpady, odpadní dřevo, zbytky lesů a halofilní rostliny. Rostlinné energetické plodiny v udržitelných palivech jsou dávivec nebo lnička setá. Dávivec je rostlina, jejíž semena obsahují 30-40 % oleje. Výhodou této plodiny je velmi malá náročnost na údržbu a je vhodná jako rotační rostlina při pěstování obilí. Lnička setá má podobné vlastnosti jako dávivec. Tento typ rostlin se vyznačuje tím, že může růst na suchých a slaných místech. Přestože nepotřebuje vlhko, roste velmi rychle a po zasazení může obrůst až 40 let. Stejně jako dávivec má vysoký podíl oleje. Rostliny vhodné pro úpravu do leteckého paliva s výskytem v České republice mohou být cukrová řepa, cukrová třtina, kukuřice nebo škrob. Dalším vhodným zdrojem jsou řasy, jejichž výhodami jsou především vysoký obsah lipidů, rychlá absorpce oxidu uhličitého, malé množství půdy pro pěstování a rychlý růst. Zbytky zpracovaných řas jdou využít jako následné krmivo pro zvířata, či k výrobě plastů. Velkou výhodou řas je především dostupná celoroční sklizeň, kterou lze snadno upravit do různých typů udržitelných paliv. Dalšími zdroji, jak již bylo výše zmíněno, jsou halofilní rostliny. Tento typ

rostlin může růst na suchých a slaných místech a vyskytuje se převážně v tropických oblastech. Jedná se jak o rostliny, tak o traviny, které rostou ve vnitrozemních jezerech, na pobřeží moří, v pouštích, ale i v moři. Zásadní výhodou halofilních rostlin je, že nevyžadují vodu a půdu. [43]

3.1 Procesy získání udržitelných leteckých paliv

Biopaliva lze získat různými metodami, na nichž je proces výroby závislý. Procesů, které se zabývají výrobou alternativních paliv, je mnoho, a tato práce se zaměří konkrétně na čtyři, kterými jsou: termochemický proces, biochemický proces a Fischer-Tropschova (FT) syntéza paliv a elektropaliva. Zvolená metoda, kterou se dané palivo zpracovává, ovlivní následující parametry: složení daného paliva, náklady na vývoj, vlastnosti paliva, dostupnost a dopad na životní prostředí. [43]

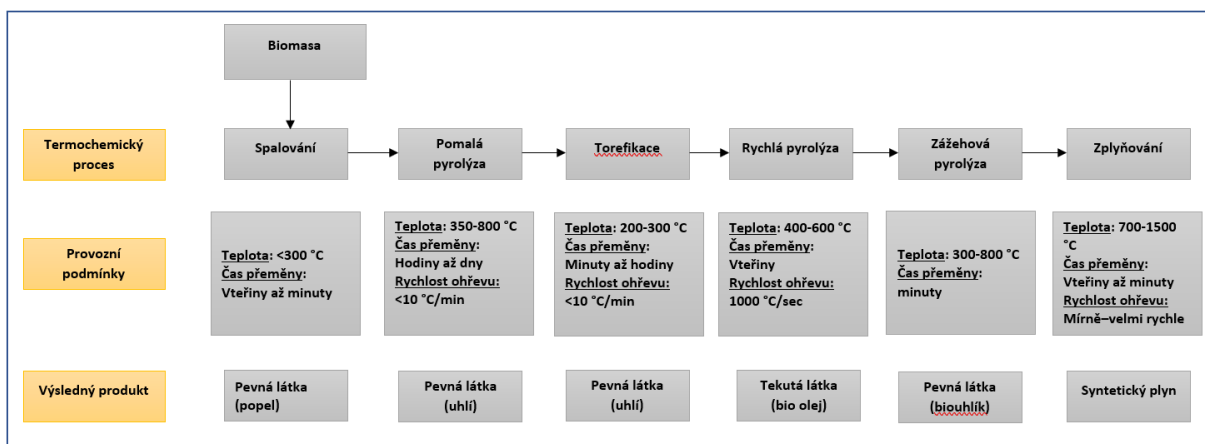


Obrázek 9 Proces výroby udržitelných leteckých paliv [82]

3.1.1 Termochemický proces

V termochemickém procesu dochází k přeměně biomasy na energii a palivo pomocí tepla. Proces se řídí několika kroky, kterými konkrétně jsou: spalování, pomalá pyrolýza, torefikace, rychlá pyrolýza, zážehová pyrolýza a následné zplyňování. Každý proces vyžaduje jiné tepelné, tlakové či časové podmínky, které zajišťují finální kvalitu paliva. [48]

Termochemický proces začíná spalováním, který podléhá čtyřem krokům. Biomasu před spalováním je zapotřebí usušit. Dalším krokem spalovacího procesu je třeba odpařit vodu vsáknutou do biomasy a zbavit jí veškeré vlhkosti. Po vypařování následuje oxidace v plynné fázi. V této fázi přichází molekuly do styku s kyslíkem, který je následně zažehnutý. Posledním krokem této části termochemického procesu je zahájení spalování. Veškerý materiál reagující s kyslíkem je spálen a získaný uhlík je oxidován na oxid uhličitý. Po spalování biomasy zbyde popel, který je zpracováván dalšími kroky. Po fázi spalování přichází na řadu pomalá pyrolýza, při které dochází k zahřívání materiálu za nepřítomnosti kyslíku na střední až vysoké teploty (350-800 °C). Cílem pomalé pyrolýzy je získat produkt pevného uhlí. Rychlost ohřevu se pohybuje v rozmezí pod 10 °C za minutu. Následují proces torefikace, který je poměrně stejný jako pomalá pyrolýza. Rozdílem je zahřívání materiálu při nízkých teplotách pohybujících se v rozmezí 200-300 °C. Torefikace odstraňuje z biomasy vodu a některé těkavé látky a usnadňuje její skladování. Následuje rychlá pyrolýza, která stejně jako pomalá pyrolýza ohřívá biomasu za nepřítomnosti kyslíku. V tomto případě se však rychlost procesu pohybuje okolo 1000 °C za sekundu a rozmezí teplot je okolo 400-600 °C. Při krátkém čase vypařování a rychlém zchlazení par dochází k produkci kapalného produktu, bio oleje. Výsledný bio olej je směsí vody a okysličených organických sloučenin. [48] Zážehová pyrolýza provádí proces za určitého tlaku pro minimalizaci reakční doby. Biomasa se ukládá do kanystrů a následně je plněna do vysokotlaké komory. Stlačený vzduch je čerpán do komory, kde následně proběhne zážeh pomocí elektrických ohříváčů na dně komory. Tyto ohříváče zažehnou jiskru, která zapálí biomasu, která následně ohřívá biomasu nad ní. Po 30-45 minutách je kyslík vyčerpán a biomasa se přemění na bio uhlík. Proces zážehové pyrolýzy je jen o něco pomalejší než rychlá pyrolýza a její teplota dosahuje až 800 °C. Poslední fáze termochemického procesu je zplyňování. Jedná se o proces za velmi vysokých teplot, které se pohybují v rozmezí 750-1800 °C. Při zplyňování je nutné určité množství kyslíku potřebného pro stechiometrické spalování. Proces zplyňování je téměř podobný spalování s rozdílem omezeného množství kyslíku, bez kterého není možné dokončit kroky oxidace v plynné a pevné fázi, které ve finální fázi poskytují oxid uhličitý (CO₂) a vodu (H₂O). [48]



Obrázek 10 Termochemický proces [Autor]

3.1.2 Fischer-Tropschovy syntézy (FT paliva)

Syntézy od Franze Fischera a Hanse Tropsche byla prvně demonstrována již ve třicátých letech minulého století. Fischer-Tropschova paliva jsou na základě syntézy dvou plynů. Tyto plyny, vodík (H₂) a uhlík (CO), jsou v přesném poměru, a pomocí syntézy tak vznikne uhlovodíková kapalina a voskovité pevné látky s vodou jako vedlejší produkt vzniklý polymeračním procesem. Polymerační proces je tvořen za přítomnosti železného nebo kobaltového katalyzátoru za určitých podmínek. Těmito podmínkami jsou stálá teplota (200-350 °C) a tlak (2-5 MPa). Fisher-Tropschova syntéza postupuje následujícími kroky:

1. Prvním krokem FT procesu je vazba oxidu uhelnatého na povrch katalyzátoru následované buněčném dělení oxidu uhelnatého na uhlík a kyslík.
2. Díky katalyzátoru jsou do přítomnosti FT procesu přidávány molekuly vodíku, tzv. hydrogenace, pomocí níž se vytvoří uhlovodík dvojicemi vodíku a uhlíku a voda dvojicemi vodíku a kyslíku jako vedlejší produkt.
3. Postupným přidáváním vodíku a uhlíku do procesu se vytváří uhlovodíkové skupiny, které začnou tvořit uhlovodíkový řetězec.

Veškerá produkce uhlovodíkového řetězce je závislá na přítomnosti katalyzátoru, který podporuje prodlužování uhlovodíkového řetězce a předchází jeho přerušení. Volba katalyzátoru a jeho následné provozní vlastnosti mohou ovlivnit fyzické vlastnosti uhlovodíku. Na uhlovodík se tak může vázat kyslík a určité množství lehkých plynů, jako methan nebo ethan, jejichž spojením může vzniknout tekutina, voskový produkt nebo kombinace obojího. Postup chemického procesu je ovlivněn především materiálem katalyzátoru, který je při procesu používán a na základě toho je pak ovlivněna i efektivita a progres dané reakce. [44]

- **Fischer-Tropschova reakce za vysoké teploty**

V případě reakce při vysokých teplotách se pracuje s katalyzátorem na bázi železa. Tento proces vyžaduje teploty v rozmezí 300–350 °C (570–660 °F) při tlaku v rozmezí 2-4 MPa a proces se díky tomu nazývá vysokoteplotní (HTFT). Při vysokoteplotním procesu vzniká uhlovodík.

- **Fischer-Tropschova reakce za nízké teploty**

Fischer-Tropschova reakce za nízké teploty se provádí při teplotách v rozmezí 200-240 °C (390-465 °F) a při tlacích v rozmezí 2-4 MPa. Během tohoto procesu se běžně používá katalyzátor na bázi kobaltu a jeho vedlejším produktem je vosk. Tento proces je také nazvaný nízkoteplotní (LTFT). Při tomto procesu lze využít nejen katalyzátor na bázi kobaltu, ale i železa. Výběr materiálu katalyzátoru ovlivní konečné vlastnosti vosku.

- **Katalyzátor**

Pro přeměnu v rámci Fischer-Tropschovi syntézy je zapotřebí katalyzátor vyrobený z vhodného materiálu. Tímto materiálem může být železo, kobalt, nikl a ruthenium. Nejaktivnější prvkem z těchto čtyř je ruthenium, jehož nevýhodou může být příliš vysoká cena za malé množství. Dalším vhodným prvkem je nikl, jehož pořizovací cena je nejnižší. Jeho výroba je zatížena koksováním a zároveň je považován za metanační katalyzátor, při jehož reakci může dojít k přeměně oxidu kyslíku a vodíku na metan a vodu. Nejvhodnějšími prvky jsou pro proces syntézy kobalt a železo. Pořizovací cena kobaltu se pohybuje v řádech desítek až stovek dolarů a při jeho produkci se převážně produkuje voda, kterou je třeba čistit. Po použití kobaltového katalyzátoru je třeba ho nahradit. Oproti tomu katalyzátor na bázi železa je mnohem lacinější, ale při procesu se produkuje více CO₂. Po jeho použití je možné ho uskladnit a znovu použít. V závislosti na zdroj použité pro FT proces se liší materiál katalyzátoru. [46]

- **Zdroje pro FT syntézu**

FT syntéza tedy jednotným procesem poskytuje palivo v tekutém skupenství. Pro získání daného paliva lze zvolit několik druhů zdrojů, které mohou být jak v plynném, tak pevném skupenství. Mezi zdroje pevných látek patří uhlí či biomasa, ale zároveň to mohou být přírodní plyny, jako je například CO₂ nebo elektřina. Některé procesy zahrnují kombinaci těchto zdrojů.

- Biomasa – v případě biomasy se jedná o zdroj v pevném skupenství, jehož původ může být rostlinný, živočišný či bakteriální. Těmito zdroji tak můžou být traviny, sláma, houby, dřeviny či komunální, průmyslový, nebo zemědělský odpad. V případě biomasy se jedná o proces čtyř kroků, který zahrnuje dopravu, skladování, přípravu, syntézu, zbavování nečistot a přeměnu na palivo. Vzhledem

k různorodosti zdrojů mohou komplikovat nejen jejich transport a skladování, ale jednotlivě mají různé chemické vlastnosti, jako jsou vlhkost a hustota energie, které mohou ovlivnit celý proces syntézy. Zároveň se musí brát v potaz jejich dostupnost, dodavatelské řetězce a procesní náklady. Náklady na zpracování biomasy jsou v tomto případě nejvyšší a nemohou se vyrovnat s ostatními. Náklady se dají rozdělit na dopravu, zpracování (sušení, zhuštění, mletí, torefikace) a zplyňování (až 40 % nákladů).

- Uhlí – zpracování uhlí představuje v tomto případě nízké náklady, ale emise skleníkových plynů jsou vysoké, oproti biomase. V případě kombinace biomasy a uhlí by došlo ke snížení emisí skleníkových plynů a nepříliš vysokých nákladů.
- Přírodní plyny – v případě kombinace přírodních plynů a biomasy dojde ke snížení pořizovacích nákladů a zvýšení množství vodíku. Zvýšením poměru přírodních plynů ku biomase by jako v případě kombinace s uhlím snížilo pořizovací náklady. Naopak dodání přírodních plynů k biomase by zvýšilo emise skleníkových plynů, na rozdíl od čisté biomasy. Jejich poměr tak musí být velmi optimální, aby přinášel jak ekonomické, tak environmentální kladné faktory.
- Elektřina – další z možností je převod elektřiny do tekuté formy k další syntéze s vodíkem. V tomto případě by se jednalo o zkapalnění skladované energie získané z uhlíkově neutrálních zdrojů. Energie smíchaná s vodíkem se pak přímo nebo nepřímo přemění na palivo. Energetická účinnost by se v tomto případě blížila 50 %, které by bylo dosaženo při vysokoteplotní elektrolýze za předpokladu získané energie z obnovitelných zdrojů. I v tomto případě je možné kombinovat elektřinu s biomasou, která by znamenala zvýšení uhlíkové efektivity až na 90 %.

V současné době jsou však nejčastějšími zdroji plynné zdroje, následované uhlím, ale zdroje získané z elektřiny či biomasy jsou nejnovější formou, o něž se zvyšuje zájem. [46]

Tímto procesem je certifikované palivo s označením FT-SPK, tj. Fischer Tropschův syntetický izoparafín. Tento typ paliva je certifikovaný od roku 2009. Zdrojem pro získání FT-SPK jsou již výše zmíněné látky jako uhlí, zemní plyn a biomasa, které jsou zplyňovány do syntetického plynu složeného z vodíku a oxidu uhelnatého. [43]

Další druh paliva je směs FT-SPK/A, který je smíchaný s aromaty. Tento typ paliva byl schválený a certifikovaný Americkou společností pro testování a materiály (ASTM) v listopadu roku 2015. V současnosti se jedná o jediný druh udržitelného leteckého paliva, ve kterém je syntetický plyn smíchaný s aromaty. [43]

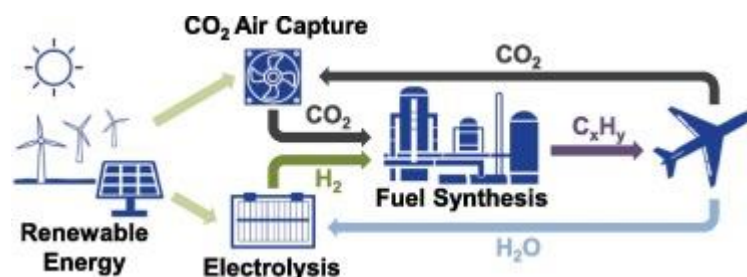
3.1.3 Biochemický proces

Během biochemického procesu dochází k přeměně biomasy a cukrů na udržitelné letecké palivo dvěma metodami, kterými jsou přeměna cukrů na alkohol nebo na uhlovodíky. Proces přeměny alkoholu na palivo, anglicky zvaný Alcohol-to-Jet (ATJ) se provádí přeměnou molekul, etanol a isobutanol, které se získávají z přímých cukrů nebo upravené biomasy. Proces získání alkoholu se skládá z dehydratace etanolem, při které dochází k odstranění přebytečného množství vody, oligomerace, kde se malé molekul přemění na jednu velkou molekulu a celý proces je zakončen hydrogenací, tj. přidání vodíku. Uhlohydráty jsou vyráběny z hydrogenačně zpracovaných esterů a mastných kyselin, jinak také fermentací cukrů na uhlovodíky. Tento proces je zaměřen na genetickou přeměnu cukrů na uhlovodíky a lipidy. Během tohoto nedochází k výrobě alkoholu jako vedlejším produktu. Výhodou tohoto procesu jsou zdroje, které jsou laciné a hojně dostupné a zároveň snižují emise skleníkových plynů až o 82 %. Pro získání alkoholu z biochemického či termochemického procesu je zapotřebí vždy kombinace cukrů a syntetických plynů. [43]

3.1.4 Elektropaliva

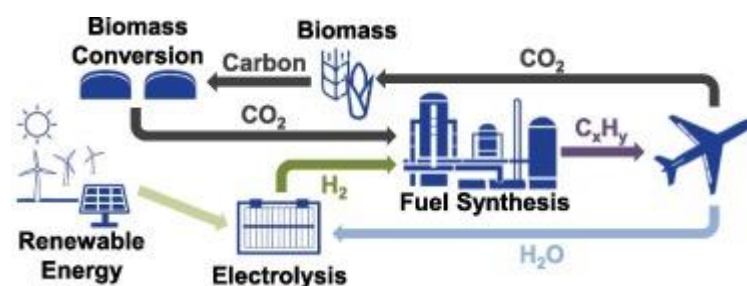
Historie elektropaliv spadá až do 19. století, kdy Paul la Cour spojil větrný mlýn s elektrolyzérem ke skladování energie ve formě vodíku. V 80. letech 20. století byla dokonce s elektrolyzérem spojena solární elektrárna v Saudské Arábii, která měla produkovat až 350 kWe. Aktuální situace snižování emisí a trendy výroby energie z obnovitelných zdrojů a rozvojem trhu s aplikacemi k přeměny energie na plyn přivedly elektropaliva zpět do povědomí. Elektrolyzéry s několika W až mnoha stovkami kW jsou komerčně dostupné a například norská společnost Nel ve spolupráci s francouzskou společností vlastní závod na výrobu plynu elektrolýzou, jejíž první kontrakt byl v řádech stovek eur za jeden kW. Elektrolýza, nebo také přeměna energie na tekutinu označovaná jako Power-to-liquid je aktuálně ve fázi výzkumu a vývoje. [50] Hlavními zdroji pro vytvoření energie na palivo jsou voda, CO₂ a elektrická energie. Pro udržení elektropaliv jako zdroje s velmi nízkými emisemi jako vedlejším produktem je cílem zachovat pouze obnovitelné zdroje v celém procesním řetězci. Zdroj elektrické energie by tedy měla být větrná, vodní či geotermální elektrárna či fotovoltaika. Stejně tak získání CO₂ – jeho zdrojem musí být atmosféra nebo udržitelné zdroje, např. spalování biomasy, fermentace organických zbytků atp. Získání vody by mělo být také z obnovitelných zdrojů, tj. voda by neměla být použita z fosilních vodních zdrojů. Aby mohl být proces co nejvíce obnovitelný, jedna z možností získání CO₂ je pomocí technologií přímého zachycení vzduchu z letadla zpět do procesu. Po jeho spálení se CO₂ vrací zpět do atmosféry. Moderní technologie pro zachycení CO₂

potřebují ke své funkci proces separace a dostupné pozemky pro jednotky přímého zachycení vzduchu. Výhodou procesu je dostupnost vzduchu po celém světě.



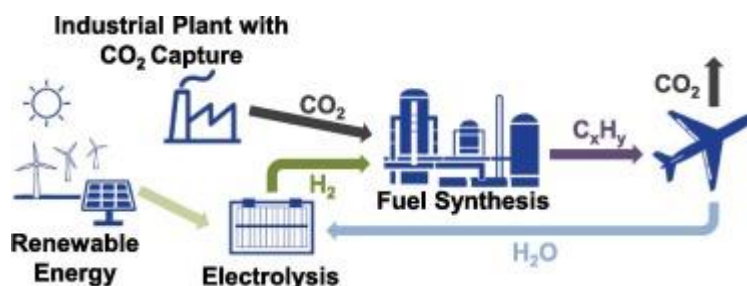
Obrázek 11 Schéma procesu přeměny energie na kapalinu s cyklem přímého zachycení CO₂ [51]

Mezi další možnosti získání CO₂ je při procesu spalování biomasy. I v tomto případě se jedná o uzavřený cyklus, jelikož odstranění emitovaného CO₂ z atmosféry lze dosáhnout fotosyntézou uloženou do organického materiálu. [51]



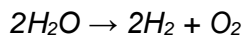
Obrázek 12 Schéma procesu přeměny energie na kapalinu s cyklem využití CO₂ z biomasy [51]

Jak již bylo výše zmíněno, průmyslové procesy emitují CO₂ při výrobě tepla či spalování biomasy. Jedná se ale hlavně o spalování fosilního paliva, které se nepovažuje za obnovitelný. Vzhledem ke snaze dosažení nulových emisí ve všech odvětví průmyslu lze vstřebávat emise CO₂ z průmyslových procesů v případě že se jedná o výrobní proces, nikoliv z cílového produktu. Tyto emise jsou považovány za emise, kterým nelze zabránit a jsou považovány za nedílnou součást.



Obrázek 13 Schéma procesu přeměny energie na kapalinu s cyklem využití CO₂ z průmyslových zdrojů [51]

Samotný proces elektrolýzy je chemický proces, při kterém prochází elektrický proud kapalinou a dochází tak k chemickým změnám. „Elektrolýza je proces, při kterém stejnosměrný proud při průchodu vodným roztokem štěpí chemickou vazbu mezi vodíkem a kyslíkem:



Rovnice 2 Štěpení vodního roztoku na kyslík a vodík [52]

H⁺ poté reaguje na katodě za vzniku plynu, který je jímán a následně skladován. Proces elektrolýzy probíhá za pokojových teplot a pro jeho chod je nutná pouze elektrická energie. Ideální (reverzibilní) napětí dekompozice je 1,229 V ale reálné napětí se pohybuje v rozmezí 1,85 - 2,05 V (kvůli ireverzibilitě v reakčním mechanismu a nutnosti dodání části tepla ve formě elektrické energie). Účinnost procesu se potom pohybuje v rozmezí 80–92 %. Výstupem elektrolýzy je kyslík a vysoce čistý vodíkový plyn, pro většinu aplikací bez nutnosti dodatečného dočišťování.“ [52]

Proces přeměny energie na palivo se může lišit mnoha kroky a moderními technologiemi jako je směs vodíku a CO₂ nebo následným zpracováním syntézou. Nejběžnější kroky jsou ale následující:

- Získání oxidu uhličitého (CO₂) – aby mohla být elektrolýza provedena, je třeba přidat komponenty syntézního plynu, kterým je v tomto případě oxid uhličitý. Získání oxidu uhličitého lze různými způsoby, jako je přímé dělení oxidu uhličitého ze vzduchu nebo při spalování biomasy. Tyto kroky získání byly popsány výše.
- Získání vodíku (H₂) – pomocí elektrolýzy (případně jinými chemickými procesy) lze oddělit kyslík (O₂) a vodík. Elektrolýza vody je nejběžnějším krokem pro získání vodíku ekologickou formou. Elektrochemické štěpení může být provedeno několika způsoby, a to alkalickou elektrolýzou, polymerní elektrolytovou nebo protonovo-membránovou elektrolýzou, vysokoteplotní elektrolýzou pevných oxidů, nebo vysokoteplotní ko-elektrolýzou, která přímo štěpí CO, H₂ a O₂.
- Štěpení oxidu uhličitého – aplikovaná vodní elektrolýza produkuje syntézní plyn CO a H₂. Ten se musí vytvořit ze získaného CO₂ procesem reverzního posunu voda-plyn.
- Syntéza – získání kapaliny ze syntetického plynu se provádí syntézou – nejčastější je Fischer-Tropschova syntéza přeměny plynů na kapaliny.
- Úprava paliva pro použití – finální produkt paliva musí být před jeho použitím upraven. Chemické a fyzické kroky jsou nutné před finálním použitím v letectví. [52]

3.2 Certifikovaná paliva

Podle evropské agentury pro bezpečnost letectví EASA prošla letecká doprava velkými technologickými inovacemi, které ale nezahrnují aktuálně využívaná fosilní paliva. Udržitelná letecká paliva se začínají zavádět až v současné době. Ty jsou momentálně podporovány pouze minimem letišť a výrobními společnostmi. Certifikace leteckého biopaliva byla stanovena Americkou společností pro testování a materiály (ASTM). Aby mohla být paliva certifikována, musí splňovat přísné charakteristiky, které jsou podobné fosilním palivům. To znamená, že udržitelná paliva se musí chovat téměř stejně jako klasická konvenční paliva při spalovacím procesu. Přestože neexistuje žádná platná definice udržitelného leteckého paliva, v širokém pojetí se dá pod název zahrnout jak snižování emisí skleníkových plynů, tak ekologické a sociální aspekty, jako je biodiverzita, využívání půdy, produkční procesy či ekonomické aspekty. Aktuálně je certifikováno šest druhů biopaliv, kterými jsou:

- FT-SPK – Petrolej na bázi Fischer-Tropschovy syntetických parafinů – palivo vytvořené z biomasy přeměněné na syntetický plyn a následně na letecké palivo. Maximální poměr vhodný pro míchání s fosilním palivem je 50 %.
- FT-SPK/A – Stejná varianta petroleje na bázi Fischer-Tropschových syntetických parafinů, ale v uhlovodíkové směsi jsou zahrnuty aromatické sloučeniny. Maximální poměr vhodný pro míchání s fosilním palivem je 50 %.
- HEFA – Hydrogenačně zpracované estery mastných kyselin – lipidové suroviny, jako jsou rostlinné či živočišné oleje. Oleje jsou zpracované hydrogenací, které probíhá ve vodíkové atmosféře při teplotách 300-420°C. Hydrogenace přemění olej na diesel, který je následně smíchán s leteckým palivem. Maximální poměr vhodný pro míchání s fosilním palivem je 50 %.
- HFS-SIP – Hydrogenace fermentovaných cukrů – syntetický isoparafinický petrolej – cukry se přeměňují na uhlovodíky pomocí modifikovaných kvasinek. Maximální poměr vhodný pro míchání s fosilním palivem je 10 %.
- ATJ-SPK – Syntetické palivo přeměny alkoholu na jet – biomechanický proces s procesy dehydratace, oligomerizace a hydrogenace. Maximální poměr vhodný pro míchání s fosilním palivem je 50 %. [54]
- Syntetické izoparafíny – palivo vyrobené z cukrové třtiny a dalších rostlin. Maximální poměr vhodný pro míchání s fosilním palivem je 50 %. [42]



Obrázek 14 Letadlo poháněné udržitelným palivem [54]

3.3 Výhody

Výhody udržitelných leteckých paliv se převážně shodují s kritérii, které jsou na tento druh paliv kladeny. Hlavní výhodou alternativních paliv je snížení emisí CO₂. Potenciální zavedení alternativního leteckého paliva by mohlo snížit emise CO₂ oproti konvenčnímu petrolejovému palivu v letecké dopravě až o osmdesát procent. Díky tomu, že tento druh paliva má totožnou charakteristiku jako jsou klasická trysková paliva, není třeba konstrukční změna letadel a pohonných jednotek, které by zvýšili náklady na pořízení této alternativy. Díky tomu, že zavedení udržitelného leteckého paliva nepodléhá certifikaci a není nutná konstrukční změna, je z pohledu letecké společnosti velmi snadné jejich zavedení do provozu. Převážnou výhodou udržitelných leteckých paliv je jejich získání z obnovitelných zdrojů. Jejich dostupnost by tak nebyla závislá na dodavatelských řetězcích, ale mohla by být získávána z více lokálních zdrojů.

3.4 Nevýhody

Přestože předností udržitelných leteckých paliv je jejich ekologičnost, při výrobě tohoto druhu paliv vzniká jako vedlejší produkt právě CO₂ stejně jako je tomu u ostatních druhů paliv. Aby mohla být udržitelná paliva považovaná za zcela bez emisní, musela by být taková jeho celková produkce. Zdroje pro výrobu udržitelných paliv potřebují ke svému vzniku specifická prostředí a vhodně meteorologické podmínky, jako je například pěstování rostlin či stromů. Jejich růst vyžaduje velkou spotřebu vody. Pro výrobu těchto paliv je třeba velké množství materiálu, které způsobuje konkrétně u stromů velké odlesňování pralesů, které absorbují velké množství CO₂, způsobené nejen leteckou dopravou. Velké množství stromů použité k výrobě udržitelného paliva do letecké dopravy znamená pozitivní vliv na

emise, ale jejich přirozená činnost tím zaniká, jelikož pralesy vstřebávají více CO₂ než rostlinná pole. [42]

4 Infrastruktura udržitelných leteckých paliv

Aby mohly být vypracovány závěrečné výpočty diplomové práce, je třeba stanovit několik analýz, které budou mít vliv na výběr konkrétních letišť a letadel. Analýza infrastruktury udržitelných leteckých paliv bude mapovat aktuální stav jejich zavedení různými cestami na koncová letiště a postupný vývoj zavedení do provozu. V rámci určení infrastruktury budou v této kapitole vypracovány tři analýzy. Analýza dodavatelského řetězce, která sleduje spotřebu energie získané z obnovitelných zdrojů. Tato analýza pracuje s obecnými daty, jelikož veškerá spotřebovaná energie není určena na výrobu udržitelných leteckých paliv. Lze ale přibližně predikovat, jejich rozvoj. Další analýza bude zaměřena na letadlový park. Konkrétně na typy letadel, kdy byla zavedena udržitelná letecká paliva do provozu a na jakých vzdálenostech byly lety operovány. Třetí analýza je zaměřena na analýzu letišť, aktuální infrastrukturu se zavedeným hydrantovým palivovým systémem a na legislativu zavedení nového paliva do provozu. V současné době je Evropa klíčovým hráčem na poli výroby alternativních paliv a na jejím území se dnes nachází několik výrobních závodů střední velikosti [54]. Velkým konkurentem pro evropský trh je momentálně severní Amerika, konkrétně USA, která se do boje se snížením produkce škodlivých emisí v letecké dopravě zapojila také. Následující analýzy budou zaměřeny právě na výrobní kapacity podniků v Evropě a USA.

4.1 Dodavatelský řetězec

Velkými producenty vyvíjející udržitelná letecká paliva jsou hlavně lídři na trzích v Evropě a Spojených Státech Amerických. Proces dodavatelského řetězce se řídí několika kroky, které jsou velmi důležitou součástí. Aby byl v tomto procesu větší řád, jednotliví dodavatelé se dělí do skupin, které způsobí jejich viditelnost a snazší postup při nastalých rizicích. Těmito skupinám se v rámci řetězce říká tier dodavatelé. V případě, kdy nastanou v daném procesu komplikace, jejich identifikace je rychlá a pro konečné zákazníky je snazší a rychlejší nalézt náhradu v daném řetězci. Do dodavatelského řetězce spadá v mnoha případech tisíce dodavatelů, tisíce dílů a nesčetné množství poskytovatelů služeb. Každá společnost má díky rozděleným skupinám zmapované společnosti spadající do jejich oboru a díky tomu mohou předejít jakémukoliv riziku a cenové konkurenceschopnosti. Nejběžnější počet těchto stupňů, do kterých se dodavatelé řadí, jsou tři. Poslední stupeň dodavatelského řetězce je zakončen konečným výrobcem originálního finálního produktu (OEM). Dodavatelé ze stupně tier 3 jsou výrobci základního materiálu určeného k následnému zpracování. Dodavatelé ze stupně tier 2 odebírají tento základní materiál, ze kterého vyrábí polotovary určené k následnému zpracování. Dodavatelé ze stupně tier 1

odebírají polotovary od dodavatelů ze stupně tier 2, který zpracují k další úpravě, a vznikne polotovar nového typu. Zároveň se v některých případech může dodavatel ze stupně tier 1 stát OEM. Jak již bylo ale řečeno výše, běžně se v dodavatelském řetězci objevují tyto stupně 3 a konečný výrobce, příp. dodavatel, OEM. [55] Na obrázku 15 jsou tier skupiny graficky znázorněny a dle velikosti skupin je patrné, že OEM, tedy originální výrobci, jsou vždy ve značně omezenějším počtu oproti skupině dodavatelů ze stupně tier 3.

Dodatelský řetězec udržitelných leteckých paliv se skládá ze tří stupňů, tj. tier 2, tier 1 a OEM. Základním materiálem, jehož jsou výrobci dodavatelé ze stupně tier 2, jsou firmy zaměřené na zemědělství, farmy, lesy, skládky a výrobci elektřiny. Těmi jsou dodavatelé elektrické energie získané z obnovitelných zdrojů. Dodavatelé ze stupně tier 1 jsou společnosti, které využívají základní materiál ke zpracování pomocí biochemickým či termochemickým procesem, Fischer-Tropschovou syntézou či elektrolýzou. Tímto procesem vznikne udržitelné letecké palivo, které je možné smísit s leteckým petrolejem dle norem vhodným ke spalování dopravními letouny. Dodavatelé umístění ve skupině konečných výrobců OEM jsou společnosti, které kupují od výrobců udržitelných leteckých paliv materiál, který následně mísí a prodává jako hotový produkt. Může se stát, že dodavatelé ze stupňů tier 1 a OEM se sloučí a zkrátí se tak celý dodavatelský řetězec. Konečnými zákazníky mohou v tomto případě letiště, letecké společnosti či aerolinky aj.



Obrázek 15 Proces dodavatelského řetězce [Autor]

4.1.1 Tier 3

V procesu výroby udržitelných paliv nebyli identifikováni žádní dodavatelé ve skupině Tier 3. V této skupině dodavatelů se v obvyklých případech nachází společnosti dodávající

základní materiál. V případě dodání materiálu k vytvoření udržitelného paliva se posouvá tento proces o skupinu výše, tj. na stupeň tier 2.

4.1.2 Tier 2

Do stupně tier 2 spadají dodavatelé základního materiálu. V této skupině byly identifikovány společnosti produkující biomasu, lesní průmysl, odpad, oleje a ostatní tuky a elektrickou energii získanou z obnovitelných zdrojů.

Vzhledem k velkému počtu dodavatelů biomasy a ostatních obnovitelných zdrojů byla pro tuto část analýzy využita databáze, která je zdrojem informací v oblasti obnovitelných zdrojů. Přestože se jedná o veřejně dostupnou platformu, na kterou může přidávat příspěvky kdokoli, vzhledem k velkému množství dat budou tyto výsledky brány jako relevantní.

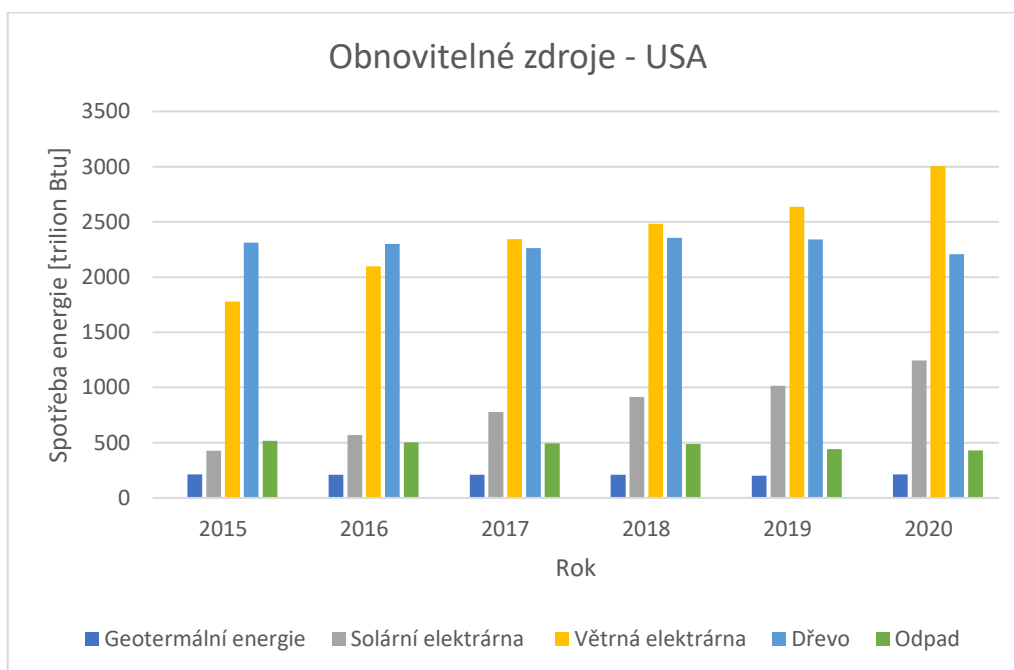
Následující mapa zobrazuje ohniska společností, které produkují biomasu. Zdrojem pro biomasu jsou rostlinný a živočišný materiál z celého světa s ohledem na různé meteorologické podmínky, a tak lze na mapě na obrázku 16 vidět zdroje biomasy nejen v Evropě a USA, ale i v jižní Americe a jihovýchodní Asii.



Obrázek 16 Zdroje biomasy [57]

- USA

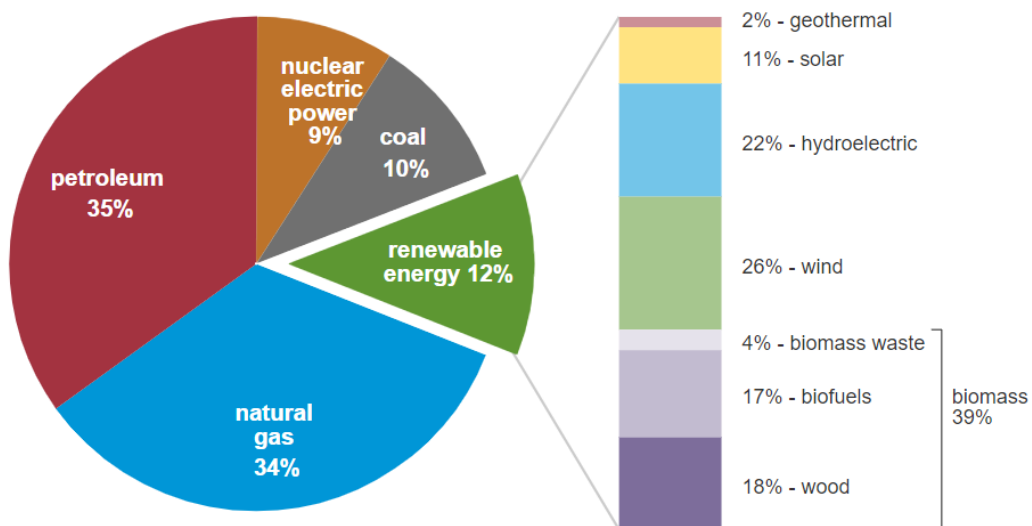
Vzhledem k nedostatku informací o společnostech, které jsou zdrojem biomasy aj. je pro potřeby analýzy využít portál EIA, Správa energetických informací USA, na které bylo možné získat data ze spotřebované energie z obnovitelných zdrojů rozdělených na geotermální, solární a větrnou energii, dřevo a odpad. Informace promítnuté v následujícím grafu 1 jsou sebrány od r. 2015.



Graf 1 Spotřeba energie získaná z obnovitelných zdrojů v USA [58]

Spotřeba energetického materiálu získaného z obnovitelných zdrojů je dle grafu rostoucí. Do obnovitelných zdrojů se v tomto případě počítají geotermální energie, solární zdroje, větrné zdroje, dřevo a odpad. Měřená spotřeba energie z obnovitelných zdrojů je zaznamenána v britských tepelných jednotkách (BTU), která odpovídá 1055 J.

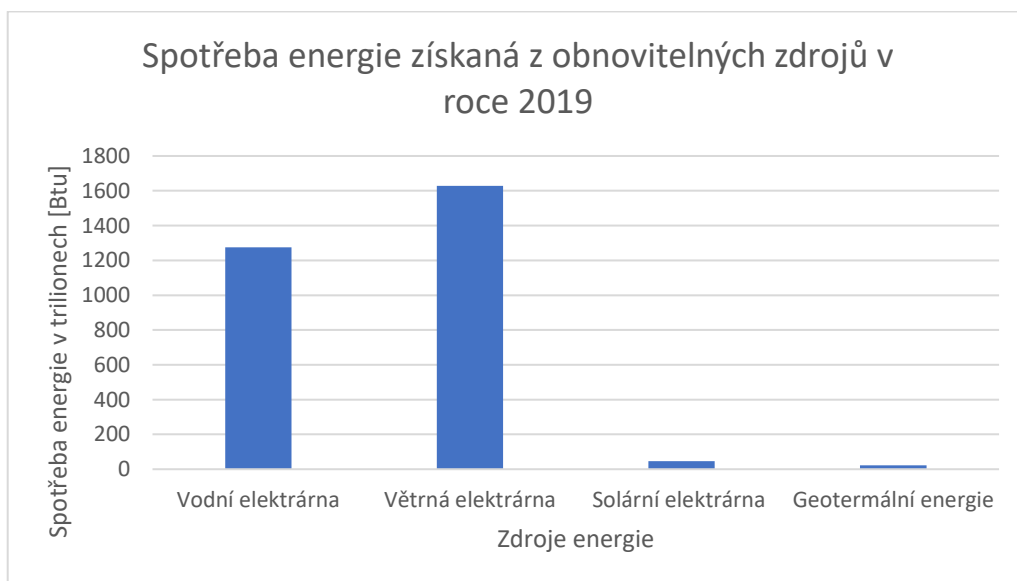
Na grafu 2 je vidět spotřeba energie získaná z obnovitelných zdrojů v roce 2020. Na něm lze spatřit podíl na celkové spotřebě energie, tj. z 12 %. Rostoucí hodnoty viditelné na grafu 1 výše mohou pomoci v odhadu, že v minulosti byla spotřeba energie z obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energie nižší než již zmíněných 12 procent.



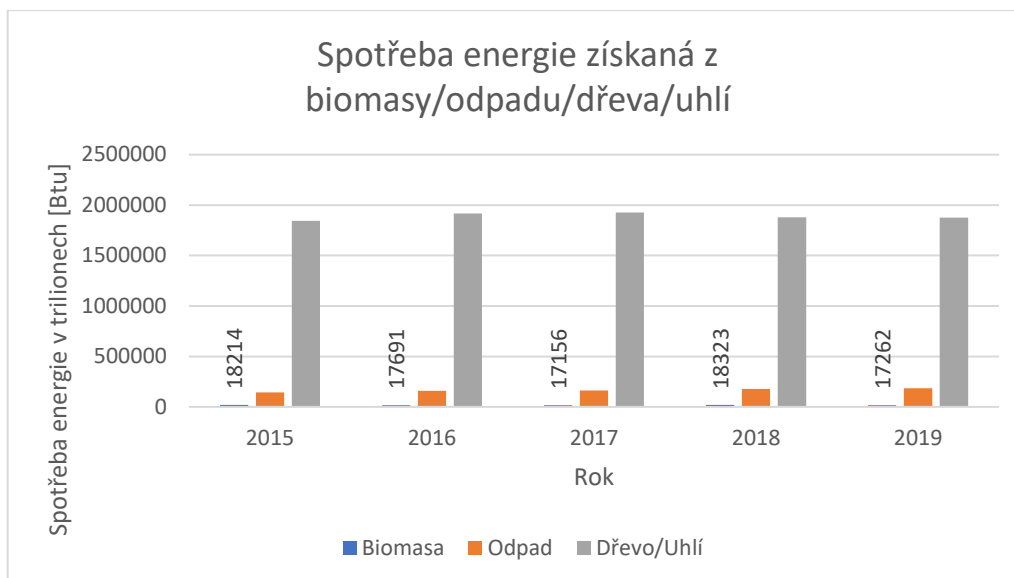
Graf 2 Spotřeba energie v USA v roce 2020 [64]

- **Evropská unie**

Data Evropské unie, na základě kterých byly vypracované grafy 3 a 4, byla získána ze zdroje Eurostatu, což je Evropská statistická agentura. Díky tomu bylo možné získat data spotřeby energie, získané z obnovitelných zdrojů. Spotřeba elektrické energie získané z obnovitelných zdrojů vykreslených na grafu 3 bylo možné identifikovat pouze za rok 2019, není tedy možné je porovnat s daty z USA. Graf 4 vykresluje spotřebu energie získané z biomasy, odpadu, dřeva a uhlí.



Graf 3 Spotřeba energie získaná z obnovitelných zdrojů v roce 2019 [57]



Graf 4 Spotřeba energie získaná z biomasy, odpadu, dřeva/uhlí [57]

Přestože nebylo možné určit přesný počet ani výrobce, které spadají do stupně tier 2 dodavatelů, lze pozorovat alespoň vývoj spotřeby. Ta se v USA každým rokem zvyšovala na rozdíl od Evropy, jejíž hodnota je každým rokem přibližně stejná. V porovnání na počet obyvatel je v USA značně vyšší spotřeba energie z obnovitelných zdrojů v roce 2019 oproti Evroské Unii. Na druhou stranu spotřeba biomasy, odpadu, dřeva a uhlí je v Evropské Unii mnohem vyšší než v USA. Tato statistika bohužel nedokáže odhadnout, z kolika procent byl tento materiál využit k výrobě udržitelných leteckých paliv. Obecně lze však pozorovat každoroční nárůst spotřeby energie z obnovitelných zdrojů v USA na rozdíl od EU. Dá se předpokládat, že se každoročně zvyšuje i více společností zpracovávající tento druh materiálu za účelem udržitelných leteckých paliv. [57]

4.1.3 Tier 1

Stupeň tier 1 dodavatelů zpracovává základní materiál, tj. energii z obnovitelných zdrojů získaných od dodavatelů ze stupně tier 2. Tyto společnosti zpracovávají materiál výše zmíněnými procesy k získání tekuté složky, kterou je možné míchat s konvenčními petrolejovými palivy. Vznikne tedy tzv. polotovár určený k dalšímu zpracování, pokud jej dodavatelé ze stupně tier 1 nezpracovávají sami a automaticky se přemění na OEM. Tato část práce je zaměřena na vypracování analýzy se zaměřením na konkrétní výrobní společnosti, jejich sídla, typy zpracovatelského procesu, zdroje a výsledný produkt. Data byla přehledně zpracována do následující tabulky se zaměřením na výrobní společnosti USA a Evropy.

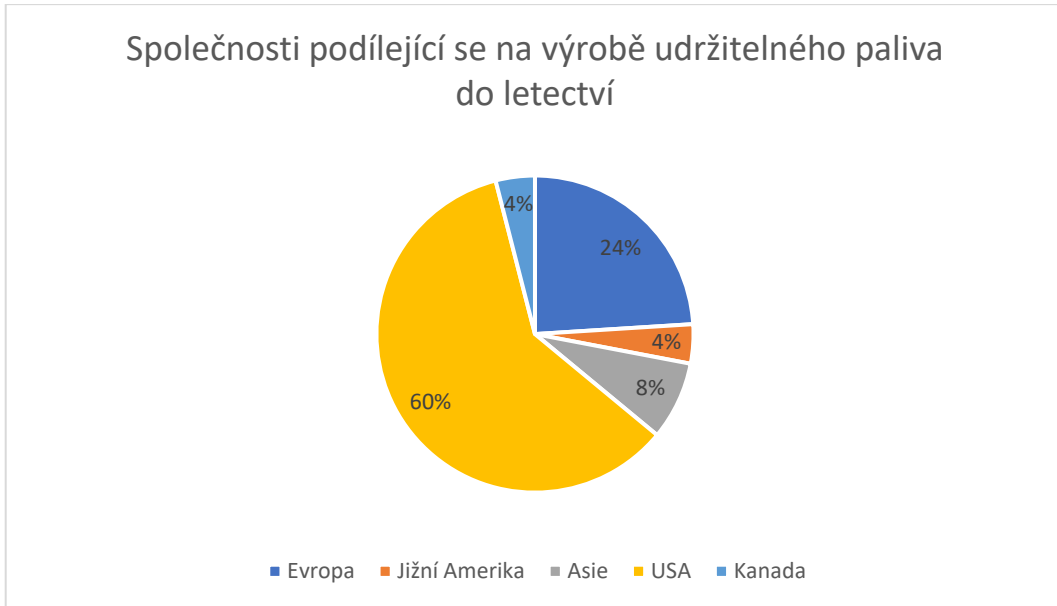
Společnost	Země	Chemický proces	Zdroj	Palivo
Accelergy Corp	USA	Biochemický	Biomasa, zemní plyn, uhlí	Syntetické palivo
Byogy Renewables, Inc.	USA	Biochemický Elektrolýza Fischer-Tropsch syntéza	Alkohol	ATJ
Energy & Environmental Research Center (EERC)	USA	Fischer-Tropsch syntéza	Biomasa	Syntetické palivo
Gas Technology Institute	USA	Elektrolýza Fischer-Tropsch syntéza	Biomasa, dřevo, zemní plyn	Syntetické palivo
Gevo Inc.	USA	Biochemický	Alkohol, biomasa	ATJ-SPK
Illinois Clean Fuels	USA	Fischer-Tropsch syntéza	Odpad, biomasa, zemní plyn, uhlí	Syntetické palivo
ISFuel, Inc.	USA	Termochemický	-	-
LanzaTech	USA, Velká Británie	Biochemický	Zemní plyn, biomasa, odpad	Syntetické palivo
SAFuels X	USA	-	Zelenina, biomasa	-
SkyNRG	USA, Nizozemsko	Fischer-Tropsch syntéza Termochemický	Biomasa, dřevo	ATJ, HEFA, HC-HEFA, CHJ
UOP/Honeywell	USA	Fischer-Tropsch syntéza Biochemický	Biomasa, rostlinné/ živočišné oleje	HEFA-SPK
USA BioEnergy	USA	Fischer-Tropsch syntéza	Biomasa	Syntetické palivo

Velocys	USA, Velká Británie	Fischer-Tropsch syntéza	Biomasa, dřevo, odpad	Syntetické palivo
Virent	USA	Biochemický	Biomasa, cukry	Syntetické palivo
Neste	Finsko, Singapur, Nizozemsko, Belgie, Dánsko	Termochemický	Biomasa	-
Quantafuel	Norsko	-	Biomasa, dřevo	Syntetické palivo
Green Fuels	Velká Británie, Indie, Brazílie	-	Odpad, biomasa, živočišné a rostlinné tuky	Syntetické palivo
Fulcrum Bioenergy	USA	Fischer-Tropsch syntéza	Odpad	Syntetické palivo
Covenant Energy	Kanada	-	Biomasa, živočišné a rostlinné tuky	-
Repsol	Španělsko		Biomasa	
Swedish BioFuels	Švédsko	Biochemický	Dřevo	-
Total Energies	Francie	-	Rostlinný olej	-
Biozin	Norsko	-	Dřevo	
Altalto	Velká Británie	?	Odpad	Syntetické izoparafiny

Tabulka 6 Seznam společností vyvíjející udržitelné letecké palivo [65]

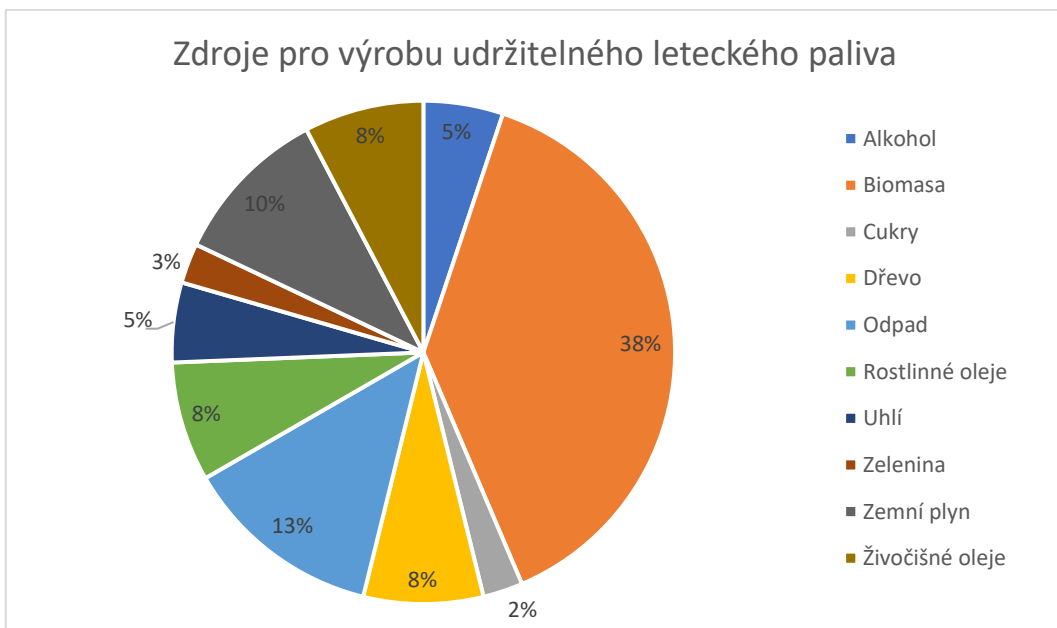
Graf 5, který graficky znázorňuje tabulku 6, vykresluje podíl zemí, v nichž společnosti tento druh paliva vyrábí. Jedná se převážně společnosti se sídlem v USA, které celkem tvoří 60 % světové produkce. Tyto společnosti však hodně expandují i na evropský trh. Zároveň bylo možné zjistit primární zdroj, využívaný pro výrobu, jímž je biomasa, znázorněné na grafu 6. Graf 6 zcela nekoresponduje s výše provedenou analýzou dodavatelů ze stupně tier 2. Analýza dodavatelů stupně tier 2 je tedy považována za ne zcela relevantní, ale je možné na ni sledovat vývoj spotřeby energie získané z obnovitelných zdrojů.

Společnosti podílející se na výrobě udržitelného paliva do letectví



Graf 5 Společnosti podílející se na výrobě udržitelného paliva do letectví [Autor s využitím 65]

Zdroje pro výrobu udržitelného leteckého paliva



Graf 6 Zdroje pro výrobu udržitelného leteckého paliva [Autor s využitím 65]

4.1.4 OEM

Originální výrobci finálního produktu mají opět velké zastoupení v USA. Jedná se však o hlavní sídla společností, jejichž pobočky se nachází po celém světě. V tabulce šest, kde jsou daní OEM výrobci vypsaní, dochází ke shodám společností s dodavateli ze stupně tier 1. V tomto případě se dodavatelský řetězec zkrátí.

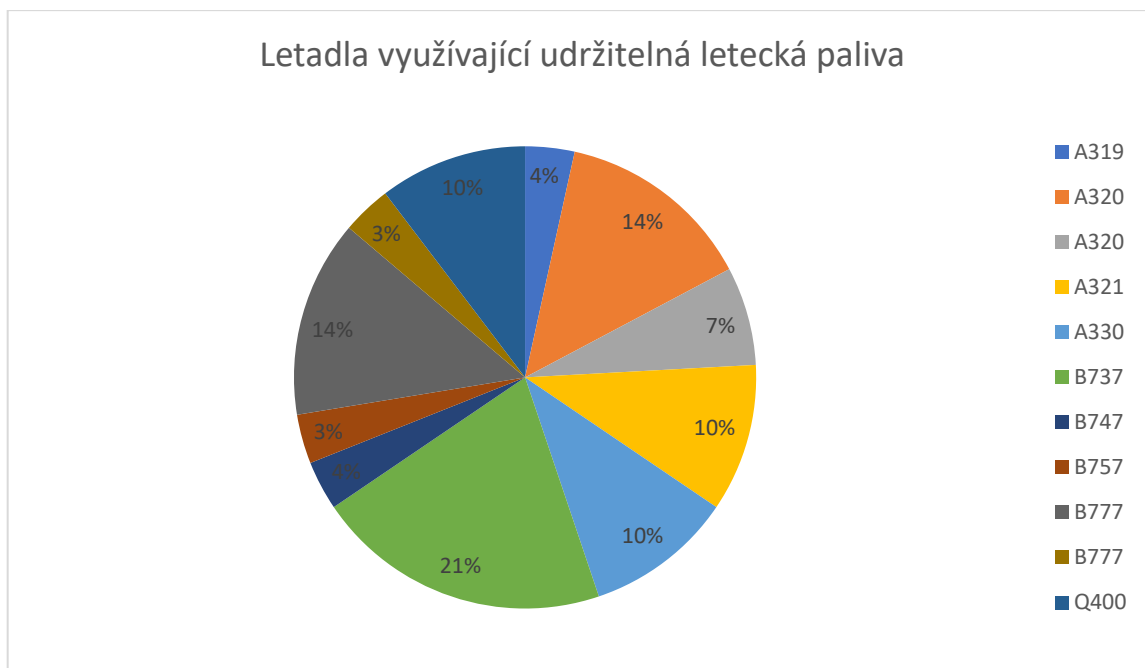
Společnost	Země	Prodej SAF od roku
Air Total	Francie	?
AltAir	USA	2013
AltAir/Neste	Finsko, Singapur, Nizozemsko, Belgie, Dánsko	2010
Amyris/Total	USA (celosvětově)	2011
Fulcrum	USA	2007
Gevo	USA	2005
RedRock	USA	2011
SG Preston	USA	2012

Tabulka 6 Seznam OEM společností prodávající SAF [79]

Díky analýze dodavatelů zpracovávající polotovary do hotového finálního produktu lze porovnat množství společností, které se velmi zúžilo.

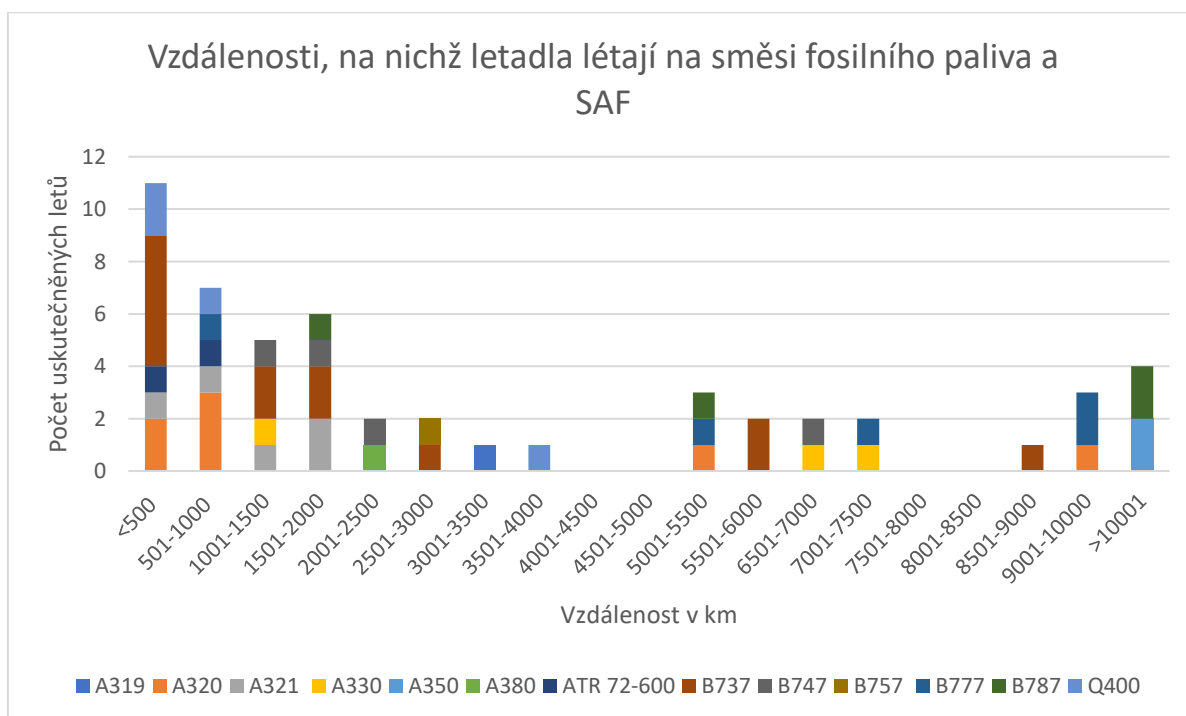
4.2 Analýza letadel využívající udržitelná letecká paliva

Udržitelná letecká paliva v leteckém provozu jsou mnohem více dostupná, než tomu bylo dříve. To lze usoudit díky většímu zájmu o tento druh snížení emisí. Historie prvního letu uskutečněného se směsí udržitelného leteckého paliva s konvenčním petrolejovým palivem spadá do roku 2008, který se uskutečnil díky společnosti Virgin Atlantic. Tento let byl uskutečněn na lince Londýn – Amsterdam velkokapacitním letadlem Boeing 747-400. Let byl uskutečněn ve spolupráci společností Virgin Atlantic a výrobcem letadlových motorů GE Aviation, jejichž motory bylo letadlo B747-400 poháněno. V rámci prvního letu bylo do fosilního paliva přimícháno 20 % alternativního udržitelného paliva, které bylo vyvinuto na bázi babassového a kokosového oleje. V roce 2008 byly uskutečněny další pokusy o lety na velkých komerčních letadlech jak společností Boeing, tak společností Airbus. Ta ve stejném roce uskutečnila let poháněný směsí fosilního paliva s plynem, přeměněným na palivo na největším dopravním letadle na světě A380. Tento let byl uskutečněn ve spolupráci společností Airbus, aerolinkou Air New Zealand a výrobcem motorů Rolls-Royce, jejichž motory tehdy největší dopravní letadlo poháněly. [59] Od roku 2011 do roku 2015 se do této iniciativy zapojilo na 22 aerolinek, které uskutečnily na 2 500 komerčních letů. Tyto lety měli maximální možný poměr fosilního paliva s udržitelným leteckým palivem 1:1. Tento poměr je povolený dodnes. [66]



Graf 7 Letadla využívající udržitelná letecká paliva [66]

Podle dat, která byla získána z dokumentu mapy zaznamenávající situaci udržitelného leteckého paliva IATA bylo zjištěno, že nejvíce letů uskutečněných se směsí udržitelných leteckých paliv, je obsluhováno malokapacitními letadly B737. Tato letadla jsou využívána převážně na krátkých letech. Vzdálenosti, na kterých jsou udržitelná letecká paliva nejvíce využívána, jsou znázorněny na následujícím grafu 8.



Graf 8 Vzdálenosti letů absolvovaných s udržitelnými leteckými palivy [67]

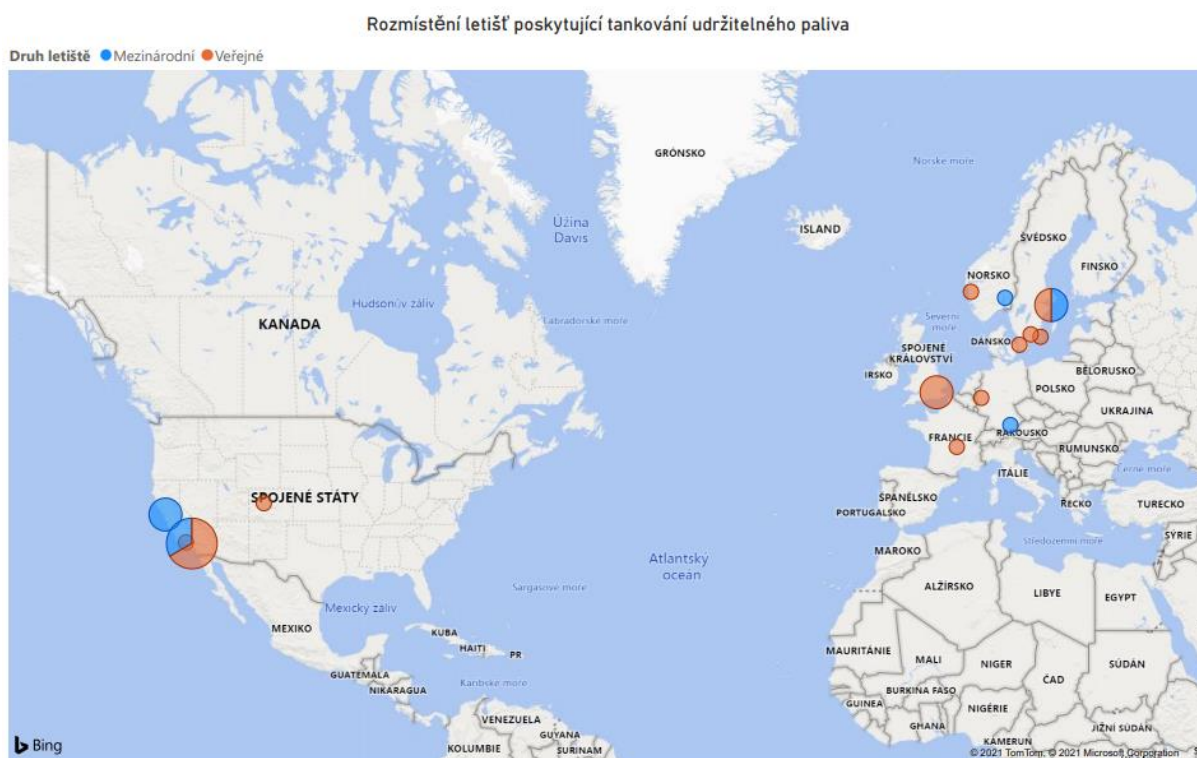
4.3 Analýza letišť vybavené tankováním SAF

- Jednotlivá letiště

Celkový počet letišť, které mají zajištěné dodávky udržitelného leteckého paliva jakoukoliv cestou je 40. V tabulce 7 je k dispozici přehled mezinárodních letišť, která mají podepsané smlouvy s dodavateli na stálé dodávky (není stanoveno přesně, zda se jedná o hydrantový palivový systém). Během tvorby analýzy bylo do seznamu letišť přidáno mezinárodní letiště v Orlandu na Floridě, USA. Tyto letiště byli brány v potaz při plánování letů v praktické části práce.

Letiště	Město	Typ letiště
San Francisco Airport	San Francisco, USA	Mezinárodní
Oakland International Airport	San Francisco, USA	Mezinárodní
Los Angeles Airport	Los Angeles, USA	Mezinárodní
Munich Airport	Munchen, Německo	Mezinárodní
Stockholm Arlanda Airport	Stockholm, Švédsko	Mezinárodní
Oslo Airport	Oslo, Norsko	Mezinárodní
Melbourne Orlando International Airport	Florida, USA	Mezinárodní

Tabulka 7 Letiště se zavedeným palivovým systémem na SAF [68]



Obrázek 17 Letiště se zavedeným systémem tankování udržitelného paliva [Autor]

5 Palivový management

Analýza zavedení prvního typu alternativní metody, tj. udržitelných leteckých paliv do provozu, bude aplikována na dvou simulačních letech, které se liší délkou letu a typem letadla. Vzhledem k tomu, že pro uvedení udržitelných leteckých paliv do provozu není třeba změny konstrukce motoru ani letadla, mohou být aplikovány na jakémkoliv typu. První scénář je zaměřený na krátkodobý let uskutečněný letadlem Boeing B737-800, který patří mezi nejčastější malokapacitní letouny s provozem na směsi paliv. Druhý scénář je dlouhodobý let, uskutečněný letounem B777-200ER, který je naopak nejčastěji využívaným velkokapacitním letadlem s provozem na tento typ paliva.

Nezbytná data ke stanovení finanční analýzy byla sesbírána z letových plánů vypracovaných pro každý let zvlášť. Před skutečným letem a jeho plánováním vždy předchází sběr informací a dat, díky kterým lze snadněji předejít potížím a uskutečnění letu je bezpečnější, optimálnější a lze díky tomu stanovit časové a finanční predikce. Těmito daty jsou například informace o cestujících, jejich rozmístění v letadle, množství zavazadel na palubě, nebo jaké budou pravděpodobně meteorologické podmínky během letu.

Důležitými parametry pro plánování letu patří stanovení přesné hmotnosti letadla na základě informací o cestujících a posádce, stanovení přesného palivového systému určeného díky počátečním a cílovým destinacím, vhodně rozmístění cestujících na palubě a splnění ostatních výkonnostních požadavků pro uskutečnění letu. Do plánu letu jsou zahrnuty informace počátečního, koncového a alternativního letiště, přesná trasa letu a hladina, ve které bude let proveden. Na základě těchto informací se vypočítá množství paliva minimálně na jednu cestu, popřípadě cestu zpět, v závislosti na cenových a provozních možnostech. Finanční analýza vypočtena v této diplomové práci nebude brát v potaz fixní ani variabilní náklady, které se liší v závislosti na letecké společnosti a jejich sídle, ale pouze náklady na palivo, které jsou součástí variabilních nákladů. Dělení fixních a variabilních nákladů je rozděleno v následující tabulce 8. Celkový podíl nákladů na palivo je přibližně 40 %.

Fixní náklady	Náklady na posádku
	Výcvik posádky
	Pronájem hangáru
	Pojištění
	Management
	Ostatní fixní náklady

Variabilní náklady	Náklady na palivo
	Údržba letadla
	Generální opravy
	Poplatky za provedení letu (přistávací poplatky/za posádku/manipulace)
	Ostatní variabilní náklady na let

Tabulka 8 Fixní a Variabilní náklady na let

Palivo musí splňovat minimální požadované množství v závislosti na pravidlech letu, které jsou stanoveny individuálně podle cílové destinace. Tyto destinace mohou mít své alternativní požadavky nebo se mohou nacházet v oblastech se zvláštním provozem. Minimální množství paliva je určeno předpisy, které stanovují regule na letištích s alternativními požadavky a při letech na dlouhé vzdálenosti. Množství paliva tankované do letadla je stanovené již před samotnou činností. Může nastat několik rizik ohrožující samotný let:

- Nedostatečná palivová politika
- Neúčinné či neúplné tankování
- Nedostatečné natankování paliva
- Nedostatečná správa a sledování paliv v letadlech

5.1 Plánování paliva

Plánování paliva pro konkrétní let musí být provedeno před každým letem ručně, na základě předchozích zkušeností provedených letů, nebo využitím elektronických programů služby plánování paliva. Plánování by mělo splňovat regulační požadavky, které jsou kladeny na posádku, náklad, palivové tankování, požadavky na odmrazování, původ paliva, trasu, vzdušný prostor, destinaci, alternativní letiště, NOTAMu a počasí. Špatné naplánování paliva může způsobit dva scénáře, jimiž jsou nedostatečné množství paliva na palubě nebo nadměrné množství paliva.

Nedostatečné množství paliva na palubě paliva může způsobit:

- Návrat letadla zpět na domovské letiště, ze kterého byl let uskutečněn z důvodu hladiny nižší, než je minimální množství paliva před uvolněním.
- Návrat letadla zpět na domovské letiště, ze kterého byl let uskutečněn z důvodu nedostatku paliva pro dosažení cílové stanice.
- Odklon trasy do náhradního letiště z důvodu nedostatku paliva pro pokračování letu.

- Přerušení letu a přistání na alternativním letišti za pravidel IFR.
- Selhání motorů.

Potenciální dopady při nadměrném množství paliva:

- Omezení letových hmotností – maximální vzletová hmotnost nebo maximální hmotnost při přistání.
- Vysoké provozní náklady z důvodu nadměrného množství spalování paliva

5.1.1 Celkové palivo

Celkové množství paliva na palubě potřebné pro let – pojiždění, palivo nutné pro vzlet z počáteční destinace až po přistání v cílové destinaci, palivo pro nepředvídatelné události, alternativní palivo, palivo poslední rezervy a extra palivo. [71] Toto množství paliva zahrnuje:

- Vzlet
- Stoupání do požadované hladiny
- Let v letové hladině, zahrnující případné stoupání/klesání
- Let od zahájení klesání do zahájení přistání
- Přistání
- Pojiždění na cílovém letišti
- Let na alternativní letišťě

5.1.2 Traťové palivo – Trip fuel

Palivo nutné pro uskutečnění letu od jeho vzletu, po let v letové hladině až do přistání na cílovém letišti, příp. do bodu přeplánování, odkud letadlo letí na alternativní letišťě. [71]

5.1.3 Palivo pro pojiždění – Taxi fuel

Palivo potřebné pro nastartování motorů a následné pojiždění po pojezdové dráze. Plánování množství tohoto paliva musí brát v úvahu velikost místního letišťě, tj. průměrnou dobu pojiždění na daném letišti a potenciální zpoždění před vzletem. [71]

5.1.4 Dodatečné palivo

Palivo, které je do letadla tankováno v případě splnění regulačních požadavků společnosti. Množství tohoto paliva odpovídá palivu, které bude možné využít v případě vzdálených destinací či nahodilých situací a letadlo tak je schopné doletět na náhradní letiště v případě poruchy či přetlaku. [71]

5.1.5 Palivo pro nepředvídatelné situace – Contingency fuel

Nepředvídatelné situace mohou být např. zhoršená meteorologická situace, než bylo plánováno, let po jiné trati (jiná letová hladina), vyšší spotřeba paliva, než bylo původně plánováno. Volba množství paliva pro nepředvídatelné situace má více možností a to 5 % plánovaného traťového paliva nebo 5 % paliva potřebného z přeplánovaného bodu za letu. Palivo zároveň nesmí být menší než 5 minut vyčkávání ve výšce 1500 FT nad letištěm přiletu při standardních podmínkách. [71]

5.1.6 Alternativní palivo – Alternate fuel

Alternativní palivo, nebo taky palivo pro let na náhradní letiště, je vyžadováno v případě vynechání přiblížení do cílového letiště, tj. v bodě změny trasy až po přistání na náhradním letišti. [71]

5.1.7 Konečná záloha paliva – Final reserve fuel

Minimální množství paliva potřebné k letu po dobu 30 minut ve výšce 1500 stop nad alternativním letištěm v případě turbínových motorů. V případě letadla s pístovými motory je doba pro let nad alternativním letištěm 45 minut. [70]

5.1.8 Extra palivo

Extra palivo se do palivového managementu zavádí pouze dle uvážení velitele letadla a na zvážení mimořádných nahodilých situací. [71]

6 Udržitelná letecká paliva v provozu

Tato část práce se věnuje vlivu alternativních paliv na ekonomický provoz a životní prostředí a jeho predikci při zavedení změn do provozu. Za účelem zjištění vlivu udržitelných leteckých paliv na provoz letecké dopravy budou vytvořeny finanční analýzy, ve kterých bude implementováno určité procento udržitelných leteckých paliv do konvenčního fosilního paliva. Následně bude provedena provozní analýza, tj. vliv emisí těchto směrů na potenciální budoucí provoz letecké dopravy.

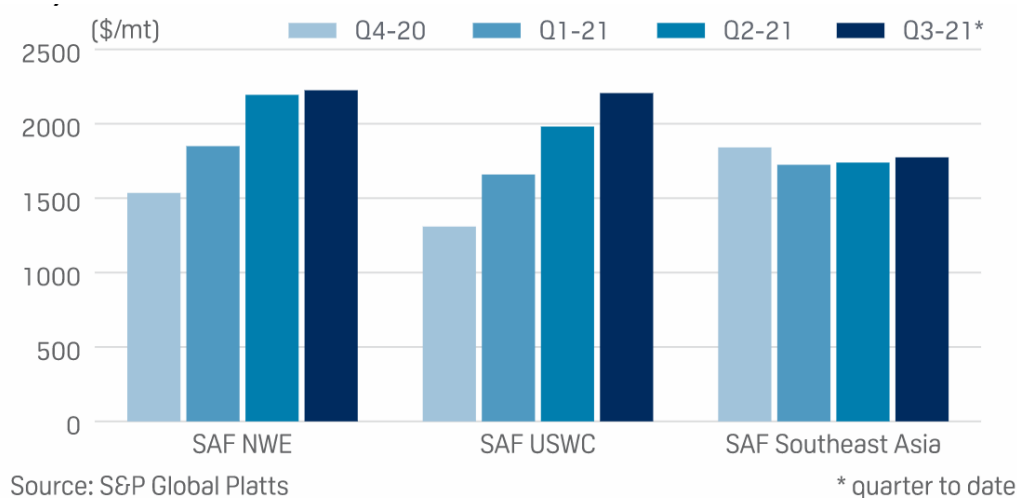
- **Norský model zavedení udržitelných leteckých paliv do leteckého provozu**

Současná podoba Norského modelu, která bude do následujících scénářů implementována, je do procesu zavedena od 1. ledna 2020. Od tohoto data přišel v platnost zákon, který vydává požadavky na prodej udržitelných leteckých paliv. Společnosti, které na území Norska distribuují palivo, musí zajistit, aby minimálně 0,5 % objemu z celkového množství paliva tankovaného do letadla sestávalo z udržitelného leteckého paliva. Požadavky na udržitelná letecká paliva jsou zajištění získání paliva z obnovitelných zdrojů, případně musí být finančně pokryt systém výroby. [61] Stanovené scénáře směsí klasického fosilního paliva a udržitelných leteckých paliv kopírují tento scénář s rozdílem přimíchaného množství, tj. 3 % a 5 % a následně výpočet pro let se 100 % udržitelným leteckým palivem. Internetová média se aktuálně intenzivně zabývají tématem zdanění leteckých paliv, o kterém momentálně jedná Evropská komise. Letecká paliva dosud žádnému zdanění nepodléhala a dle Evropské komise by se jednalo o motivaci leteckých společností, jak přejít na alternativní metody paliv a snížit tak emise skleníkových plynů. Daň za letecké palivo by podléhala minimální sazbě, která by se zvyšovala. [69] Tento fakt bude do analýzy zohledněn a bude stanovena univerzální hodnota daně, které by mohla fosilní paliva podléhat.

Principem zvolených scénářů bude výpočet provozních nákladů pro společnosti. Scénář I. bude simulovat provozní náklady společnosti na jeden let se 100 % fosilním palivem. Scénář II. bude simulovat provozní náklady společnosti na jeden let, přičemž do paliva bude implementována složka udržitelného leteckého paliva v množství 3 %. Scénář III. bude simulovat provozní náklady společnosti na jeden let, přičemž fosilní palivo bude smíchané s 5 % udržitelným leteckým palivem. Pro porovnání bude stanovena i cena 100 % udržitelného leteckého paliva.

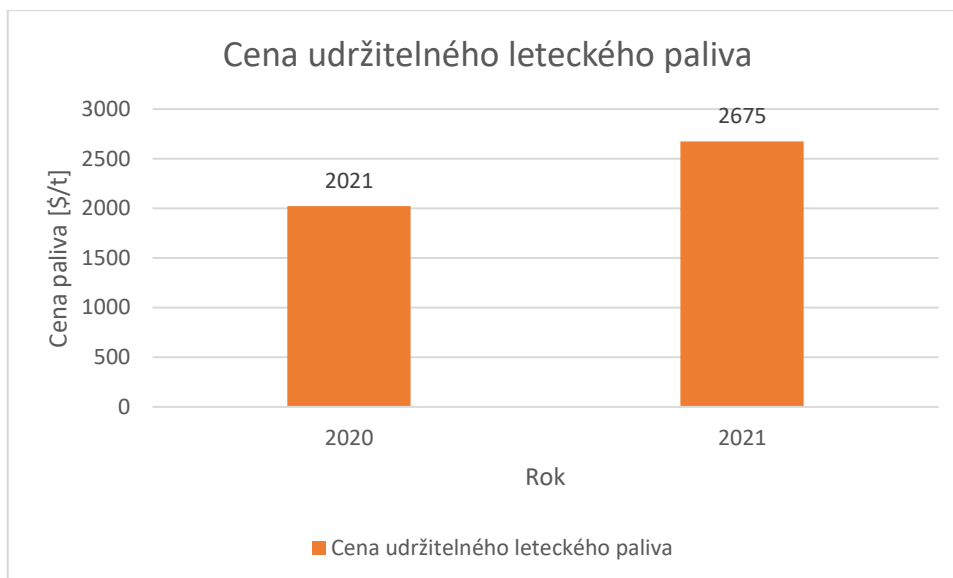
6.1 Vývoj cen udržitelného leteckého paliva

Podle americké analytické a informativní společnosti S&P Global Platts byla zjištěna cena udržitelných leteckých paliv. Společnost na svých webových stránkách uvádí ceny z roku 2021 kde srovnává ceny amerického, evropského a jihoasijského trhu. Ceny jsou uvedeny v dolarech za 1000 kg. Vývoj růstu cen udržitelných leteckých paliv je uveden na grafu 9, který zaznamenává období od čtvrtého čtvrtletí roku 2020 do třetího čtvrtletí roku 2021. Statistika udává, jak prudce ceny udržitelného paliva za poslední rok vzrostly hlavně na trzích v Evropě a USA. Ceně paliv v těchto teritoriích se téměř kopíruje. Ceny udržitelného paliva na jihovýchodě Asie jsou stabilní a nebyl zjištěn razantní rozdíl.



Graf 9 Vývoj cen udržitelného leteckého paliva [72]

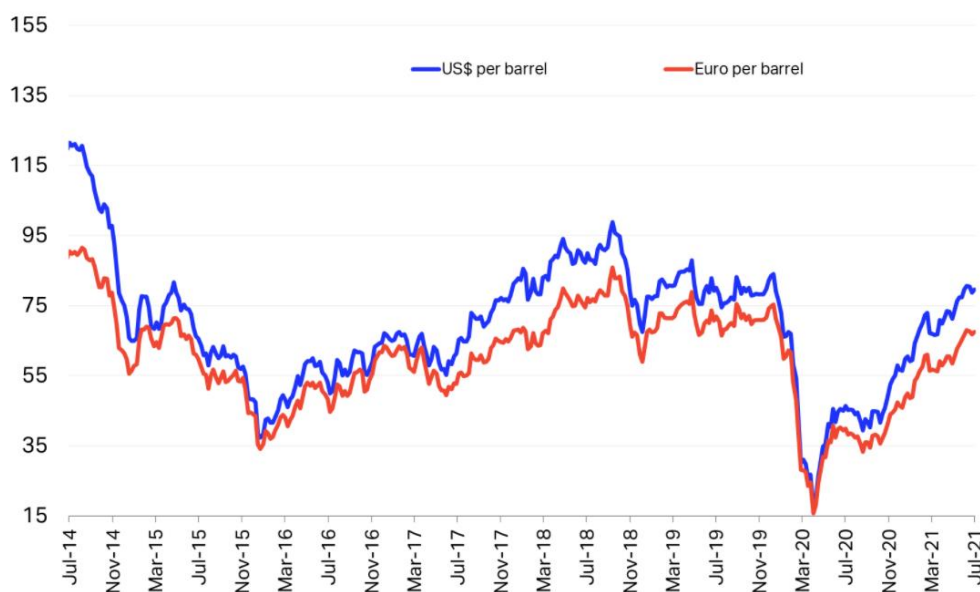
Podle britské konzultační společnosti Argus Media Ltd bylo možné stanovit cenu, která dle grafu 10 vzrostla téměř o 500 dolarů. Ceny společnosti Argus se liší metrickou jednotkou, která stanovuje cenu paliva v dolarech za tunu. Cena udržitelného leteckého paliva v září roku 2020 byla 2021 dolarů za jednu tunu. V červnu roku 2021 byla cena totožného paliva v hodnotě 2 675 dolarů za tunu. Ceny těchto paliv budou klíčovými pro následující analýzu.



Graf 10 Cena udržitelného leteckého paliva [73, 74]

6.2 Vývoj cen konvenčního leteckého paliva Jet-A

Mezinárodní asociace leteckých dopravců IATA monitoruje ceny leteckého paliva od roku 2014. Tato data jsou získána opět z portálu informativní a analytické společnosti S&P Global Platts a díky těmto datům byl sestaven graf 11. Data do tohoto grafu jsou sbírána od roku 2014, ve kterém se zároveň cena paliva jet-A pohybovala nejvýše. Od tohoto roku cena propadla v roce 2015 o více než 80 dolarů. Růst cen do roku 2018 zastavila pandemie Covid-19, která v roce 2020 způsobila propad cen až na 15 dolarů za barel. Cena Jet-A je aktuálně na vzestupu. V minulosti bylo dle mnoha zdrojů konstatováno, že udržitelné letecké palivo je oproti konvenčnímu palivu 2x až 3x dražší.



Graf 11 Vývoj cen leteckého paliva Jet-A [75]

Uvedené ceny v grafu 11 jsou v dolarech za barel, který odpovídá přibližně 119 litrům. Současná cena leteckého paliva v Evropě je v hodnotě 625,75 dolarům za 1 000 kg. Cena fosilního paliva od roku 2020 vzrostla o 75 %. Konvenční petrolejové palivo je tak oproti udržitelnému leteckému palivu přibližně 4x levnější, jelikož se cena udržitelného paliva se pohybovala ve třetím čtvrtletí tohoto roku pohybovala v hodnotě 2600 dolarů za 1000 kg. Vliv na růst cen může mít také pandemie Covid-19, která způsobila růst cen surovin a dopravy nejen v ropném, ale i v rostlinném a živočišném průmyslu po celém světě. Bohužel nelze stanovit, zda má pandemie vliv i na růst ceny udržitelného leteckého paliva z důvodu nedostupnosti dat z předchozích let. Je velmi pravděpodobné, že se cena těchto paliv vzhledem k pandemii bude ještě zvyšovat. [75]

6.3 Let na krátkou vzdálenost

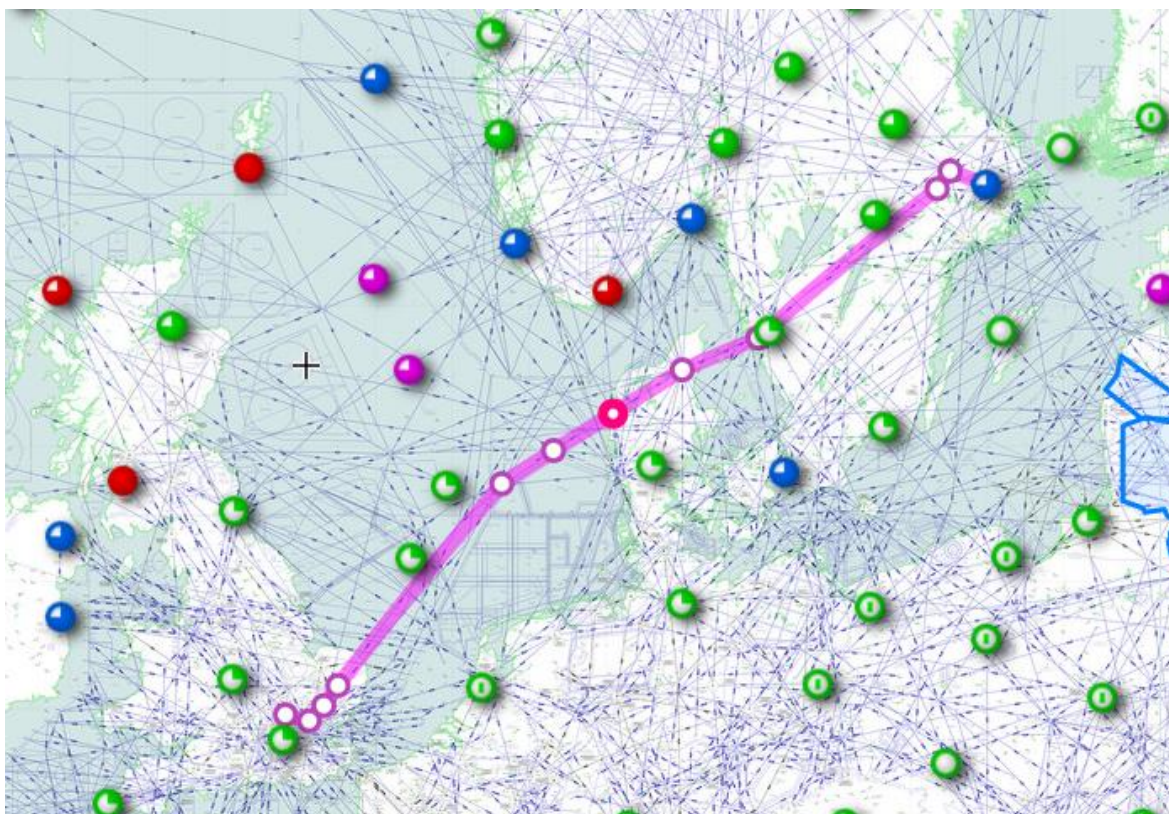
Trasa letu na krátkou vzdálenost byla stanovena na základě výše provedené analýzy nejčastěji létanými vzdálenostmi se směsí paliv. Trasa se bude tedy pohybovat v rozmezí 1000-1500 km a simulace bude naplánovaná letadlem Boeing B737-800. Kapacita palivových nádrží letounu B737-800 je 26 020 litrů a maximální vzletová hmotnost letounu je 79 010 kg. Pro vypočítání množství paliva na palubě letounu byl vypracován individuální letový plán, který bude uskutečněn již zmíněným letounem. Zvolená letiště počáteční a konečné destinace byla zvolena též na základě výše provedené analýzy, na kterých jsou dostupná udržitelná letecká paliva. Počáteční destinace, ze které bude letadlo startovat tak bude letiště London Luton Airport, nacházející se severně od Londýna ve Velké Británii.

Cílová destinace se bude nacházet na mezinárodním letišti Arlanda ve Stockholmu ve Švédsku. Důvodem volby těchto letišť bylo zavedení udržitelného leteckého paliva přímo na letiště a vzdálenost, která mezi těmito letišti činí přibližně 1432 km.

Trasa letu byla naplánovaná v programu Skyvector a je zobrazena na obrázku 18 a vypracovaný letový plán je na obrázku 19. Letadlo zahájí let na vzletové a přistávací dráze 07 na letišti v Lutonu a bude pokračovat na trase podle mapy Standardních tras pro odlet (SID) na nejbližší bod MATCH. Vybraná trasa pro let z Londýna do Stockholmu je:

MATCH P144 DIGSU TUZLA GOLUM N866 AMRAM REpra AAL N607 ELBUX N873 ARS ELTOK

Z posledního bodu ELTOK je let veden po Standardní příletové trase k terminálu (STAR) na letišti Arlanda. Letová hladina, ve které je let naplánován je F370, která je vzhledem k letu ze západu na východ lichá. Předpokládaná doba letu je 2 hodiny. Alternativní letiště pro nahodilé situace je letiště Oslo v Norsku, které se nachází přibližně 15 minut letu od Arlandy.



Obrázek 18 Trasa letu [76]

U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration		International Flight Plan	
PRIORITY	ADDRESSEE(S)		
<=FF			
FILING TIME	ORIGINATOR		
SPECIFIC IDENTIFICATION OF ADDRESSEE(S) AND/OR ORIGINATOR			
3 MESSAGE TYPE	7 AIRCRAFT IDENTIFICATION	8 FLIGHT RULES	TYPE OF FLIGHT
<=(FPL		I	S
9 NUMBER	TYPE OF AIRCRAFT	WAKE TURBULENCE CAT.	10 EQUIPMENT
0.1	B.7.3.8	I/M	SDFCHLNSQVWZCB
13 DEPARTURE AERODROME	TIME		
E.G.G.W	0.2.0.0		
15 CRUISING SPEED	LEVEL	ROUTE	
N.0.4.3.0	F.3.7.0	MATCH PM4 DIGSW TURLA GDLUH N866	
AHRAM REPRA M4 4609 ELBUX N873 ARS ELTOK			
16 DESTINATION AERODROME	TOTAL EET	ALTN AERODROME	2ND ALTN AERODROME
E.S.S.A	HR MIN 0.2.0.0	E.N.G.M	
18 OTHER INFORMATION			
SUPPLEMENTARY INFORMATION (NOT TO BE TRANSMITTED IN FPL MESSAGES)			
19 ENDURANCE	PERSONS ON BOARD	EMERGENCY RADIO	
HR MIN E/ 0.3.2.2	P/ 1.2.0	UHF	VHF ELT
SURVIVAL EQUIPMENT		JACKETS	
POLAR DESERT MARITIME JUNGLE		LIGHT FLUORES UHF VHF	
<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
DINGHIES	NUMBER CAPACITY COVER	COLOR	
<input checked="" type="checkbox"/> /	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	WHITE, RED	
AIRCRAFT COLOR AND MARKINGS			
A/ WHITE, RED			
REMARKS			
N/			
PILOT-IN-COMMAND			
C/			
FILED BY	ACCEPTED BY	ADDITIONAL INFORMATION	

FAA Form 7233-4 (7/15)

Obrázek 19 Mezinárodní letový plán letu Luton, Londýn, Velká Británie – Arlanda, Stockholm, Švédsko [Autor]

Let byl plánován za mírných větrných podmínek se standardním počtem členů posádky na palubě a 150 cestujícími, přičemž výpočet celkových nákladů na let není pro tuto analýzu podstatný. Hodnota spotřební daně za letecké palivo byla získána pomocí automobilové dopravy, která aktuálně činí v průměru 0,53 amerických dolarů za litr. Tato částka bude brána v potaz při následujících výpočtech.

Použitá data pro výpočet analýzy nákladů na palivo:

- Cena Jet-A/ 1 kg: 0,62575 USD
- Cena SAF/1 kg: 2,675 USD
- Cena spotřební daně leteckého paliva/1 kg: 0,53 USD

6.3.1 Finanční analýza letu na krátkou vzdálenost

Druh paliva	Množství paliva na 2 hodiny	Cena paliva Jet-A vč. spotř. daně	Cena paliva SAF
Palivo pro pojiždění	200 kg	213,150 \$	535,000 \$
Trat'ové palivo	4 900 kg	5 663,175 \$ \$	13 107,500 \$
Palivo pro nepředvídatelné situace	245 kg	283,159 \$	655,375 \$
Alternativní palivo	1 850 kg	2 138,138 \$	4 948,750 \$
Konečná záloha paliva	1 050 kg	1 213,538 \$	2 808,750 \$
Extra palivo	300 kg	346,725 \$	802,500 \$
Celkem	8 545 kg	9 875,884 \$	22 857,875 \$

Tabulka 9 Náklady na palivo Jet-A [Autor]

Druh paliva	Množství paliva na 2 hodiny	Cena paliva Jet-A 97% vč. spotř. daně	Cena paliva SAF 3%
Palivo pro pojíždění	200 kg	224,216 \$	16,05 \$
Traťové palivo	4 900 kg	5 493,280 \$	393,25
Palivo pro nepředvídatelné situace	245 kg	274,664 \$	19,66 \$
Alternativní palivo	1 850 kg	2 073,993 \$	148,463 \$
Konečná záloha paliva	1 050 kg	1 177,131 \$	84,263 \$
Extra palivo	300 kg	336,323 \$	24,075 \$
Celkem	8 545 kg	9 579,607 \$	685,736 \$
Celkem		10 265,343 \$	

Tabulka 10 Náklady na palivo směsi Jet-A a 3 % SAF [Autor]

Druh paliva	Množství paliva na 2 hodiny	Cena paliva Jet-A 95 % vč. spotř. daně	Cena paliva SAF 5 %
Palivo pro pojíždění	200 kg	219,593 \$	26,750 \$
Traťové palivo	4 900 kg	5 380,016 \$	655,375 \$
Palivo pro nepředvídatelné situace	245 kg	269,001 \$	32,769 \$
Alternativní palivo	1 850 kg	2 031,231 \$	247,438 \$
Konečná záloha paliva	1 050 kg	1 152,861 \$	140,438 \$
Extra palivo	300 kg	329,389 \$	40,125 \$
Celkem	8 545 kg	9 382,090 \$	1 142,894 \$
Celkem		10 524,983 \$	

Tabulka 11 Náklady na palivo směsi Jet-A a 5 % SAF [Autor]

6.4 Let na dlouhou vzdálenost

Dlouhodobý let je plánovaný v rozmezí vzdáleností 6000-6500 km a je proveden letadlem Boeing B777-200ER. Mezikontinentální let je plánovaný z letiště Franze Josefa Strauße v Mnichově v Německu na letiště Republic Airport v New Yorku v USA. Vzdušná vzdálenost mezi zmíněnými městy je přibližně 6500 km a doba letu je přibližně 8,5 hodiny. Letadlo B777-200ER je velkokapacitní letadlo, jehož kapacita palivových nádrží je 117 175 kg a

maximální vzletová hmotnost činí 297 550 kg. Zvolená trasa letounu byla vykreslena opět v aplikaci Skyvector a množství uvedeného paliva bylo inspirováno z již vypracovaného letového plánu. Zvolená trasa dle Skyvector je následující:

GIVMI ERNAS TALAL ERMEL INBED AMOSA Y101 TEKUTU Z850 ARPEG H
MM RELBI L602 NALAX L46 REMSI M148 MAGEE PERLU Q475 COPL
Y BOS PVD J225 NEWES

Let byl veden do bodu GIVMI z letiště Franze Josefa Strauße po Standardní trase pro odlet (SID). Posledním bodem v letovém plánu je NEWES, ze kterého let pokračuje po Standardní příletové trase k terminálu (STAR) na letišti Republic Airport. Alternativním letišti je Mezinárodní letišti Stewart v New Yorku. Výchozí letišti v Mnichově bylo zvoleno z důvodu zavedení udržitelného leteckého paliva na letišti hydrantovým systémem. Na cílové letišti v New Yorku je udržitelné letecké palivo dodáváno cisternami.



Obrázek 20 Trasa dlouhého letu z Mnichova do New Yorku [76]

6.4.1 Finanční analýza letu na dlouhou vzdálenost

Druh paliva	Množství paliva na 8,5 hodiny	Cena paliva Jet-A vč. spotř. daně	Cena paliva SAF
Palivo pro pojiždění	600 kg	693,45 \$	1 605,00 \$
Trat'ové palivo	57 800 kg	66 802,35 \$	154 615,00 \$
Palivo pro nepředvídatelné situace	2 890 kg	3 340,117 \$	7 730,750 \$
Alternativní palivo	2 100 kg	2 427,075 \$	5 617,500 \$
Konečná záloha paliva	3 400 kg	3 929,55 \$	9 095,00 \$
Extra palivo	600 kg	693,45 \$	1 605,00 \$
Celkem	67 390 kg	77 885,99 \$	180 268,250 \$

Tabulka 12 Cena 100% Jet-A paliva a SAF na dlouhém letu [Autor]

Druh paliva	Množství paliva na 8,5 hodiny	Cena paliva Jet-A 97 % vč. spotř. daně	Cena paliva SAF 3 %
Palivo pro pojiždění	600 kg	672,65 \$	48,150 \$
Trat'ové palivo	57 800 kg	64 798,28 \$	4 638,450 \$
Palivo pro nepředvídatelné situace	2 890 kg	3 239,91 \$	231,923 \$
Alternativní palivo	2 100 kg	2 354,26 \$	168,525 \$
Konečná záloha paliva	3 400 kg	3 811, 66 \$	272,850 \$
Extra palivo	600 kg	672,65 \$	48,150 \$
Celkem	67 390 kg	75 549,41 \$	5 408,048 \$
Celkem		80 957,46 \$	

Tabulka 13 Cena směsi 97 % Jet-A a 3 % SAF paliva na dlouhém letu [Autor]

Druh paliva	Množství paliva na 8,5 hodiny	Cena paliva Jet-A 95 % vč. spotř. daně	Cena paliva SAF 5 %
Palivo pro pojíždění	600 kg	658,77 \$	80,250 \$
Traťové palivo	57 800 kg	63 462,23 \$	7 730,750 \$
Palivo pro nepředvídatelné situace	2 890 kg	3 173,11 \$	386,538 \$
Alternativní palivo	2 100 kg	2 305,72 \$	280,875 \$
Konečná záloha paliva	3 400 kg	3 733,07 \$	454,750 \$
Extra palivo	600 kg	658,77 \$	80,250 \$
Celkem	67 390 kg	73 991,69 \$	9 013,413 \$
Celkem		83 005,105 \$	

Tabulka 14 Cena směsi 95% Jet-A a 5 % SAF paliva na dlouhém letu [Autor]

6.5 Analýza emisí CO2 vlivem letů na krátkou a dlouhou vzdálenost

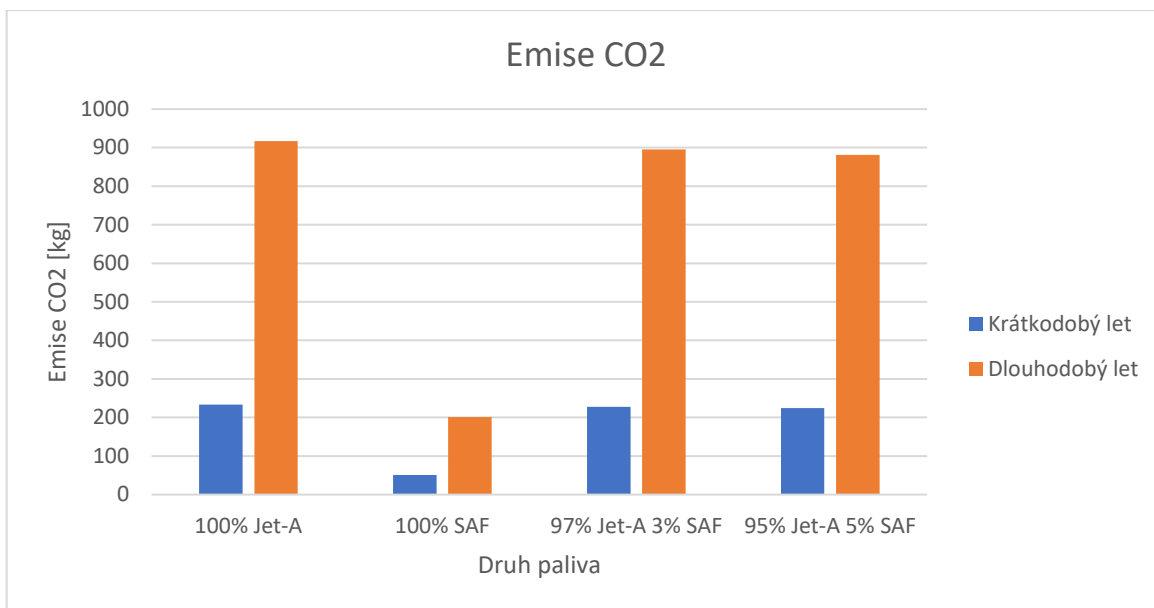
Popis (výpočet)		100 % Jet-A	100 % SAF	97 % Jet-A	3 % SAF	95 % Jet-A	5 % SAF
Vzdálenost	[km]	1432	1432	1432	1432	1432	1432
Množství paliva	[kg]	8545	8545	8289	256	8118	427
Cestující		150	150	150	150	150	150
Množství paliva na osobokilometr (Množství paliva/Cestující*Vzdálenost)	[kg]	0,040	0,040	0,039	0,001	0,038	0,002
Emise CO2 na osobokilometr (Palivo na osobokilometr * spotřeba 1 g CO2 na 1 g paliva)	[kg]	0,125	0,027	0,122	0,001	0,119	0,001
Spotřeba CO2 na 1 hodinu letu (Rychlost letounu v letové hladině * Emise CO2 na osobokilometr)	[kg]	116,539	25,528	113,048	0,765	110,715	1,276
Spotřeba CO2 na 2 hodiny letu	[kg]	233,078	51,055	226,095	1,530	221,431	2,551
Jet-A+SAF	[kg]			227,625		223,982	

Tabulka 15 Výpočet emisí CO2 na krátkodobý let [Autor]

Popis (výpočet)		100 % Jet-A	100 % SAF	97 % Jet-A	3 % SAF	95 % Jet-A	5 % SAF
Vzdálenost	[km]	6500	6500	6500	6500	6500	6500
Množství paliva	[kg]	67390	67390	65368,3	2021,7	64020,5	3369,5
Cestující		270	270	270	270	270	270
Množství paliva na osobokilometr (Množství paliva/Cestující*Vzdálenost)	[kg]	0,038	0,038	0,037	0,001	0,036	0,002
Emise CO2 na osobokilometr (Palivo na osobokilometr * spotřeba 1g CO2 na 1g paliva)	[kg]	0,121	0,026	0,117	0,001	0,115	0,001
Spotřeba CO2 na 1 hodinu letu (Rychlost letounu v letové hladině * Emise CO2 na osobokilometr)	[kg]	107,893	23,634	104,656	0,709	102,498	1,182
Spotřeba CO2 na 8,5 hodiny letu	[kg]	917,092	200,887	889,579	6,027	871,237	10,044
Jet-A+SAF	[kg]	-	-	895,605		881,281	

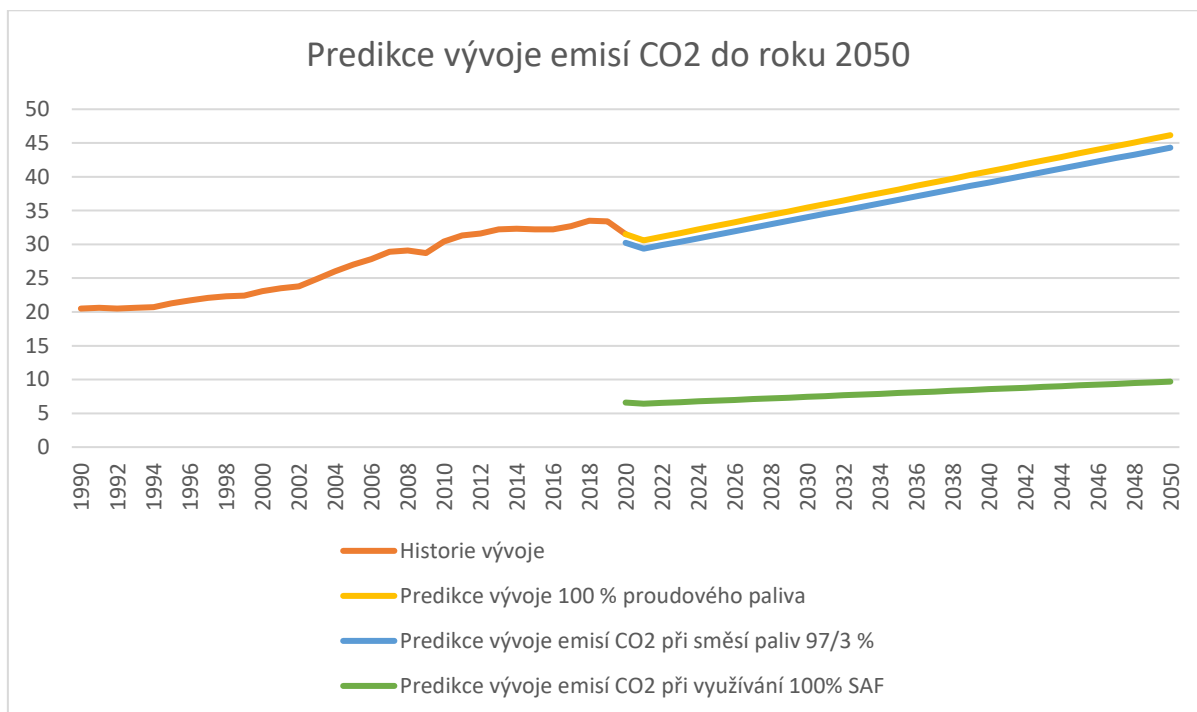
Tabulka 16 Výpočet emisí CO2 na dlouhodobý let [Autor]

Výpočet spotřeby emisí byl zjištěn pomocí výpočtu na osobokilometr. Důležitá data, která se při výpočtech brala v potaz byla vzdálenost mezi destinacemi, množství paliva a počet cestujících na palubě. Díky tomu bylo možné spočítat množství paliva na osobokilometr. Výpočet emisí CO2 na osobokilometr byl vypočítán násobkem spotřeby paliva na osobokilometr s jedním gramem emisí CO2 na 1 gram leteckého paliva, které jsou aktuálně 3,15 gramů. Pro výpočet udržitelného leteckého paliva byly emise CO2 stanoveny na 78 % z 3,15, tj. 0,69 gramů emisí na 1 gram udržitelného leteckého paliva. Data uvedená v tabulce 15 a 16 jsou vykresleny v následujícím grafu 12, na kterém není zcela patrné, že se množství spotřeby emisí CO2 snižuje při tak malé směsi paliv. Rozdíl mezi 100 % fosilním palivem a 100 % udržitelným leteckým palivem je téměř o 80 %.



Graf 12 Emise CO2 [Autor]

6.6 Vliv udržitelných leteckých paliv na emise CO2 a jejich predikce při zavedení do provozu



Graf 13 Predikce vývoje emisí CO2 do roku 2050 [77, Autor]

Na grafu 13 je patrné, že pokud bude letecká doprava nadále využívat fosilní paliva jako primární zdroj energie, jejich množství by bylo v roce 2050 téměř 50 giga tun s tím, že výpočet není zcela relevantní a není do něho započítán strop, který určí maximální kapacitu letového prostoru. Přestože byl rok 2020 na emise CO₂ spíše kladný z hlediska jejich poklesu, dá se předpokládat, že zájem o leteckou dopravu bude i tak nadále růst. Předpokládaný růst emisí byl stanoven pomocí extrapolace. Dle dostupných dat, která byla získána díky využití biopaliv v automobilové dopravě bylo zjištěno, že využívání biopaliv v dopravě sníží emise CO₂ až o 78 %. Tj. biopaliva produkují 719 gramů CO₂ na jeden litr oproti fosilním palivům, která produkují 3 340 gramů na jeden litr. [78] Na základě těchto dat byl proveden výpočet emisí na výše uvedené scénáře.

6.7 SWOT Analýza

Pro vyhodnocení výše provedených grafů bude provedena strategická analýza SWOT, která se zaměřuje na vnitřní a vnější vlivy systému. SWOT analýza se používá při identifikaci rizik systému a zaměřuje se na vnitřní vlivy, kterými jsou silné (strong) a slabé (weakness) stránky a vnější vlivy, a to příležitosti (opportunities) a hrozby (threats). Analýza tak bude implementována na udržitelná letecká paliva a jejich vliv na leteckou dopravu.

6.7.1 Silné stránky

Silné stránky udržitelných leteckých paliv jsou především již provedené testovací lety a již zaběhnutý systém implementovaný do leteckého provozu. Přestože je stále velmi malé procento letů využívající udržitelné letecké palivo, jejich počet stále roste. Testování motorů se zvětšujícím se procentem směsi udržitelného leteckého paliva přináší do leteckého provozu čím dál lepší vyhlídky ku bezemisnímu létání. Hlavním zdrojem pro tento druh paliv je jejich obnovitelnost, a proto jsou hlavní zdroje původu rostlinného a živočišného, elektrolýza vody a obnovitelného zdroje energie (vítr, voda, slunce a horké prameny získané erupcí sopek). Výše provedenou analýzou byl identifikován pokles emisí CO₂ při směsi paliv. Tento pokles se projeví procentuálním rozdílem směsí fosilních a udržitelných paliv. Navyšování procenta udržitelných leteckých paliv do těch konvenčních tak urychlí jejich klesání. Stoprocentní užití těchto paliv detekuje až 80 % pokles emisí CO₂. Mezi další silné stránky patří jejich palivová účinnost, která je na rozdíl od fosilních paliv vyšší až o 3 %. Tento fakt nebyl do finanční analýzy a výpočtu produkovaných emisí u výše zvýšených příkladů započítán. Díky nižší spotřebě paliva na kilometr může být cena mezi palivy s menším rozdílem, než je teď. Na udržitelné palivo neplánuje Evropská komise zavést spotřební daň, jako je tomu u fosilního paliva. Díky spotřební dani bylo díky výše

provedené analýze identifikována cena fosilního paliva o téměř polovinu vyšší. Přestože se počáteční cena udržitelného paliva liší o čtvrtinu, finální cena je pouze o polovinu vyšší. Dá se předpokládat, že v následujícím horizontu několika let, vlivem větší poptávky o udržitelné palivo, bude cena udržitelného paliva klesat. Dosud nebyla prokázána nižší kvalita vůči fosilním zdrojům. Jejich provozuschopnost za nízké spotřeby při nezměněné konstrukci pohonných jednotek ani draků letadel tak budou mít velký kladný vliv na letecký provoz.

6.7.2 Slabé stránky

Mezi slabé stránky udržitelných leteckých paliv jsou stále málo dostupné zdroje. Zvyšující nabídka vůči poptávce by tak vedla ke snížení ceny paliva, které by mohlo způsobit i větší zájem ze strany provozovatelů. Nejenom vysoká cena je slabou stránkou. Procento letišť, které jakýmkoliv způsobem dokáže udržitelné letecké palivo zprostředkovat, či nabídnout je stále velmi malé. Celkově se v Evropě a USA nachází pouze 7 letišť se zavedeným udržitelným leteckým palivem hydrantovým systémem. Počet letišť distribuující udržitelné palivo pomocí cisteren je také velmi nízké. Počet tras je tedy velmi omezený. Vysoká pořizovací cena je příčinou pro jejich nižší využití pro nízkonákladové lety. Ty jsou většinou prováděny vhodnými letadly pro jejich zavedení, avšak to by zapříčinilo vzrůst cen letenek, což je pro tyto společnosti nežádoucí. Jejich implementace do provozu se tedy předpokládá nejdříve u klasických společností. Další slabostí je malé postavení na trhu. Jedná se o velmi novou metodu, jejíž růst se dá jen predikovat.

6.7.3 Příležitosti

Vzhledem k obnovitelnosti zdrojů vznikají příležitosti pro nové firmy, které mohou být součástí dodavatelského řetězce. Rozvoj společností, které se mohou zapojit lokálními cestami do výroby udržitelných paliv může vylepšit ekonomický růst, nejen daných společností. Vzhledem k tomu, že se jedná o relativně nový zdroj energie v letecké dopravě, přináší spíše pozitiva a růst trhu s udržitelnými leteckými palivy. Díky iniciativě Clean Sky, do které se zapojily i země podílející se vysokým procentem na produkci emisí CO₂, jako je USA či Čína, dochází k větší propagaci a větších možnostech. Velkou příležitostí pro udržitelná letecká paliva jsou také úvahy Evropské komise o uvalení spotřební daně na fosilní paliva. Dalo by se předpokládat, že po jejím zavedení bude o nový druh paliva uvažovat větší počet společností a může tak vzniknout spolupráce s novými firmami.

6.7.4 Hrozby

Výroba udržitelných leteckých paliv podléhá velmi přísným procesům, které jsou zakončeny certifikací. Díky tomu mohou koneční prodejci zaručit vysokou kvalitu tohoto paliva. To může vést u mnohých výrobců k nezájmu. Tento důvod by dosáhl nízké poptávky z důvodu vysoké ceny paliva. Velkou hrozbou jsou také meteorologické podmínky a přírodní katastrofy a jejich vliv na přírodní zdroje energie. A mezi poslední hrozby patří vývoj nových alternativních metod za účelem snížení emisí. Konkurence by mohla zajistit pokles cen, ale zároveň menší zájem o tento druh alternativní metody.

7 Vyhodnocení výsledků analýz

Cílem počátečních analýz bylo získat potřebná data nutná k výsledné finanční analýze. Jejím účelem bylo poukázat na rozdíly nákladů na let se zaměřením na udržitelná letecká paliva s konvenčními petrolejovými palivy a jejich směsí. Téma alternativních leteckých paliv je v současnosti velmi skloňováno, a tak bylo na základě analýzy využívaných letadel, dostupnosti udržitelných paliv a leteckých tras stanovena finální podoba letového plánu rozděleného na dlouhodobý a krátkodobý let.

Finanční analýza byla zaměřena na ekonomické náklady pouze na palivo, které je součástí variabilních nákladů. V rámci letového plánu tak byly stanoveny paliva pro pojíždění, traťové palivo, palivo pro nepředvídatelné situace, alternativní palivo, konečná záloha paliva a extra palivo. Na základě těchto dat bylo možné stanovit náklady na jednotlivé položky.

Na těchto dvou letech byl následně implementován výpočet stanovení emisí v porovnání směsí udržitelných leteckých paliv a konvenčních leteckých paliv 3:97 (tři ku devadesátisedmi), 5:95 (pět ku devadesátipěti) a 100 % udržitelných leteckých paliv a 100 % fosilních paliv.

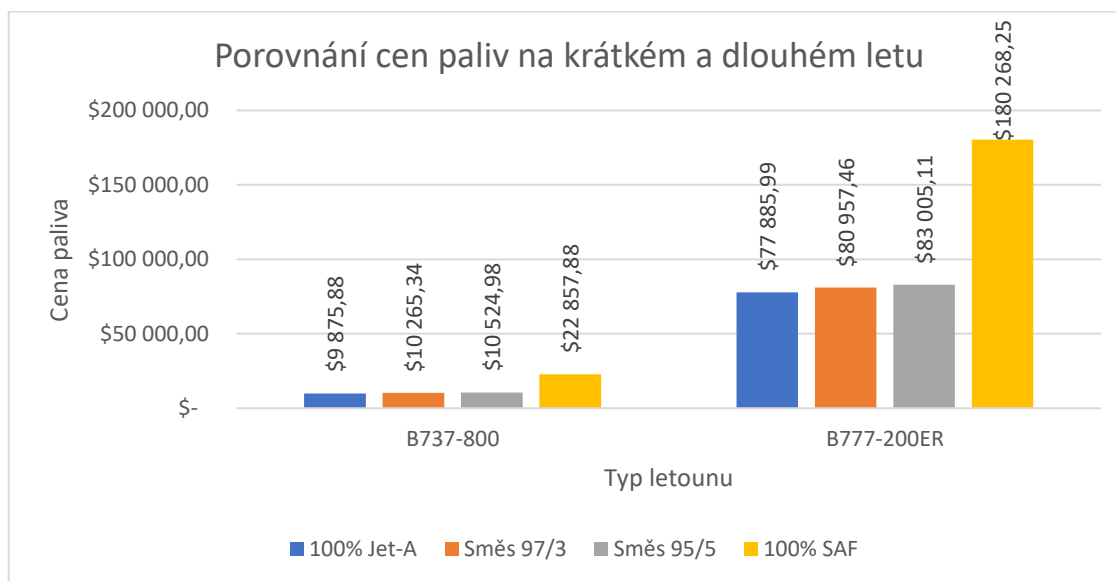
7.1 Výsledky finanční analýzy obou letů

V rámci analýzy dodavatelského řetězce byla snaha o identifikaci výroby biomasy a ostatních udržitelných zdrojů, která nebyla příliš úspěšná. Nalezená data nebyla příliš relevantní a nešla z nich vyvodit potřebná data pro dodavatelský řetězec stupně tier 2. Analýza dodavatelského řetězce stupně tier 1/OEM dopadla mnohem lépe, kde byly identifikováni výrobci a koneční prodejci originálního zboží. Ti byli nalezeni převážně na území USA s tím, že jejich pobočky dosahují i do Evropy. V rámci této analýzy bylo identifikováno, že se výroba udržitelných leteckých paliv provozuje hlavně na území USA, ne však výlučně.

Analýza letadel využívající udržitelná letecká paliva odhalila poměrně velké zaměření na malokapacitní letadla. Výsledkem této analýzy bylo zvolení typu letadla na krátkou a dlouhou vzdálenost a díky identifikaci letů, na nichž byly tyto lety uskutečněny tak byla zvolena délka trasy. Poslední analýzou provedenou v rámci zajištění všech dat pro finanční analýzu bylo zajištění mezinárodních letišť se zavedeným hydrantovým systémem. Nalezeno bylo 8 mezinárodních letišť. Součástí finanční analýzy tak byl let na krátkou vzdálenost simulovaný letounem Boeing B737-800 na vzdálenost 1432 km a let na dlouhou vzdálenost simulovaný letounem Boeing B777-200ER na vzdálenost přibližně 6500 km.

Aby byl mezi cenami udržitelného leteckého paliva a konvenčním petrolejovým palivem menší rozdíl, byla do ceny paliva Jet-A započítána spotřební daň, která byla vyhodnocena pomocí automobilové dopravy v USA. Její hodnota je momentálně 0,53 USD za litr.

Ceny krátkého letu a dlouhého letu se téměř kopírují. Je však zřejmé, že i po zavedení spotřební daně je cena 100 % udržitelného leteckého paliva v porovnání se 100% Jet-A více jak dvakrát vyšší.



Graf 14 Porovnání cen paliv na krátkém a dlouhém letu [Autor]

Na výše provedeném grafu 14 je vidět porovnání vlivu emisí těchto dvou letů ve stejném poměru paliv. Grafy krátkého a dlouhého letu se opět kopírují, nicméně je velmi patrné, že vliv udržitelného leteckého paliva na emise CO₂ je téměř čtyřnásobný. Při postupné implementaci by tak mohlo velmi malými kroky docházet k postupnému snižování emisí CO₂ v ovzduší.

Výsledkem finanční analýzy byl jednoznačný cenový vítěz, a to konvenční petrolejové palivo Jet-A. Tato predikce se dala očekávat. Nicméně vzhledem k tomu, že byla provedena finanční analýza na jednom alternativním palivu, u kterého byla dostupná data, jako je cena a emise CO₂, získaných díky automobilové dopravě, nebylo možné porovnávat s jinými alternativami. Těma by mohla být například elektrifikace letadlového parku turbovrtulových letadel. Počet těchto letadel na území USA a Evropy by mohl být dohledatelný, bohužel ale nikde nebylo stanovena ekonomická stránka tohoto projektu.

8 Závěr

Nahrazení konvenčních leteckých paliv alternativními metodami v letecké dopravě se v mnohém liší. Tyto metody jdou rozdělit na změnu konstrukce letadel a bez jejich změny. Identifikované alternativy, kterými jsou modifikace turbodmychadlového motoru, architektura otevřeného motoru, hybridní pohonné jednotky, elektrické pohonné jednotky a spalování vodíku v rámci pohonných jednotek a palivových článků, znamenají velkou konstrukční změnu do letadel a pohonných jednotek. Všechny metody byly součástí rešerše v úvodu diplomové práce, ze které byla vyvozena jedna alternativa – udržitelná letecká paliva, jejichž problematice se tato práce věnuje podrobněji.

Alternativní letecká paliva, respektive udržitelná letecká paliva budou mít na leteckou dopravu vliv zejména z finančního hlediska a vlivu na životní prostředí. Udržitelná letecká paliva tak byla důkladně prozkoumána od jejich výroby po finální certifikované produkty. Prostřednictvím certifikace, kterou následně paliva získávají, byly zanalyzovány procesy vývoje. Tato statistika zajistila povědomí, jakým způsobem jsou paliva vyráběna a jaké jsou pro ně vhodné zdroje.

Další fáze diplomové práce je zaměřena na infrastrukturu leteckých paliv a jejich současný dosah do reality letecké dopravy. Na základě procesů získání paliva byly identifikovány zdroje, kterými jsou především biomasa, odpad, uhlí, dřevo, vodík a energie získaná z obnovitelných zdrojů. Tyto poznatky byly zapracovány do analýzy dodavatelského řetězce, který postupuje v procesu vzestupně.

V rámci analýzy dodavatelského řetězce byli identifikováni dodavatelé v rámci stupňovaného systému dodavatelů, jinak zvaných tier. Dodavatelský řetězec zahrnuje veškerý proces od základního materiálu po konečný výrobek, či materiál užitý v provozu. Identifikace zdroje základního materiálu je velkým zklamáním, jelikož nebylo možné dohledat konkrétní dodavatele. Data byla čerpána z databáze spotřeby energie Evropské statistické agentury a Správy energetických informací v USA, jejichž zdroje jsou založeny na výše zmíněných materiálech. Dle této databáze bylo alespoň zjištěno, že spotřeba energie získané z obnovitelných zdrojů, alespoň na území USA je rostoucí a lze tedy předpokládat, že může ovlivňovat i výrobu udržitelných leteckých paliv. To má kladný dopad na výrobní společnosti, kterých přibývá a které jsou součástí analýzy dodavatelského řetězce.

Konkrétní data pro stanovení tras letů na krátkou a dlouhou vzdálenost byla získána díky analýze letadel a letišť. Analýza letadel byla zaměřena na konkrétní typy aktuálně využívaných směsí udržitelných leteckých paliv na svých letech. Dále bylo třeba stanovit,

jaké vzdálenosti jsou nejvíce absolvovány těmito letadly. Díky tomu byly vybrány konkrétní typy letadel a vzdálenosti počátečních a cílových letišť. Analýza letišť se zavedeným hydrantovým palivovým systémem identifikovala 8 mezinárodních letišť, která stanovila finální podobu tras simulačních letů.

Finanční analýza byla stanovena na aktuálních cenách. Zklamáním pro tuto diplomovou práci je především nedostupnost informací ohledně růstu cen tohoto druhu paliva. Výpočty byly tedy založeny na ceně z třetího kvartálu roku 2021. Výpočet ceny konvenčního petrolejového paliva zahrnuje poplatek spotřební daně, o kterém v současnosti uvažuje Evropská komise. Cílem zavedení spotřební daně na fosilní paliva je zajistit horší dostupnost pro letecké společnosti a snaha vyrovnat cenu oproti směsím paliv. Výsledek finanční analýzy nebyl překvapením, a to velký cenový rozdíl.

Na daných letech byl aplikován výpočet, na základě kterého byla stanovena spotřeba emisí CO₂. Rozdíl v rámci daných letů je v řádech desítek, je tedy minimální. Stále se ale jedná o krok dopředu. Zavedení 100 % udržitelných leteckých paliv do provozu by vedlo ke snížení emisí CO₂ až o 80 %.

Dle provedených analýz není výsledek nijak překvapivý. Predikce využití 100 % udržitelných leteckých paliv vykresluje razantní pokles emisí CO₂, což je jejich hlavní účel. Z důvodu nedostatku dat nebylo možné porovnat udržitelná letecká paliva s jinými alternativami, které by mohly ovlivnit emise CO₂. Vliv na budoucnost letecké dopravy v rámci alternativních metod se dá předpokládat jako veliký. Novými projekty alternativních metod se zabývají velké společnosti jako jsou vývojové firmy pohonných jednotek či přední výrobci letadel. Konkurence nových metod zajišťující snížení emisí by mohla vést ke snižování cen a poptávka po alternativách by se tak zvyšovala. Domnívám se tedy, že budoucnost leteckého provozu s minimálními emisemi je cestou v před a je zapotřebí jim věnovat velký prostor. Při dostupnosti dat by mohla být tato práce rozšířena o další porovnání alternativních metod, například elektrifikaci turbovrtulových letounů.

9 Zdroje

- [1] FAROKHI, Saeed, Future Propulsion Systems and Energy Sources in Sustainable Aviation, John Wiley & Sons Ltd: 2020. 416 s.
- [2] Submitted by General Electric, Open Rotor Engine Aeroacoustic Technology Final Report, Continuous Lower Energy, Emissions and Noise (CLEEN) Program, Federal Aviation Administration, [online]. [cit. 01.02.2021]. Dostupné z: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/aircraft_technology/cleen/reports/media/Open_Rotor_Public_Final_Report.pdf
- [3] Kopiev, V a spol., Assessment of Community Noise for a Medium-Range Airplane with Open-Rotor Engines, EbscoHost, [online]. [cit. 01.02.2021]. Dostupné z: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=8d9fd959-6af9-4148-b7db-3adafd666d92%40pdc-v-sessmgr01>
- [4] Safran Aircraft Engines–Wikiwand. Wikiwand, [online]. [cit. 01.02.2021]. Dostupné z: <https://www.cleansky.eu/sustainable-and-green-engines-sage>
- [5] Gessel, Hendrik, Wolters, Florian, Plohr, Martin, System analysis of turbo-electric propulsion systems on a regional aircraft, Proquest, [online]. Říjen 2019 [cit. 01.02.2021]. Dostupné z: <https://search-proquest.com.ezproxy.techlib.cz/docview/2307378790/fulltextPDF/EE55828989F34931PQ/1?accountid=119841>
- [6] Friedrich, C., Robertson, P. A., Hybrid-Electric Propulsion for Aircraft, Journal of aircraft, [online]. Leden-Únor 2015 [cit. 01.02.2021]. Dostupné z: <https://arc-aaaa.org.ezproxy.techlib.cz/doi/pdf/10.2514/1.C032660>
- [7] ZEROe – Hydrogen – Airbus. Airbus – Aerospace pioneer, [online]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.html>
- [8] PORŠ, Zdeněk, Co je to palivový článek, Obnovitelné zdroje. Třípól, [online]. Květen 2003 [cit. 02.02.2021]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/1084-co-je-to-palivovy-clanek>
- [9] Hari T. K., Yaakob Z., Binitha N., Aviation biofuel from renewable resources: Routes, opportunities and challenges, ScienceDirect, 1234-1244 s., [online]. Únor 2015 [cit. 02.02.2021]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032114009204?token=ECB86746899E4C765F4F0D514F1D5C5CB292CB94884CDF05AC38615F42A77D85DA7A042B9E64F7A7B151E2299AA67685>
- [10] EU technology programme ENOVAL launched – MTU Aero Engines. Home – MTU Aero Engines, [online]. 2021 [cit. 02.02.2021]. Dostupné

- z: <https://www.mtu.de/newsroom/press/press-archive/press-archive-detail/eu-technology-programme-enoval-launched/>
- [11] UHBR, Safran Aircraft Engines, [online]. [cit. 05.02.2021]. Dostupné z: <https://www.safran-aircraft-engines.com/innovation-0>
- [12] New tests move P&W closer to ultra-high bypass GTF, News, Flight Global. FlightGlobal | Pioneering aviation news and insight, [online]. Říjen 2017 [cit. 05.02.2021]. Dostupné z: <https://www.flightglobal.com/systems-and-interiors/new-tests-move-pandw-closer-to-ultra-high-bypass-gtf/125758.article>
- [13] Future products – UltraFan. Rolls-Royce, [online]. [cit. 05.02.2021]. Dostupné z: <https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/future-products.aspx#/>
- [14] GE and NASA To Begin Wind-Tunnel Testing This Summer of Open Rotor Jet Engine Systems – CFM International CFM International. Home – CFM International Jet Engines CFM International, [online]. Červen 2009 [cit. 05.02.2021]. Dostupné z: <https://www.cfmaeroengines.com/press-articles/ge-and-nasa-to-begin-wind-tunnel-testing-this-summer-of-open-rotor-jet-engine-systems/>
- [15] Annual report 2019, From evolution to revolution, MTU 2019, [online]. [cit. 05.02.2021]. Dostupné z: [Annual Report 2019 \(mtu.de\)](#)
- [16] E-Fan X–Electric flight–Airbus. Airbus [online]. 2021 [cit. 05.02.2021]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/electric-flight/e-fan-x.html>
- [17] ALCOCK, Charles, Faradair Establishes Duxford HQ for Hybrid Electric STOL | Aerospace News: Aviation International News. Aviation International News | Business, Air Transport, Defense & General Aviation News, [online]. [cit. 06.02.2021]. Dostupné z: <https://www.ainonline.com/aviation-news/aerospace/2020-07-16/faradair-establishes-duxford-hq-hybrid-electric-stol>
- [18] ALCOCK, Charles, EAG Launches 70-Seat Hybrid-electric Regional Aircraft | Air Transport News: Aviation International News. Aviation International News | Business, Air Transport, Defense & General Aviation News, [online]. [cit. 31.08.2021]. Dostupné z: <https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2020-07-20/eag-launches-70-seat-hybrid-electric-regional-aircraft>
- [19] Zunum Aero and Safran Helicopter Engines Join Forces to Deliver Electric Commercial Aircraft with Unparalleled Efficiency, [online]. 2018 [cit. 05.02.2021]. Dostupné z: http://www.prweb.com/releases/zunum_aero_and_safran_helicopter_engines_join_forces_to_deliver_electric_commercial_aircraft_with_unparalleled_efficiency/prweb15814645.htm

- [20] Airspeeder — Mission. Airspeeder — The Electric Flying Car Racing Series, [online]. Airspeeder.com 2021 [cit. 13.02.2021]. Dostupné z: <https://airspeeder.com/mission>
- [21] Heart Aerospace. Heart Aerospace, Electrifying regional air travel, [online]. 2021 [cit. 13.02.2021]. Dostupné z: <https://heartaerospace.com/about/>
- [22] Archer Aviation – Events & Presentations. Object moved, [online]. 2021 [cit. 13.02.2021]. Dostupné z: <https://investors.archer.com/events-and-presentations/default.aspx>
- [23] Electric Aircraft – all-electric eFlyer – Bye Aerospace, [online]. 2021 [cit. 13.02.2021]. Dostupné z: <https://byeaerospace.com/>
- [24] EmbraerX, Embraer, Brazil, [online]. 2021 [cit. 13.02.2021]. Dostupné z: <https://embraer.com/global/en/news/?slug=906344-embraerx-unveils-first-evtol-concept>
- [25] Pipistrel Vestol Electric, Pipistrel, [online]. 2021 [cit. 13.02.2021]. Dostupné z: <https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/electric-flight/velis-electro-easa-tc/>
- [26] Project Phoenix, Aerodelft, [online]. 2021 [cit. 13.02.2021]. Dostupné na WWW: <https://aerodelft.nl/project-phoenix/>
- [27] Zvoník, Karel, Kosmický letoun budoucnosti Skylon: Nový motor výrazně usnadní cesty do vesmíru, 100+1 zahraniční zajímavost, [online]. Extra Publishing, s. r. o. 2020 [cit. 13.02.2021]. Dostupné z: <https://www.stoplusjednicka.cz/kosmicky-letoun-budoucnosti-skylon-novy-motor-vyrazne-usnadni-cesty-do-vesmiru>
- [28] Hemmerdinger, Jon, Boom plans October XB-1 rollout as Aerion advances clean fuel project, FlightGlobal, [online]. Červenec 2020 [cit. 13.02.2021]. Dostupné na WWW: <https://www.flightglobal.com/airframers/boom-plans-october-xb-1-rollout-as-aerion-advances-clean-fuel-project/139205.article>
- [29] Fuel-cell mini UAV sets world distance record, FlightGlobal, [online]. Listopad 2007 [cit. 13.02.2021]. Dostupné na WWW: <https://www.flightglobal.com/fuel-cell-mini-uav-sets-world-distance-record/77005.article>
- [30] Boeing: Phantom Eye. Boeing: The Boeing Company, [online]. 2013 [cit. 13.02.2021]. Dostupné z: <https://www.boeing.com/defense/phantom-eye/>
- [31] CleanSky – Benefits, CleanSky, [online]. 2020 [cit. 01.02.2021]. Dostupné z: <https://www.cleansky.eu/discover>
- [32] ENGIE aims to produce synthetic kerosene in France, Engie, [online]. 2021 [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://innovation.engie.com/en/news/news/new-energies/engie-aims-to-produce-synthetic-kerosene-in-france/24654>
- [33] Rolls-Royce gears up next phase of engine tests with 100% SAF, [online]. FlightGlobal, [online]. Únor 2021 [cit. 12.03.2021]. Dostupné z:

- <https://www.flightglobal.com/aerospace/rolls-royce-gears-up-next-phase-of-engine-tests-with-100-saf/142586.article>
- [34] GKN Aerospace continues jet engine biofuel testing, GKN Aerospace, [online]. [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://www.gknaerospace.com/en/newsroom/news-releases/2020/gkn-aerospace-continues-jet-engine-biofuel-testing/>
- [35] Airbus engineers in action for a more sustainable industry – Innovation – Airbus, Airbus, [online]. [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/newsroom/stories/Airbus-engineers-in-action-for-a-more-sustainable-industry.html>
- [36] PERRY, Dominic, How Deutsche Aircraft plans to tackle regional resurgence with reborn Dornier 328, FlightGlobal, [online]. Leden 2021 [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://www.flightglobal.com/airframers/how-deutsche-aircraft-plans-to-tackle-regional-resurgence-with-reborn-dornier-328/141882.article>
- [37] Ryanair Joins Ambitious ‘Fuelling Flight Initiative’ In Its Pledge To Support Sustainable Aviation Fuels For A Carbon Neutral Future, Ryanair’s Corporate Website, [online]. Březen 2021 [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://corporate.ryanair.com/news/ryanair-joins-ambitious-fuelling-flight-initiative-in-its-pledge-to-support-sustainable-aviation-fuels-for-a-carbon-neutral-future/?market=il>
- [38] Safran signs €500 million loan agreement with European Investment Bank to finance research on future aircraft propulsion systems, Safran Group, [online]. [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://www.safran-group.com/media/safran-signs-eu500-million-loan-agreement-european-investment-bank-finance-research-future-aircraft-propulsion-systems-20210304>
- [39] JULIAN, Francois, Safran to study biofuels production in southwest France, Safran Group, [online]. [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://www.safran-group.com/media/safran-study-biofuels-production-southwest-france-20200310>
- [40] The sustainability of aviation, Safran Group, [online]. [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://www.safran-group.com/media/sustainability-aviation-20190618>
- [41] KNOTHE, Gerhard, RAZON, Luis, Biodiesel fuels, ScienceDirect, [online]. [cit. 16.03.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128516300284>
- [42] *Fact Sheet 2 Sustainable Aviation Fuel: Technical Certification*, International Air Transport Association (IATA), [online]. 2021. [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-technical-certifications.pdf>

- [43] BINITHA, Narayanan N., Thushara Kandaramath Hari, ZahiraYaakob, Aviation biofuel from renewable resources: Routes, opportunities and challenges, Renewable and Sustainable Energy Reviews. ScienceDirect, [online]. Únor 2015, Pages 1234–1244. [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114009204>
- [44] EVANS, G., C. Smith, Fischer-Tropsch Process, 5.11.4.5.1(i) FT reaction, Comprehensive Renewable Energy, 2012, ScienceDirect, [online]. [cit. 22.03.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fischer-tropsch-process/pdf>
- [45] MARTINELLI, Michela, M. K. Gnanamania, S. LeViness, G. Jacobs, W. D. Shafer, An overview of Fischer-Tropsch Synthesis: XTL processes, catalysts and reactors. ScienceDirect, [online]. Únor 2020 [cit. 18.04.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X20303331#bib0590>
- [46] FU, Jinxia, Fuel, Flash points measurements and prediction of biofuels and biofuel blends with aromatic fluids. ScienceDirect, [online]. Duben 2019 [cit. 24.04.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236118321719>
- [47] Thermochemical Processing, Biorenewables Education Laboratory, College of Engineering, Iowa State University, [online]. 2011. [cit. 25.04.2021]. Dostupné z: https://www.engineering.iastate.edu/brl/files/2011/10/brl_thermochemical.pdf
- [48] EHRICH, Fredric, Medium-bypass turbofans, high-bypass turbofans, and ultrahigh-bypass engines, Jet Engine, Britannica, [online]. 1982-93 [cit. 06.06.2021]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/jet-engine/Turboprops-propfans-and-unducted-fan-engines>
- [49] Trent 1000 – Rolls-Royce. Rolls-Royce, [online]. [cit. 08.06.2021]. Dostupné z: <https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/airlines/trent-1000.aspx#/>
- [50] SCHMIDT, Patrick, Batteiger V., Roth A., Weindorf W., Raksha T., Power-to-Liquids as Renewable Fuel Option for Aviation: A Review, Chemie Ingenieur Technik, Electrolysis, Wiley Online Library, [online]. 2018 [cit. 12.07.2021]. Dostupné z: <https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.techlib.cz/doi/full/10.1002/cite.201700129>
- [51] DRÜNERT, Sebastian, Neuling U., Zitscher T., Kaltschmitt M., Power-to-Liquid fuels for aviation – Processes, resources and supply potential under German conditions, Applied Energy, Resources, ScienceDirect, [online]. Listopad 2020 [cit. 12.07.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920310904>

- [52] SOMOLOVÁ Markéta, Dlouhý Petr, Výroba vodíku, Elektrolyza, Hytep.cz, [online]. Květen 2007 [cit. 12.07.2021]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/vyroba-vodiku/664-vyroba-vodiku>
- [53] WILLIAMS, David a spol., Advancing Sustainable Aviation Fuel, WSP, [online]. Červen 2020 [cit. 14.07.2021]. Dostupné z: <https://www.wsp.com/en-KW/insights/advancing-sustainable-aviation-fuel>
- [54] Sustainable Aviation Fuels, EASA, [online]. 2021 [cit. 18.07.2021]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/eaer/climate-change/sustainable-aviation-fuels>
- [55] WEISSMAN, Rich, Tiers, not tears: Avoiding surprises in the downstream supply chain, SUPPLY CHAIN DIVE, [online]. Říjen 2016 [cit. 24.07.2021]. Dostupné z: <https://www.supplychaindive.com/news/srm-supply-management-tiers/428103/>
- [56] Map of Biomass companies, Companies in the Biomass sector, OpenEI, [online]. 2019 [cit. 24.07.2021]. Dostupné z: https://openei.org/wiki/List_of_Companies_in_Biomass_Sector
- [57] Database – Eurostat. European Commission, Eurostat, 2021, [online]. [cit. 29.07.2021]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>
- [58] Independent Statistics & Analysis, U.S. Energy Information Administration, [online]. 2021 [cit. 29.07.2021]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/>
- [59] Virgin Atlantic Uses Biojet Fuel Blend in 747 Test Flight; Babassu and Coconut Oil as Feedstocks, Green Car Congress, [online]. Únor 2008 [cit. 29.07.2021]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2008/02/virgin-atlantic.html>
- [60] Úřad pro civilní letectví, MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, LETECKÝ PŘEDPIS L 6 PROVOZ LETADEL ČÁST I, [online]. 35/2012-220-SP/2 [cit. 29.07.2021]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [61] Forskrift om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter (produktforskriften), Lovdata.cz, § 3-4a, [online]. [cit. 29.07.2021]. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-922/KAPITTEL_5#%C2%A73-4a
- [62] PERRY, Dominic, CFM launches open rotor demonstrator, promising 20% better fuel burn for mid-2030s applications, Flightglobal, [online]. Červen 2021 [cit. 06.08.2021]. Dostupné z: <https://www.flightglobal.com/engines/cfm-launches-open-rotor-demonstrator-promising-20-better-fuel-burn-for-mid-2030s-applications/144141.article>
- [63] SIEBER, Joerg, MTU's Technology Roadmap Towards Emission Free Flying, MTU Aero Engines, BBA – Berlin-Brandenburg Aerospace Allianz e.V. – BBA, [online]. Září 2019 [cit. 01.08.2021]. Dostupné

- z: https://www.bbaa.de/fileadmin/user_upload/02-preis/02-02-preistraeger/newsletter-2019/02-2019-09/08_MTU_Sieber.pdf
- [64] U.S. energy facts explained – consumption and production - U.S. Energy Information Administration, EIA, [online]. 2021 [cit. 01.08.2021]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>
- [65] Sustainable aviation fuels, BRIEFING, European Parliament, [online]. 2020 [cit. 01.08.2021]. Dostupné z: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/659361/EPRS_BRI\(2020\)659361_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/659361/EPRS_BRI(2020)659361_EN.pdf)
- [66] IATA Sustainable Aviation Fuel Roadmap, International Air Transport Association, [online]. 2015 [cit. 01.08.2021]. Dostupné z: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/safr-1-2015.pdf>
- [67] The leading edge: Aviation: Benefits Beyond Borders. Aviation: Benefits Beyond Borders, [online]. [cit. 01.08.2021]. Dostupné z: <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/sustainable-aviation-fuel/the-leading-edge/>
- [68] Alternative Fuel Use at Airports, GFAAF – Aviation Fuel Maps, ICAO Environment. ICAO, [online]. [cit. 01.08.2021]. Dostupné z: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Maps.aspx>
- [69] Evropská komise chce zdanit letecká paliva – EURACTIV.cz. EURACTIV [online]. 2021 [cit. 30.08.2021]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/doprava/news/evropska-komise-chce-zdanit-letecka-paliva/>
- [70] Úřad pro civilní letectví, Hlava 4, 4-7, AIM | Air Navigation Services of the CR [online]. 2021 [cit. 30.08.2021]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/e1-10.pdf
- [71] Sklenářová, Kateřina, Fuel management, Provoz a ekonomika letecké dopravy, 2018
- [72] McGurty, Janet, JetBlue Airways stitches sustainability into its growth strategy, S&P Global Platts, [online]. 2021 [cit. 28.08.2021]. Dostupné z: <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/agriculture/072721-jetblue-airways-stitches-sustainability-into-its-growth-strategy>
- [73] Squadrin, Giulia, NWE HVO, SAF at records on feedstocks prices, demand, Argus Media [online]. Červen 2021 [cit. 28.08.2021]. Dostupné z: <https://www.argusmedia.com/en/news/2220328-nwe-hvo-saf-at-records-on->

- [feedstocks-prices-demand?fbclid=IwAR0IEKjUIWG9Va6Fz-q143vq3sB3aVKFSRFQ6Ymt95blpR0iCvUHRqsHxmq](https://view.argusmedia.com/rs/584-BUW-606/images/Argus%20Jet%20Fuel%20Report%20-%20Sept182020.pdf?fbclid=IwAR31pjRd-WIPiYBfhTbIMBFWFNXUQ0FQVCs3S4b4Hk2IBZ2DHWn2-oBC94M)
- [74] Argus Media group, Argus Jet Fuel, Argus Media, [online]. Zář 2020 [cit. 28.08.2021]. Dostupné z: <https://view.argusmedia.com/rs/584-BUW-606/images/Argus%20Jet%20Fuel%20Report%20-%20Sept182020.pdf?fbclid=IwAR31pjRd-WIPiYBfhTbIMBFWFNXUQ0FQVCs3S4b4Hk2IBZ2DHWn2-oBC94M>
- [75] Jet Fuel Price Monitor, IATA, [online]. 2021 [cit. 28.08.2021]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/publications/economics/fuel-monitor/>
- [76] SkyVector: Flight Planning, Aeronautical Charts, SkyVector, [online]. 2021 [cit. 28.08.2021]. Dostupné z: <https://skyvector.com/>
- [77] Global energy-related CO2 emissions, 1990-2020, IEA – International Energy Agency, [online]. 2021 [cit. 28.08.2021]. Dostupné z: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-1990-2020>
- [78] Biodiesel–Clean, Green Diesel Fuel, Great Fleet Fuel Gaining Popularity Rapidly, Biofuels for sustainable transportation, Alternative fuel data center, U.S. Department of Energy, [online]. 2005 [cit. 28.08.2021]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/files/pdfs/30882.pdf>
- [79] SUSTAINABLE AVIATION FUELS ROAD-MAP, Fueling the future of UK aviation, Sustainableaviation.co.uk, [online]. 2020 [cit. 02.09.2021]. Dostupné z: https://www.sustainableaviation.co.uk/wp-content/uploads/2020/02/SustainableAviation_FuelReport_20200231.pdf
- [80] ATA Economics' Chart of the Week, 10 September 2021, www.iata.com, [online]. 2021 [cit. 10.10.2021]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/u.s.-domestic-air-travel-market-20-years-after-911/>
- [81] Statista, www.statista.com, [online]. 2021 [cit. 10.10.2021]. Dostupné z: <https://www.statista.com/markets/419/topic/490/aviation/#definition>
- [82] Mark Brown, Aviation biofuel from integrated woody biomass in southern Australia: Biofuel from integrated woody biomass, www.researchgate.net, [online]. 2021 [cit. 10.10.2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/303851794_Aviation_biofuel_from_integrated_woody_biomass_in_southern_Australia_Biofuel_from_integrated_woody_biomass/figures?lo=1

10 Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 UHB pohonný systém.....	13
Obrázek 2 Architektura otevřeného rotoru	15
Obrázek 3 Hybridně elektrické paralelní zapojení	17
Obrázek 4 Hybridně elektrické sériové zapojení	17
Obrázek 5 Turboelektrická pohonná jednotka	19
Obrázek 6 Elektrická pohonná jednotka.....	19
Obrázek 7 Funkce palivového článku	23
Obrázek 8 Časová predikce implementace alternativních paliv do letecké dopravy od společnosti MTU	26
Obrázek 9 Termochemický proces.....	30
Obrázek 10 Schéma procesu přeměny energie na kapalinu s cyklem přímého zachycení CO ₂	34
Obrázek 11 Schéma procesu přeměny energie na kapalinu s cyklem využití CO ₂ z biomasy	34
Obrázek 12 Schéma procesu přeměny energie na kapalinu s cyklem využití CO ₂ z průmyslových zdrojů	34
Obrázek 13 Letadlo poháněné udržitelným palivem.....	37
Obrázek 14 Proces dodavatelského řetězce.....	40
Obrázek 15 Zdroje biomasy	41
Obrázek 17 Letiště se zavedeným systémem tankování udržitelného paliva	50
Obrázek 20 Trasa letu	59
Obrázek 21 Mezinárodní letový plán letu z Luton, Londýn, Velká Británie – Arlanda, Stockholm, Švédsko	60
Obrázek 22 Trasa dlouhého letu z Mnichova do New Yorku	63

11 Seznam grafů

Graf 1 Spotřeba energie získaná z obnovitelných zdrojů v USA	42
Graf 2 Spotřeba energie v USA v roce 2020	43
Graf 3 Spotřeba energie získaná z obnovitelných zdrojů v roce 2019	43
Graf 4 Spotřeba energie získaná z biomasy, odpadu, dřeva/uhlí	44
Graf 5 Společnosti podílející se na výrobě udržitelného paliva do letectví.....	47
Graf 6 Zdroje pro výrobu udržitelného leteckého paliva	47
Graf 7 Letadla využívající udržitelná letecká paliva	49
Graf 8 Vzdálenosti letů absolvovaných s udržitelnými leteckými palivy	49
Graf 9 Vývoj cen udržitelného leteckého paliva	56
Graf 10 Cena udržitelného leteckého paliva	57
Graf 11 Vývoj cen leteckého paliva Jet-A.....	58
Graf 12 Emise CO2	67
Graf 13 Predikce vývoje emisí CO2 do roku 2050.....	67
Graf 14 Porovnání cen paliv na krátkém a dlouhém letu	72

12 Seznam tabulek

Tabulka 1 Tabulka probíhajících projektů UHB společností globálně	14
Tabulka 2 Tabulka aktuálních projektů s architekturami otevřeného motoru	16
Tabulka 3 Tabulka aktuálně běžících hybridně elektrické projektů	18
Tabulka 4 Aktuální projekty s elektrickým pohonem.....	20
Tabulka 5 Aktuálně probíhající projekty s vodíkovým pohonem a palivovými články	23
Tabulka 6 Seznam OEM společností prodávající SAF	48
Tabulka 7 Letiště se zavedeným palivovým systémem na SAF	50
Tabulka 8 Fixní a Variabilní náklady na let.....	52
Tabulka 9 Náklady na palivo Jet-A.....	61
Tabulka 10 Náklady na palivo směsi Jet-A a 3 % SAF	62
Tabulka 11 Náklady na palivo směsi Jet-A a 5 % SAF.....	62
Tabulka 12 Cena 100% Jet-A paliva a SAF na dlouhém letu	64
Tabulka 13 Cena směsi 97 % Jet-A a 3 % SAF paliva na dlouhém letu	64
Tabulka 14 Cena směsi 95% Jet-A a 5 % SAF paliva na dlouhém letu	65
Tabulka 15 Výpočet emisí CO2 na krátkodobý let.....	65
Tabulka 16 Výpočet emisí CO2 na dlouhodobý let.....	66

13 Seznam rovnic

Rovnice 1 Elektrická účinnost hybridně elektrického motoru v paralelním uspořádání	16
Rovnice 2 Štěpení vodního roztoku na kyslík a vodík	35