



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

Proveditelnost SAF provozu v podmínkách českého business aviation

Applicability of the SAF Operation in Czech Business Aviation

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Vedoucí práce: doc. Ing. Peter Vittek, Ph.D.

Bc. Eliška Makovcová

Praha 2023



K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Eliška Makovcová

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterské – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Proveditelnost SAF provozu v podmínkách českého business aviation**

Název tématu (anglicky): Applicability of the SAF Operation in Czech Business Aviation

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je stanovit základní principy pro tvorbu tankovacích strategií vzhledem k Sustainable Aviation Fuel (SAF), definovat a otestovat dvě základní strategie plnění.
- Provedte rešerši v oblasti SAF se zaměřením se na business aviation.
- Popište principy použití SAF a procesů rozhodování o tankování letadel v business aviation.
- Vytvořte metodiku pro provedení dvou základních strategií tankování v síti letecké společnosti.
- Podle metodiky provedte analýzu dvou základních strategií tankování SAF.
- Srovnajte výsledky obou strategií tankování, diskutujte je a proveďte závěr.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího závěrečné práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: EBAA: European business aviation vision for SAF, Priority, Industry data, Yearbook
ACI: Integration of SAF into the air transport system
EU: Fit for 55

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Peter Vittek, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **15. července 2022**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2023**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Eliška Makovcová
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 16. května 2023



Abstrakt

Tato diplomová práce se věnuje používání Sustainable Aviation Fuel v oblasti českého business aviation. V současné době je nejen v oblasti letectví a dopravy kladen vysoký důraz na zmírňování ekologického dopadu a ochranu životního prostředí. Jedním z prostředků z prostředků, který lze použít pro snížení negativního environmentálního dopadu, je mimo jiné také zařazení letů na Sustainable Aviation Fuel, což je palivo, které podle některých zdrojů může díky svému životnímu cyklu znatelně snížit množství vyprodukovaného CO₂. Užívání tohoto paliva má však několik nedostatků, jako je především jeho nízká dostupnost a vysoká cena. Tato práce si dává za cíl poskytnout finančně a operačně realistické strategie pro implementaci letů na SAF v české business aviation společnosti, což by mělo vést ke zmírnění negativního dopadu na životní prostředí.

Klíčová slova: SAF, business aviation, životní prostředí, palivo, tankování.



Abstract

Sustainability is without question the hot topic not just in the aviation sector, as air traffic is involved in air pollution and global warming, and its carbon dioxide emissions have been heavily increasing since aviation existed. One of the key objectives of this paper is to introduce Sustainable Aviation Fuel in the context of business aviation and provide results on what could be achieved by implementing SAF flights to the operations of the Czech business aviation company. This document should also answer how SAF could help to achieve better both environmental and economic results and tries to elaborate on this trending topic in today's world, focusing on environmental protection. The paper provides fundamental analysis and recommendations that could help SAF achieve in business aviation.

Keywords: SAF, business aviation, environment, fuel, fueling.



Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu práce doc. Ing. Peteru Vittekovi, Ph.D. za veškerý jeho čas, který věnoval společným konzultacím. Jeho odborný vhled a pomoc byly velkou pomocí, kterou bych tímto ráda ocenila. Děkuji také za odborný vhled Ing. Michalu Freigangovi a Ing. Marcele Růžičkové.

Děkuji také svým blízkým, kteří mi byli oporou a po dobu studia mě podporovali. Speciální dík za nekonečnou víru v dokončení této práce a celého studia patří Ondřeji Kuncovi a Michalu Kolomazníkovi.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Proveditelnost SAF provozu v podmínkách českého business aviation vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

Nemám závažný důvod proti užití 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 27. listopadu 2023

.....

Podpis



Obsah

Úvod	12
1 Současný stav udržitelnosti v business aviation	15
1.1 Vliv letecké dopravy na životní prostředí	17
1.2 Charakteristika leteckých paliv a jejich porovnání	18
1.3 Systémy pro kompenzaci uhlíkové stopy	27
1.3.1 Programy a legislativní opatření na evropské úrovni	28
1.3.2 Programy celosvětové úrovně	29
1.3.3 Česká legislativa	30
1.4 Monitorování a vykazování emisí leteckými dopravci	31
1.5 Business aviation a jeho provozní a environmentální specifika	32
2 Metodika	39
2.1 Síť provozovatele	39
2.1.1 Konektivita	41
2.2 Tankování	45
2.3 Postup výpočtu potřebného paliva a jeho složek pro jednotlivé úseky	48
2.4 Postup výpočtů specifických pro model 1	50
2.5 Postup výpočtů specifických pro model 2	52
2.6 Postup pro výpočet vyprodukovaných emisí	54
2.7 Postup pro výpočet nákladů na palivo	55
2.8 Postup pro výpočet nákladů na emise	55
3 Analýza výsledků	56
3.1 Model 1	56
3.1.1 Náklady na palivo	59
3.1.2 Emise	59
3.1.3 Ekonomický dopad při aplikaci modelu	60
3.2 Model 2	60
3.2.1 Náklady na palivo	62
3.2.2 Emise	62
3.2.3 Ekonomický dopad při aplikaci modelu	63
4 Diskuse	64
Závěr	70
Použité zdroje	72



Seznam obrázků

Obrázek 1: Nástroje pro přechod na uhlíkově neutrální provoz dle IATA [7]	16
Obrázek 2: Schéma pro výrobu a distribuci JET A-1 [13].....	19
Obrázek 3: Schéma pro výrobu a distribuci SAF	21
Obrázek 4: Porovnání životního cyklu paliv [22]	22
Obrázek 5: Schéma certifikace paliv se složkou SAF [22].....	23
Obrázek 6: Přehled schválených procesů výroby SAF [24]	24
Obrázek 7: ICAO mapa dostupnosti paliv SAF [31]	27
Obrázek 8: TOP 10 letišť pro Business Aviation [49].....	40
Obrázek 9: Přímá konektivita [52].....	41
Obrázek 10: Vážená přímá konektivita [52].....	42
Obrázek 11: Síť provozu generována programem Gephi	43
Obrázek 12: Síť provozovatele	44
Obrázek 13: Síť dopravce v centrální Evropě.....	44
Obrázek 14: Princip rozhodování pro model 1	51
Obrázek 15: Princip rozhodování pro model 2	53



Seznam grafů

Graf 1: Porovnání emisí z letů business jety a komerčními letadly [6]	15
Graf 2: Porovnání znečištění soukromých a komerčních letadel [6]	33
Graf 3: Vývoj v ceně za emisní povolenku dle statistika [58]	59



Seznam tabulek

Tabulka 1: Kategorie business aviation	35
Tabulka 2: Rozdělení letounů business aviation.....	37
Tabulka 3: Nejčastěji obsluhované destinace provozovatelem.....	45
Tabulka 4: Obdržená data v neupraveném formátu	49
Tabulka 5: Tabulka se spočtenými hodnotami	56
Tabulka 6: Výpočty paliva pro prvních 5 letů, model 1	57
Tabulka 7: Rozpočítání složek paliva pro prvních 5 letů.....	57
Tabulka 8: Výsledky modelu 1	58
Tabulka 9: Výpočty paliva pro prvních 5 letů, model 2	61
Tabulka 10: Výsledky modelu 2.....	62



Seznam symbolů a zkratek

AOC	Air Operator Certificate, Osvědčení leteckého provozovatele
APU	Auxiliary Power Unit, Pomocná motorová jednotka
ASTM	American Society for Testing and Materials
CO ₂	Oxid uhličitý
CIS	Commonwealth of Independent States
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
ČR	Česká republika
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs
EBAA	The European Business Aviation Association, Evropská asociace business aviation
EASA	European Aviation Safety Agency, Agentura EU pro bezpečnost letectví
EDDF	Frankfurt Airport
EDDM	Munich Airport
EHAM	Amsterdam Airport Schiphol
EHP	Evropský hospodářský prostor
EU	Evropská unie
EU EST	EU Emissions Trading System
EUR	Euro
GHG	Greenhouse Gases, skleníkové plyny
H ₂	vodík
ICAO	International Civil Aviation Organisation, Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, Mezivládní panel pro změnu klimatu
ITA	Italia Trasporto Aereo
LEPA	Palma de Mallorca Airport
LFMN	Côte d'Azur Airport
LFPB	Paris – Le Bourget Airport
LKPR	Letiště Václava Havla Praha
LSZH	Zurich Airport
NO _x	oxidy dusíku
PAX	pasážéři
RTK	Revenue Tonne Kilometre
SAF	Sustainable Aviation Fuel
SO _x	oxidy síry
USD	americký dolar
UTC	Coordinated Universal Time
VFR	Visual Flight Rules, let za viditelnosti
VPD	Vzletová a přistávací dráha





Úvod

Letecká doprava se podílí na změně klimatu nezanedbatelnou mírou a snaha o dekarbonizaci v této oblasti je náročnou výzvou. Podle výzkumu Environmental Research Letters z roku 2021 se letecká doprava podílí na oteplování planety způsobeným člověkem čtyřmi procenty [1]. Co se týče produkce CO₂, odvětví letecké dopravy podle International Air Transport Association vytváří přibližně 2 % z celkového množství oxidu uhličitého uvolněného do ovzduší, což bylo pro rok 2019 asi 915 milionu tun CO₂ s vyhlídkou zvýšení až o 340 % do roku 2050, pakliže nebudou nastaveny nové mechanismy [2]. V době eskalující environmentální krize letecká doprava přichází s novinkami v oblasti technologií, které se začínají postupně zavádět pro snížení dopadu leteckého provozu na životní prostředí. Vedle zefektivnění provozu, či zlepšení technických vlastností letounů a leteckých motorů, se letecký průmysl zaměřuje na nová, ekologická paliva. Právě snížení množství CO₂ a dalších skleníkových plynů v atmosféře patří k hlavním cílům, které by měly nově zavedené technologie přinést. V oblasti letecké dopravy se jako hlavní z řešení nabízí užívání alternativních paliv, přičemž nejdostupnějším alternativním palivem je právě Sustainable Aviation Fuel (SAF). SAF je druh leteckého paliva, které je definováno jako obnovitelné a podle IATA [3] by se jeho užíváním mohla snížit produkce CO₂ leteckou dopravou až o 80 %.

Podle ICAO je SAF ve srovnání s dalšími novinkami v oblasti leteckých paliv považováno za palivo, které má nejlepší potenciál snížit produkci CO₂ [4]. Právě International Civil Aviation Organisation, letečtí dopravci, letiště i další organizace působící v oblasti civilního letectví, se aktivně zabývají možnostmi výroby, využitím a distribucí paliva SAF. Létání na palivo SAF však přináší i jistá úskalí, kterými jsou především vysoké ceny těchto paliv. Vysoké ceny paliva SAF jsou důvodem nízké poptávky, která souvisí s tím, že toto palivo se vyrábí v pouze malém množství. Ačkoliv produkce SAF i jeho distribuce rostou, klasická fosilní paliva jsou stále nejlevnějšími a nejvíce dostupnými pohonnými hmotami pro tankování letadel. V dnešní době, kdy obzvláště sílí snaha nabídnout co možná nejnižší cenu letecké přepravy, je nákup výrazně dražšího paliva SAF pro naprostou většinu leteckých dopravců ekonomicky nevýhodný a tedy nezajímavý. Na druhé straně se zavádí stále přísnější environmentální regulace na mezinárodních i národních úrovních, které mají za důsledek, že společnosti produkující velké objemy oxidu uhličitého, jsou povinni za toto znečištění platit. Vynaložené prostředky jsou poté investovány jakožto tzv. offsets do nových technologií či obnovy poškozených ekosystémů. Tento náklad je nezanedbatelný, a i tato skutečnost motivuje společnosti k nalezení způsobů, jak tyto environmentální náklady snížit, a to například investicí do ekologicky šetrnější flotily, nebo třeba nákupem paliva SAF.



Palivo SAF je certifikováno dle mezinárodních standardů pro použití ve všech současných leteckých motorech, které fungují na palivo JET A-1. To znamená, že není nutné zavádět novou infrastrukturu, či nakupovat nová letadla. Další výhodou SAF je možnost jeho sloučení s některými běžnými fosilními palivy založenými na bázi ropy. Vytvoření směsi paliva SAF s běžnými fosilními palivy je nutné, neboť 100% SAF díky nižší mazivosti v tuto chvíli do letounů plnit nezle. Letečtí giganti, jako je americký Boeing či evropský konkurent Airbus, se o výzkum v oblasti SAF aktivně zajímají. Airbus například prohlásil, že veškerá jím vyrobená letadla a helikoptéry mohou létat na až 50% směs SAF a do roku 2030 plánují dosáhnout možnosti plnit do všech jím vyrobených letadel 100% SAF [5], tedy bez nutného smíšení s běžnými fosilními palivy. Některé průkopnické společnosti palivo SAF již používají. Airbus uvádí, že se na palivo SAF obsloužilo už více než 450 000 komerčních letů od roku 2011 (datum k říjnu 2022) [5].

Tento trend je použitelnou variantou pro řešení environmentální krize a může nabídnout značné snížení CO₂ vyprodukovaného leteckou dopravou bez vysokých nároků na změnu infrastruktury a technických vlastností pohonných jednotek současných letadel.

Specifickou oblastí letecké dopravy, která je dlouhodobě kritizována právě pro značný dopad na životní prostředí, je business aviation. Vytvořená uhlíková stopa za jeden let je u pasažérů cestujících v soukromých letadlech několikanásobně vyšší nežli u cestujícího letícím běžnou komerční pravidelnou linkou a jedná se tak o ekologicky nejméně šetrný způsob dopravy. Tlak na regulace v oblasti business aviation je stále vyšší a využití SAF v této oblasti by přineslo výrazné snížení dopadu na znečišťování ovzduší. Regulace EU za účelem dosažení lepších environmentálních výsledků, jako je například zavedená nutnost nákupu emisních povolenek, do jisté míry omezují tyto dopravce. Právě plnění SAF, a tedy nižší objem vyprodukovaného oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů, by leteckým společnostem v oblasti business aviation umožnilo při stejném náletu vyprodukovat značně nižší množství CO₂, a tedy nalétat více hodin (resp. prodat více letů). Tento fakt by za jistých podmínek mohl business aviation společnostem přinést lepší ekonomické výsledky, a také prestižní postavení na trhu. Tato práce se soustředí na detaily v oblasti výroby, distribuce a principy pro použití SAF v oblasti business aviation a nabízí dva modely pro zavedení strategií plnění palivem SAF v české business aviation společnosti.

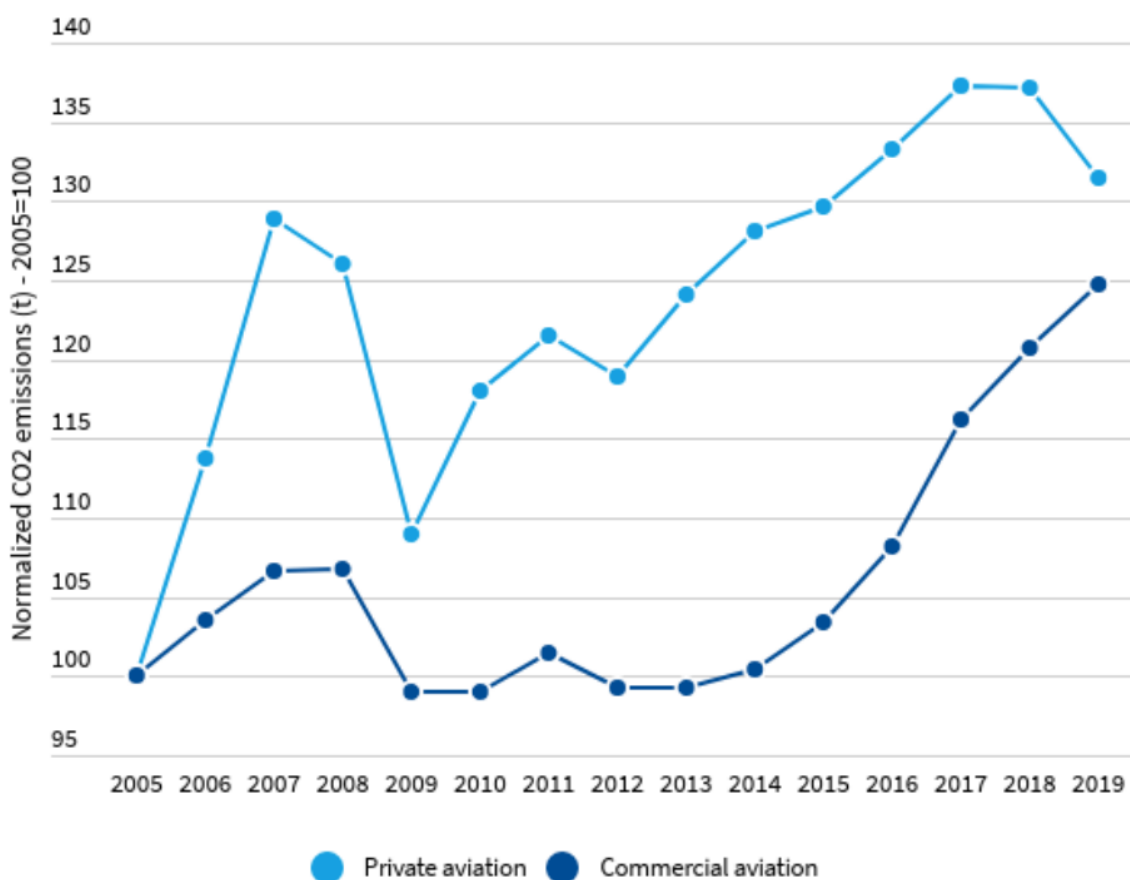
Toto téma se autorka rozhodla zpracovat vzhledem ke svému několikaletému působení ve společnostech business aviation. Vztah k tomuto oboru a osobní zájem o nové technologie v oblasti letecké dopravy a udržitelnosti daly vzniknout myšlence ohledně vytvoření této práce. Cílem autorky je akcentovat negativní dopad business aviation a upozornit na skutečnost, že dnes již existuje několik vhodných



možností, jak tento dopad zmirňovat, ačkoliv business aviation operátoři se o tyto technologie jen zřídka zajímají.

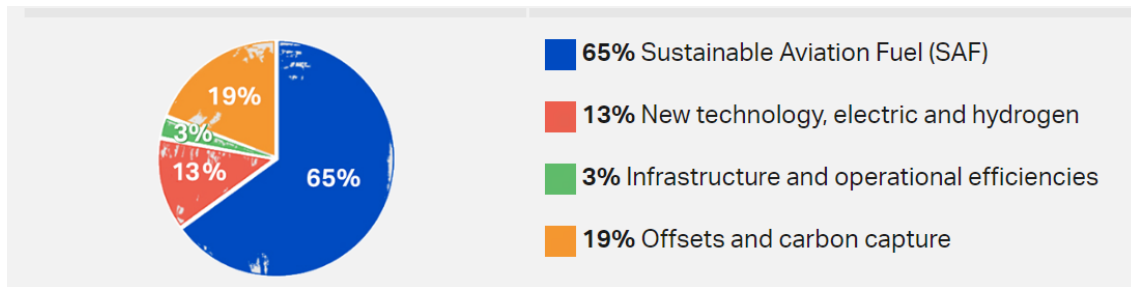
1. Současný stav udržitelnosti v business aviation

Oblast business aviation má na životní prostředí velmi negativní dopad, a i proto je kritizované mnoha experty. Častým argumentem bývá, že pakliže by mělo dojít k omezování leteckého provozu, jsou to právě uživatelé business jetů, kdo by měl jako prvním převzít zodpovědnost a investovat do používání paliv SAF či jiným způsobem kompenzovat tuto enormní zátěž na životní prostředí. Ačkoliv debaty na toto téma existují, aktuálně se na business aviation lety vztahují pouze stejné povinnosti jako na jakékoliv větší producenty CO₂. Jak je patrné z grafu č. 1, emise CO₂ z business aviation se zvyšují rychleji nežli u letů běžných dopravců [6].



Graf 1: Porovnání emisí z letů business jety a komerčními letadly [6]

Existuje několik možností, kterými může být tento negativní environmentální dopad snížen. Vedle jiných metod, jako je například vylepšování technologií, či zlepšování infrastruktury, je právě SAF klíčovým prvkem na cestě za uhlíkovou neutralitou v leteckém provozu. Podle IATA se na tom bude podílet dokonce 65 %, viz obrázek č. 1 [7].



Obrázek 1: Nástroje pro přechod na uhlíkově neutrální provoz dle IATA [7]

Implementace letů na SAF je však náročná a ve většině případů i ekonomicky nevýhodná, jelikož toto palivo je několikanásobně dražší nežli fosilní letecká paliva. I přesto je zavedení letů na SAF v tuto chvíli hlavním dostupným nástrojem pro kompenzaci uhlíkové stopy společností. To, že operátor snižuje svou uhlíkovou stopu, je některými cestujícími považováno za pozitivní a toto kritérium zvažují při výběru operátora pro své cestování. Tato technologie je ověřená a certifikovaná pro provoz, zároveň se nejen v Evropě začínají vyskytovat poskytovatelé těchto paliv a dostupnost se zvyšuje. V této oblasti je také nutno zaměřit se na emisní povolenky EU ETS, které jsou poskytovatele letů při překročení produkce 10 000 tun CO₂ za rok povinni nakupovat. I díky tomuto nákladu na kompenzaci CO₂ se SAF stává zajímavou možností, která by při vhodném plánování a implementaci mohla být nástrojem pro snížení negativního dopadu na životní prostředí, snížení nákladů na emise a budování dobrého jména společnosti.

Specifikem business aviation je skutečnost, že klientela v tomto odvětví velmi často preferuje lety prostornými a většími letouny i na tratích, které by bez problému mohly být obslouženy letouny „very light jets“ (viz tabulku č. 2), které disponují nižší spotřebou paliva. V rámci Evropy jsou na velmi krátké lety trvající kolem 1-2 hodin mnohdy nasazovány letouny, které spadají do kategorie vhodné pro obsluhu středních i dálkových letů. Možné regulace či obchodní strategie v této oblasti by také mohly zapříčinit, že společnost nabízením menších a šetrnějších letounů může dosáhnout lepších environmentálních výsledků. Cestující business aviation však mnohdy preferují pohodlí nad ekologickou šetrností a při výběru letu objednávají konkrétní typ letadla, nejen službu přepravy z bodu A do bodu B. Cena za let se právě odvíjí od požadovaného typu.



1.1 Vliv letecké dopravy na životní prostředí

Aktuálně využívaná letadla na přepravu osob a zboží pracují s pohonnými jednotkami, které lze označit jako spalovací motory. Ať už se jedná o motory turbovtulové či proudové, které se užívají u dopravních letadel nejčastěji, fungují pohonné jednotky na bázi spalování leteckého paliva, přeměňují tedy chemickou energii na mechanickou. Spalování paliva v motoru však nikdy není dokonalé a vznikají při něm emise, které z motoru vystupují a unikají tak do atmosféry. Dokonalé spalování je v praxi však neproveditelné. To má za důsledek, že kvůli spalování paliva do atmosféry vstupují látky, které mají negativní dopad na životní prostředí, způsobují znečištění ovzduší a oteplování atmosféry Země. Konkrétně se jedná o látky, jako jsou částice NO_x , SO_x , uhlovodíky či pevné částice, tedy saze. Souhrnně se tyto látky označují jako aerosoly a společně s kondenzačními stopami neboli contrails mají negativní vliv na atmosféru [8].

Výše zmíněné oxidy dusíku, oxidy síry či oxid uhličitý a vodní páru označujeme jako takzvané skleníkové plyny. Skleníkové plyny v atmosféře zabraňují tomu, aby záření odcházelo mimo atmosféru, a tak s rostoucím objemem skleníkových plynů v atmosféře dochází k nahromadění energie z tohoto záření, a tedy k oteplování atmosféry Země.

Oxid uhličitý tvoří největší procento skleníkových plynů vyprodukovaných leteckou dopravou, a i kvůli dobré měřitelnosti se stal první látkou, která je při vysoké produkci zpoplatněna. Výška, ve které jsou emise vypouštěny, má také vliv na míru dopadu těchto látek na životní prostředí. A právě proto nelze vliv letectví v této sféře přímo srovnávat například s automobilovou dopravou, která se také zakládá na spalování paliv na bázi ropy. Emise vypuštěné v běžné cestovní výšce dopravních letadel, tedy kolem 10 km, mají také vliv na poškození ozónové vrstvy, a to značně vyšší nežli emise z pozemní dopravy, jelikož emise vypuštěné ve vyšší výšce se v atmosféře udrží déle. Tyto emise se také podílí na tvorbě oblačnosti [8, 9].

I přesto, že oblačnost má vliv na udržení energie ze záření v atmosféře, jevy s ní spojené jsou však velmi těžko měřitelné a odhadnutelné především proto, že se oblačnost netvoří na Zemi všude stejně. Vliv oblačnosti je tedy potřeba sledovat a odhadovat v lokálním měřítku, jelikož tento efekt závisí na zeměpisné šířce. Oblačnost má vliv na odrazivost záření těles a taktéž zachytává záření v atmosféře [9, 10].

Mezi další vyprodukované látky, které vznikají spalováním paliva v motoru, patří vodní pára. Kondenzační stopy, neboli contrails, vznikají smísením horkých a vlhkých výfukových plynů z motorů s okolním vzduchem, který má nižší teplotu než právě tyto vystupující látky. Jedním z vlivů contrails



na atmosféru je tzv. změna radiační bilance [9]. Ta vzniká především přetrvávajícími kondenzačními stopami, které jsou charakterizovány tím, že v atmosféře zůstávají delší dobu. Ta však není přesně definovaná, lze ale říci, že čas delší než jedna minuta, je statisticky neobvyklý. Tyto kondenzační stopy mohou díky specifickým procesům souvisejícími s tvorbou nových krystalových zárodků rozrůst až do šíře stovek metrů. Právě takto vytvořená oblačnost velmi široká především v horizontální rovině má znatelný vliv na změnu odrazivosti atmosféry, a tedy i tvorbu skleníkového efektu. Ten je způsoben tím, že vlnová délka slunečního (krátkovlnného, ultrafialového) záření se liší od vlnové délky, vyzářenou Zemí (dlouhovlnné, infračervené). Rozdíl těchto vlnových délek je přibližně desetinásobný a lze říci, že právě tento rozdíl ve vlastnostech záření způsobuje, že se při průchodu atmosférou chovají odlišně [9]. Látky emitované do atmosféry, jako jsou vodní pára, oxid uhličitý anebo takto vytvořená oblačnost, propouští krátkovlnné sluneční záření, ale naopak brání podle reportu IPCC vyzářování delších vlnových délek ven z atmosféry [11]. Právě narušení rovnováhy mezi zářením přijatým a zářením, které z atmosféry odchází, způsobuje, že dle zákonů termodynamiky atmosféra nemůže mít ustálenou teplotu.

Souhrnně lze tvrdit, že právě tyto procesy nejsou příznivé pro atmosféru Země, která se dlouhodobě otepluje, což způsobuje mnoho problémů. Již v roce 2018 na Mezivládním panelu pro změnu klimatu bylo řečeno, že od dob průmyslové revoluce se teplota atmosféry zvýšila až o 1,2 °C [11]. Pakliže se oteplování nezastaví, může dojít například ke klimatické migraci, jelikož nyní obydlená místa planety budou pro život již nepoužitelná. Ohrožení biodiverzity, tání ledovců či sucha, jsou další důsledky globálního oteplování. Právě výrazná redukce v užívání fosilních paliv a přechod na obnovitelné zdroje jsou jednou z cest, která může výrazně zpomalit oteplování atmosféry, a které se věnuje poslední report IPCC [12].

Díky pozorování takovýchto negativních změn EU i další instituce apelují na producenty skleníkových plynů a zavádí systémy pro dekarbonizaci, do kterých se producenti včetně leteckých společností musí zapojit. Takovými systémy se podrobně věnuje kapitola 1.3.

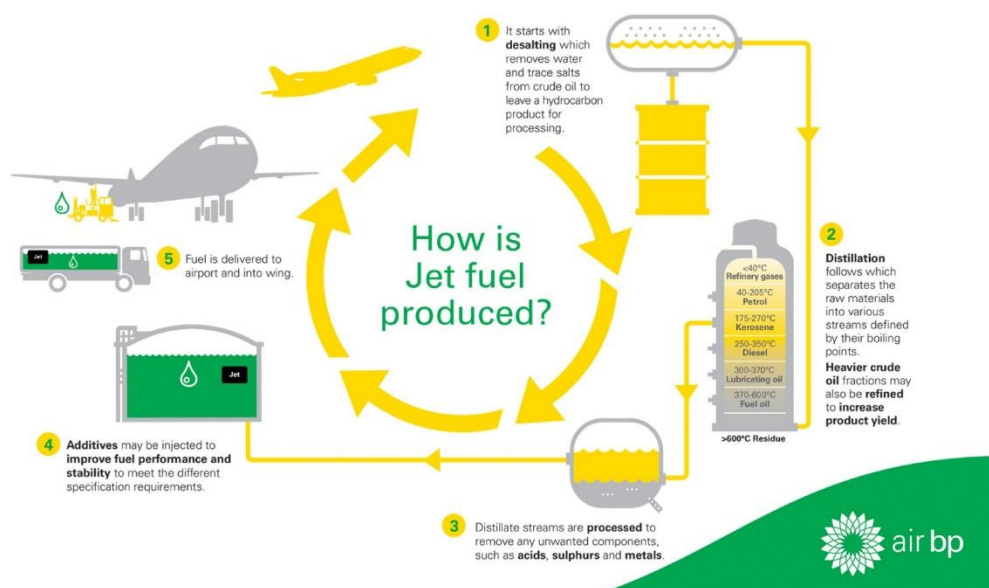
1.2 Charakteristika leteckých paliv a jejich porovnání

Nejčastěji používané letecké palivo s označením JET A-1, neboli letecký petrolej JET A-1, se získává destilací surové ropy v rafinériích. Letecká paliva představují podle Air BP přibližně 6 % celkové světové produkce paliv pocházejících z ropných rafinérií [13].

Těžba ropy, ze které se JET A-1 vyrábí, probíhá několika možnými způsoby, nejčastějším je těžba pomocí hlubinných vrtů. V tomto případě ovlivňuje těžba životní prostředí několika způsoby. Ovzduší je znečišťováno emisemi, které vznikají při hloubení vrtů, a také při dopravě ropy, která je nejčastěji

realizovaná autocisternami. Ložiska ropy se často také nachází daleko od místa spotřeby, pro tyto případy se ropa přepravuje ropovody či tankery. Především způsoby přepravy pomocí tankerů se podílí na zvyšování množství CO_2 v atmosféře [14].

Výroba leteckého paliva JET A-1 z ropy je kombinací několika procesů. První destilací se odstraní ze surové ropy voda a soli. Další destilace oddělí jednotlivé složky na základě jejich rozdílných teplot varů. Z nich se poté odstraňují nežádoucí složky, jako jsou kyseliny, síry a stopy kovů. Složky destilace se poté selektivně mísí a po přidání aditiv, která se přidávají za účelem zlepšení vlastností produktu, vzniká tento typ leteckého paliva. Hotové palivo se poté dováží na letiště, kde je připraveno pro plnění do letadel [13]. Celé schéma popisující cyklus výroby a distribuce je patrný z obrázku č. 2.



Obrázek 2: Schéma pro výrobu a distribuci JET A-1 [13]

Celý tento proces je technologicky velmi náročný a má negativní dopad na životní prostředí. V roce 2018 se podle Australian Institute of Petroleum ropné rafinerie podílely 4 % na celosvětové produkci CO_2 , což lze přepočítat na 1,3 Gt tohoto skleníkového plynu [15]. Dalším významným problémem je také skutečnost, že ropa není k dispozici v nekonečném množství a jednoho dne bude vyčerpána. Přesná hodnota je v tomto případě neznámá, jelikož není jisté, kolik ropy na Zemi zbývá a objevování nových zdrojů závisí na investicích těžebních společností, které své finance musí do objevování těchto zdrojů investovat. Energetický gigant Air BP ve své zprávě Statistical Review of World Energy z roku 2019 (ve vydání z roku 2021 není tato informace k dispozici) uvedl, že aktuálně známé zásoby ropy by při zachování současné míry produkce vydržely pouze následujících 50 let [16].



Při použití SAF se však na procesu spalování nic neliší. Proces je taktéž nedokonalý, pohonné jednotky pracují naprosto stejně jako při spalování běžného JET A-1 a do ovzduší taktéž uniká CO₂, ačkoliv v porovnání s běžnými konvenčními palivy se podle některých zdrojů jedná až o 50-70 % méně částic [17]. Důvodem, proč při použití paliva SAF vzniká méně skleníkových plynů je fakt, že na rozdíl od leteckého paliva JET A-1, které se vyrábí z ropy, je SAF vyroben z udržitelných surovin. Jako finální výrobek je však SAF složením prakticky totožný, jako palivo JET A-1. Právě proto lze SAF užívat bez nutnosti úpravy leteckých motorů či infrastruktury pro dodávky paliva. Rozdíl mezi JET A-1 a SAF je tedy v životním cyklu paliv. Typickými surovinami pro výrobu SAF není ropa, jejíž množství je omezené a výroba zátěžová pro životní prostředí, ale na příklad použitý olej na vaření, či jiné zbytkové tuky. Dalším zdrojem může být komunální odpad z domácností i firem. V tomto případě se jedná o použité obaly, papír, textilie či zbytky potravin, které při běžném procesu končí na skládkách nebo ve spalovnách odpadu. Lze tedy říci, že místo ekologicky náročné likvidace odpadu se tyto zdroje využijí pro pohon letadel. Dále se jedná o odpad ze dřevozpracujícího průmyslu, rychle rostoucí rostliny nenáročné na údržbu či mořské řasy. Celé schéma životního cyklu paliva vyrobeného z odpadu či zbytkových olejů je dostupné na obrázku č. 3.

Vedle výroby z odpadních materiálů existují i jiné možnosti výroby. Mezi ně patří výroba SAF z CO₂, který se zachytí v atmosféře. V tomto případě myšlenka výroby pracuje s faktem, že vyprodukované CO₂ při spalování paliva se opět z atmosféry získá a bude využito k výrobě paliva nového. Například americká společnost Air Company, která se touto podobou výroby SAF zabývá, tvrdí, že by se takto z oxidu uhličitého mohl stát nekonečný zdroj pro výrobu paliv. Za použitím její technologie AIRMADE, která imituje proces fotosyntézy, je vedlejším produktem při takovéto výrobě SAF pouze kyslík [18]. Ačkoliv tato technologie je funkční a výroba již probíhá, je velmi nákladná a nelze ji v tuto chvíli provádět ve velkém množství. Technologie výroby s nejlepšími výsledky, co se množství vyemitovaného CO₂ týče, je princip „power-to-liquid“. Ten zahrnuje využití elektrolýzy a ekologické energie za účelem výroby vodíku. Ten se posléze smísí s CO₂ zachyceným ze vzduchu a vzniká tak palivo. Tímto způsobem lze emise snížit až o 100 % [19].

How is sustainable aviation fuel made?



Obrázek 3: Schéma pro výrobu a distribuci SAF

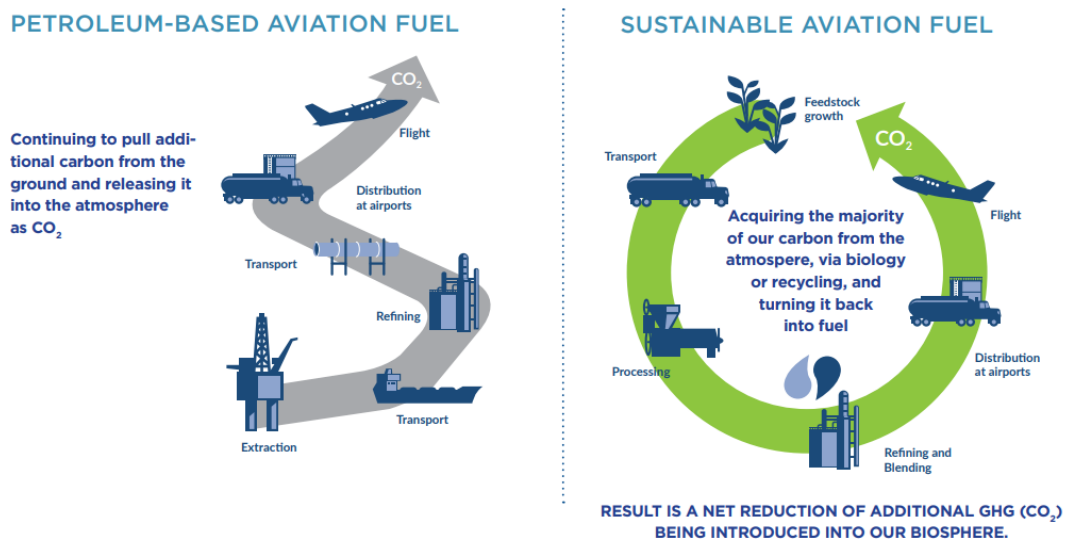
Je zřejmé, že stejně jako ostatní paliva používaná v oblasti letecké dopravy, musí i SAF splňovat vlastnosti, které umožní jeho použití a také mísitelnost s běžnými palivy. Především kvůli dálkovým letům musí paliva obecně disponovat vysokou energetickou hodnotou na jednotku objemu. Dále palivo musí mít vysokou vznětovou teplotu. To je teplota, při jejímž překročení se výpar paliva vznítí. Veškeré tyto vlastnosti zaručují bezpečné používání a kvalitu těchto pohonných hmot. Kvůli velmi nízkým teplotám v cestovních hladinách musí mít palivo nízký bod mrazu. Vysoká tepelná stabilita zabraňuje chemické narušení paliva v plynové turbíně a zabraňuje ucpání palivového potrubí. Důležitou vlastností paliva, kterou je v oblasti SAF nutno zmínit, je mazivost. Právě tato vlastnost je klíčová pro pochopení nutnosti mísení SAF s běžnými fosilními palivy. Dostatečná mazivost je nezbytná pro bezporuchový chod palivových pump a ve 100% SAF hodnoty mazivosti nedosahují optimálních hodnot. Právě proto je potřeba SAF místit s JET A-1. Poslední nezbytností je dostatečný obsah aromatických látek, který má zabránit úniku paliva v palivovém systému. Aromatické látky totiž reagují s elastickými těsněními v palivových systémech, která jsou vyrobena z materiálů podobných gumě. Aby tato těsnění byla účinná, musí být mírně nafouknutá, což právě zajistí reakce s aromatickými látkami v palivu. Tato reakce zabraňuje případným únikům paliva a palivový systém je tak bezpečný [20].

Sustainable Aviation Fuel je termín, který je schválen organizací ICAO (Mezinárodní organizace pro civilní letectví) a je to pojem širší, nežli „biopaliva“. SAF lze totiž kromě přírodních materiálů vyrábět také například z odpadu, či zbytkových plynů na bázi uhlíku. Paliva nesoucí označení SAF musí tedy splnit jistá kritéria, aby se mohla považovat za udržitelná. ICAO tyto kritéria shrnuje do následujících bodů:

- SAF musí být schopno zajistit ekologickou rovnováhu. To znamená, že výrobou těchto paliv nemůže dojít k vyčerpání přírodních zdrojů. Dále výroba SAF nemůže vyžadovat zabránění půdy pro pěstování potravin a nesmí vyžadovat odlesňování. I spotřeba vody, jež je nutná pro cyklus výroby, je limitována. SAF se nesmí podílet na změně klimatu a během životního cyklu musí dosáhnout nulových emisí skleníkových plynů [21].
- SAF by mělo splňovat technické požadavky a certifikace pro to, aby se mohlo používat ve směsi s klasickými fosilními leteckými palivy v používaných leteckých motorech [21].
- Směs SAF lze definovat jako směs běžných leteckých paliva jako je JET A-1 s palivem SAF [21].

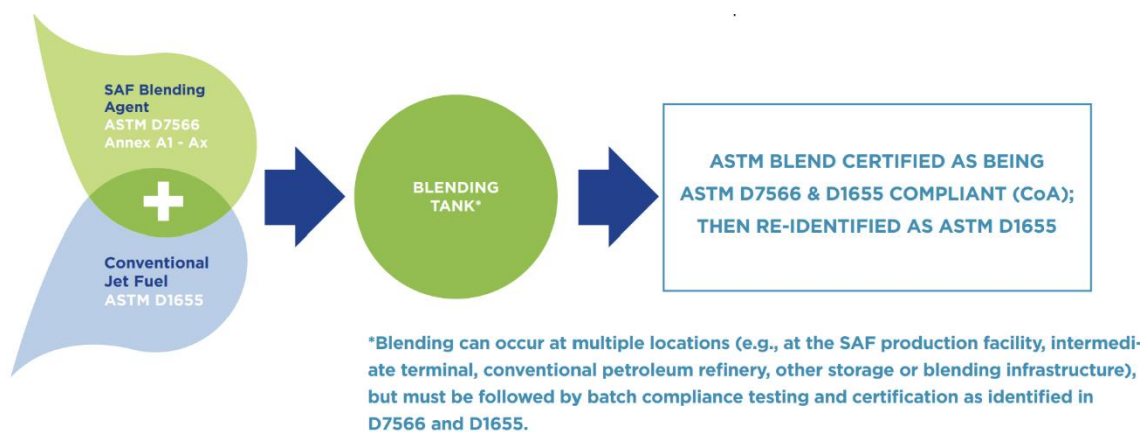
Surovin pro výrobu SAF je mnoho, například rostliny, použitý olej na vaření, cukry, či odpad ze zemědělství či dřevozpracujícího průmyslu, odpadní plyny z elektráren či komunální odpad. Suroviny, ze kterých lze vyrobit SAF se neustále rozrůstají o další možnosti díky mnoha projektům a společnostem, které se touto problematikou alternativních leteckých paliv zabývají [22].

Emise skleníkových plynů během životního cyklu SAF musí být tedy nižší v porovnání s běžnými leteckými palivy. Některé suroviny, ze kterých se SAF vyrábí, jsou schopny absorbovat téměř stejné množství oxidu uhličitého, jako je emitováno při spalování v leteckých motorech. Jedná se o některé druhy mořských řas či suchozemských rostlin. Porovnání cyklu fosilních paliv a SAF je patrné z obrázku č. 4.



Obrázek 4: Porovnání životního cyklu paliv [22]

V současné době určuje požadavky pro výrobu leteckých paliv standard ASTM, neboli standard American Society for Testing and Materials [23]. Tato organizace vytváří normy pro produkty, materiály, systémy i služby a řídí se jimi výrobci. Pakliže společnost dostane pro vyráběný produkt osvědčení ASTM, je takovýto výrobek považován za dostatečně kvalitní. Současně se celosvětově využívá přes 12 000 ASTM standardů, které mají zaručit kvalitu dílčích produktů a dodat spotřebitelům důvěru v tyto produkty a služby [23]. Právě na základě principu standardizace lze zajistit, že palivo SAF může být tankováno do existujících motorů. Ačkoliv paliva JET A a JET A-1 podléhají standardu ASTM D1655, 100% SAF se certifikuje dle ASTM D7566. Každé palivo, které je možno bezpečně a efektivně použít v existující infrastruktuře, musí být označeno právě jako ASTM D1655 [24]. K získání standardu ASTM D1655 je tedy nutné SAF smísit s JET A-1, jak je vyobrazeno na obrázku č. 5. Tento princip mísení pro obdržení standardu D1655 je důvodem, proč není v dnešní době možné do současných leteckých motorů tankovat 100% SAF a lety na čistý SAF jsou ve fázi testování. Při zachování těchto standardů mísení pak v praxi není potřeba jakákoliv změna v označování paliv, např. tedy směs paliva JET A-1 s některým z typů SAF může být naplněna do letadla označeného štítkem pouze s JET A-1. Pro obdržení ASTM D1655 je možné, aby zastoupení SAF ve směsi bylo maximálně 50 %. Let na tuto směs také nevyžaduje žádné změny v postupech posádky ani ve způsobech uchovávání paliva [22]. Na základě tohoto principu mísitelnosti je SAF vhodnou náhradou fosilních paliv, která nevyžaduje tvorbu nové infrastruktury či striktní oddělení letounů či postupů, které v současnosti počítají s palivem JET A-1.



Obrázek 5: Schéma certifikace paliv se složkou SAF [22]

Tento výše zmíněný standard v současnosti (k říjnu roku 2022) umožňuje osm možných procesů výroby alternativních paliv. Nejčastěji se SAF vyrábí z biomasy, mořských řas, zemědělského odpadu, rostlinných či živočišných tuků a z CO₂ zachyceného z atmosféry. Přehled schválených procesů jsou klasifikovány na základě typu surovin, ze kterých se vyrábí, jak je možno vyčíst z obrázku č. 6.

SAF je nyní rozvíjející se téma, avšak certifikované k používání je již několik let. V porovnání s fosilním JET A-1 je jeho využití vzácné, především kvůli vysoké ceně. I přesto jsou však někteří dopravci motivováni k nákupu tohoto paliva a již obsluhují vybrané linky na palivo SAF. Pro letecké společnosti je v dnešní době „zelených trendů“ marketingově výhodné prezentovat zájem o SAF a tím se také zviditelnit v oblasti environmentální odpovědnosti. Nejvýznamnějšími motivy pro nahrazení běžných fosilních paliv palivem SAF jsou ekonomická udržitelnost, a tedy dosažení stability v cenách paliv, udržitelnost ve smyslu ochrany životního prostředí a snaha o zajištění rozmanitosti v oblasti zdrojů energie.

ASTM certified SAF production pathways.

ASTM Reference	Production Pathway	Approved On	Feedstocks Used	Permissible Blending Ratio by Volume	Commercialization Projects/Proposals
ASTM D7566-Annex 1	FT	September 2009	Carbon-based biomass	50%	Fulcrum Bioenergy, Red Rock Biofuels, SG Preston, Kaidi, Sasol, Shell, Syntroleum
ASTM D7566-Annex 2	HEFA	June 2011	Oil-based feedstock	50%	World Energy, Honeywell UOP, Neste Oil, Dynamic Fuels, EERC
ASTM D7566-Annex 3	SIP	June 2014	Lignocellulosic biomass	10%	Amyris, Total
ASTM D7566-Annex 4	FT-SKA	November 2015	Carbon based biomass	50%	Sasol
ASTM D7566-Annex 5	Alcohol (Isobutanol) to Jet	April 2016	Alcohol or sugar-based feedstock	50%	Gevo, Cobalt, Honeywell UOP, Lanzatech, Swedish Biofuels, Byogy
	Alcohol (Ethanol) to Jet	April 2018			
ASTM D7566-Annex 6	CH	February 2020	Algae, waste oil, oil plant	50%	Applied Research Associates (ARA)
ASTM D7566-Annex 7	HC-HEFA	May 2020	Algae	10%	IHI Corporation
ASTM D1655-Annex A1	FOG Co-processing	April 2018	Oil based feedstock	5%	
ASTM D1655-Annex A1	FT Co-processing	May 2020	Carbon based biomass	5%	Fulcrum

CH: Catalytic Hydrothermolysis, FOG Co-processing: Fats, Oils, and Grease Co-processing, FT: Fischer-Tropsch Synthesis, FT Co-Processing: Fischer-Tropsch Co-processing, FT-SKA: Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosine with Aromatics, HEFA: Hydrotreated Ester and Fatty Acids, HC-HEFA: Hydrocarbon-Hydroprocessed Esters and Fatty Acids, SIP: Synthesized *iso*-paraffinic.

Obrázek 6: Přehled schválených procesů výroby SAF [24]

Vazba mezi cenou leteckých pohonných hmot a cenou ropy je naprosto zásadní. Dokud bude dominantní pohonnou hmotou palivo vyráběné z ropy, právě cena této suroviny bude určovat i cenu leteckých paliv. Již několikrát v historii letecká doprava čelila zásadním výzvám právě kvůli výkyvům v cenách ropy. Nejvýznamnějším byl rok 2008, kdy cena za barel ropy vyšplhala na 140 USD, což poprvé v historii vedlo k tomu, že náklady leteckých společností na pohonné hmoty převýšily jejich náklady na pracovní sílu [20]. I kvůli podobným výkyvům v cenách ropy začaly energetické společnosti investovat do zařízení, která vyrábí syntetická paliva z přírodních plynů, tedy metodou Fischer-Tropsch (F-T), nebo do výroby paliv z rostlinných olejů. Motivace týkající se zajištění ekonomické udržitelnosti, se jeví jako klíčová pro velké společnosti. Pakliže však bude hlavním zdrojem vyčerpatelná ropa, cena za tuto surovinu nemůže být nikdy stabilní, což dělá SAF z tohoto pohledu velmi vhodnou náhradou.

Co se týče zájmu o rozmanitost zdrojů pro pohonné hmoty, lze zde uvažovat pohonné hmoty jako celek, jelikož bez výjimky lze zdroje pro výrobu alternativních leteckých paliv použít také pro pohonné hmoty pro pozemní přepravu. Podobně lze také zdroje, jako je například biomasa, využít jako zdroj pro výrobu



elektřiny či tepla. Pro paliva určená k pohonu prostředků pro pozemní provoz je dostačující nižší energetická hustota (pozn.: množství energie na jednotku objemu), a proto zde existuje odlišný trend, a to nahradit tyto pohony elektrickými motory. Dle ICAO je právě elektrifikace letecké dopravy dalším způsobem pro dosažení environmentálních cílů, přichází však s mnohými výzvami. Kapacita baterií, které by byly vhodné pro užití v leteckém sektoru, jsou prozatím použitelná pouze pro malá letadla všeobecného letectví. Pro dopravní letadla jsou elektrobaterie díky nízké energetické hustotě nevhodnou variantou. Vedle tohoto problému by s elektrifikací letecké dopravy souvisela nutnost zavedení naprosto nové infrastruktury, která by zajišťovala adekvátní dostupnost na letištích [25]. I přes tyto nedostatky je elektrifikace letecké dopravy předmětem mnoha výzkumů i závazků. Například Norsko se zavázalo, že do roku 2040 budou všechny vnitrostátní lety elektrifikované [26].

EASA zmiňuje, že výstavba nové infrastruktury by byla překážkou právě i u použití vodíku jakožto pohonu pro letecké motory. I vodík má nižší energetickou hustotu než běžné pohonné hmoty. V praxi to znamená, že pro obsluhu totožného letu je nutné naplnit větší objem H_2 nežli paliv JET A-1 či SAF. Existující palivové nádrže by umožnily pouze velmi krátké lety a nádrže v křídlech by byly naprosto nedostačující pro uskladnění vodíku ať už v plynné, tak v tekuté formě. Existuje však mnoho programů, jako například Clean Aviation Partnership či Clean Hydrogen Initiative, které se touto možností i přes zmíněná úskalí zabývají [27].

Nahrazení klasických leteckých paliv vyráběných z ropy palivou SAF se tedy v tuto chvíli jeví jako ideální varianta pro snížení negativního dopadu letecké dopravy na životní prostředí. Přejít na SAF nevytváří nutnost velice nákladného a zdlouhavého zavedení nové infrastruktury pro rozvod paliva, a to díky jeho mísitelnosti s aktuálně využívanými leteckými pohonnými hmotami. Obecně lze tvrdit, že veškerá letadla certifikovaná na použití paliv JET A a JET A-1, která podléhají standardu ATSM D7566, mohou létat i na směs obsahující paliva SAF nesoucí označení ATSM D1655.

Užívání SAF však přináší mnoho úskalí, která spočívají v první řadě v zajištění faktu, že toto palivo je možno označit za udržitelné. Právě zjištění toho, o kolik v konečném důsledku let na SAF bude méně zátěžový pro životní prostředí než let na JET A-1, je velmi obtížné. Přísná kritéria, dle kterých je SAF posuzován, zahrnují zhodnocení způsobu výroby či zpracování zdrojů. Další kritéria se vztahují i k posuzování přepravy surovin či paliva SAF ve finální verzi. Pokud je v procesu výroby zahrnuta biomasa, analýza udržitelnosti by měla brát v potaz také změnu v užitku půdy, která je důsledkem pěstování dané suroviny. Zhodnocení zkoumá i spotřebu vody. Pakliže je pro růst biomasy potřeba CO_2 , pak by systém měl brát v potaz, o jaký zdroj CO_2 se v konkrétním cyklu jedná. Například některé druhy mořských řas, které mohou být k výrobě SAF využívány, potřebují ke svému kvalitnímu růstu koncentrovaný CO_2 , což je CO_2 vystupující jako odpadní látka například z uhelných elektráren. K růstu



takových řas nelze využít CO₂ z přirozeného cyklu planety Země, který probíhá v rámci běžného cyklu oxidu uhličitého v atmosféře. Analýzy vlivu výroby a použití SAF na především kvalitu vzduchu se tedy velmi liší, jelikož není nastaven přesný systém, na základě kterého by posudky byly zpracovávány. Například biopaliva se označují takzvaným „Biomass Credit“, který reprezentuje množství CO₂, které je sebráno z atmosféry právě pro růst potřebné biomasy, ze které se palivo vyrábí [20].

Vzhledem k tomu, že cyklus výroby a použití SAF mnohdy zahrnuje i přepravu paliv, je nutné zmínit, že právě i doprava paliv na letiště by měla být zajištěna opět „zelenou“ cestou. Taková doprava může být zajištěna například nákladními vozidly či cisternami, které využívají vodíkového či elektrického pohonu. Lze tedy říci, že každý typ SAF ponese jiný „carbon index“ nebo „sustainable index“ v závislosti na použitém zdroji pro výrobu, technologii výroby a typu přepravy. ICAO definuje tento index jako poměr vyprodukovaných gramů CO₂ na jednotku energie, tedy gCO₂/MJ [28]. V případě plnění směsí JET A-1 a SAF koncový uživatel definuje celkové snížení produkce plynů GHG právě na základě specifik životního cyklu obnovitelné složky v konečné směsi paliva. Ta se u jednotlivých paliv SAF liší a je nutné ji zjistit od poskytovatele konkrétního paliva, nejčastěji právě ve formě „carbon index“.

Při aktuální světové spotřebě leteckých paliv je okamžitá náhrada paliv vyráběných z ropy nemožná díky nedostatečné výrobě SAF. Dle U.S. Department of Energy byla roční spotřeba leteckého paliva za rok 2019 přibližně 106 mld. galonů s projekcí růstu na 230 mld. do roku 2050 [29]. V porovnání s tím bylo za rok 2022 vyrobeno asi 2,1 milionů galonů SAF [30]. Je tedy nereálné uvažovat, že typ paliv SAF dovedl v blízké budoucnosti obsloužit veškerý letový provoz. Je nutné zaměřit se na rozmanitost výrobních procesů a výrobu všech typů maximalizovat pro pokrytí co největší části provozu. V tomto případě také platí, že čím menší množství paliv SAF je k dispozici, tím více cena za toto palivo roste. Právě tato vlastnost je demotivující pro většinu provozovatelů letecké dopravy. Při rozšíření leteckých paliv SAF jejich cena klesne a pro významné množství operátorů by mohlo tankování těmito palivy přinést význam i v rovině ekonomické. Tendence ve výrobě značí, že paliva SAF bude každoročně přibývat. IATA odhaduje, že do roku 2030 by se mělo ročně vyrobit až 676 milionů galonů [30].

Aktuálně (říjen 2023) je možné plnit SAF pouze v omezeném počtu evropských destinací, a to buď na principu objednávky požadovaného množství se závazkem dlouhodobého odběru, anebo na základě objednávky jednorázového odběru vytvořené těsně před provedením letu. Druhá možnost však v destinacích s nestálou dostupností nemůže zaručit, že SAF bude v dané destinaci v potřebný čas k dispozici. Dostupnost tohoto paliva na letištích se stálou dostupností je řízena především poptávkou velkých společností, které se zavázaly k pravidelnému odběru. Například díky závazku společnosti Lufthansa Group je palivo dostupné v Německém Frankfurtu (EDDF) či Mnichově (EDDM). V průběhu

tvorby této práce však evropských destinací nabízejících SAF přibylo, ať už se jedná o destinace s nepřetržitou dostupností SAF (červená) nebo o destinace s možností občasně dostupnosti (oranžová), které je možné vidět na obrázku č.7.



Obrázek 7: ICAO mapa dostupnosti paliv SAF [31]

1.3 Systémy pro kompenzaci uhlíkové stopy

V dnešní době se provozovatelé v oblasti letecké dopravy společně s dalšími sektory podnikání řadí mezi producenty skleníkových plynů. Co se týče letecké dopravy, lety business jety jsou, co se spotřeby paliva týče, nejméně efektivním prostředkem dopravy [6]. Tato pozice se v rámci dekarbonizace dalších typů dopravy bude ještě více upevňovat. Při dnešní tendenci zkvalitňovat čistotu ovzduší a zabránit negativním vlivům působícím na atmosféru Země v důsledku produkce skleníkových plynů, vznikají organizace a programy, které stanovují pravidla pro tyto producenty a definují střednědobé a dlouhodobé cíle, jejichž splnění má vést ke zlepšení environmentální situace.

V dnešní době existuje několik fungujících programů, do kterých mají současní operátoři povinnost se zapojit. V jiných programech je účast prozatím dobrovolná. Pro evropské producenty CO₂ nejen v oblasti letecké dopravy, je závazný evropský systém EU Emissions Trading System (EU ETS). Další mechanismus, který je však vytvořen čistě pro oblast letecké dopravy, se nazývá Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA). Pravidla evropského EU ETS platí pro všechny lety, které odlétají či přilétají do Evropského hospodářského prostoru. Program CORSIA je



globální iniciativou ICAO a zaměřuje se na mezinárodní lety mezi členskými státy ICAO, které nepokrývá právě EU ETS. Tyto mechanismy se tedy vzájemně doplňují tak, aby pokryly co největší množství letů. Zatímco EU ETS je pro všechny operátory závazný, CORISA je od roku 2021 v pilotní fázi a operátoři se do něj mohou zapojit dobrovolně. Od roku 2027 však bude zapojení se do tohoto programu povinné pro všechny státy ICAO. Aktuálně však platí, že pokud by tedy dopravce provozoval lety výhradně mimo Evropský hospodářský systém, nemusí platit na takovýchto letech za emisní povolenky, avšak nezaniká s tím jeho povinnost monitorovat a hlásit vyprodukované emise. V případě operátora, který poskytl data pro tvorbu této práce, je hlavní oblastí působení právě EHP. Detailnější popis nejdůležitějších programů a systému je rozveden v následujících podkapitolách.

1.3.1 Programy a legislativní opatření na evropské úrovni

Mezi nejznámější iniciativy na úrovni Evropské unie patří tzv. Green Deal a Fit for 55. Green Deal cílí spíše na dlouhodobější cíle a jeho hlavním cílem je dosažení uhlíkové neutrality do roku 2050 [32]. Druhá zmíněná iniciativa poskytuje legislativní nástroje ve střednědobém horizontu. Hlavní myšlenkou Fit for 55 je snížit do roku 2030 emise skleníkových plynů alespoň na polovinu ve srovnání s rokem 1990. Jakožto hlavní nástroj pro tento cíl definuje a upravuje pravidla a postupy pro provozovatele právě EU ETS neboli EU Emissions Trading System [33].

Systém obchodování s emisními povolenkami vytvořený na úrovni EU má být hlavním prostředkem pro docílení poklesu vyprodukovaného CO₂ a dalších skleníkových plynů. Podle Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES ze dne 13. října 2003 o vytvoření systému pro obchodování s povolenkami se pojmem povolenka rozumí „povolení vypouštět jednu tunu ekvivalentu oxidu uhličitého po specifikované období, přičemž toto povolení je platné pouze pro účely splnění požadavků této směrnice a je převoditelné v souladu s ustanoveními této směrnice“ [34].

V České republice tento program upravuje Zákon o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů [35]. Ministerstvo životního prostředí připodobňuje emisní povolenku a její fungování k cennému papíru. Jak již bylo zmíněno v definici vyňaté ze směrnice 2003/87/ES, emisní povolenky dávají jejich majiteli oprávnění k vypuštění jedné tuny oxidu uhličitého do atmosféry. Ti největší znečišťovatelé, kteří překročí limit 10 000 tun CO₂ vypuštěného za rok, musí emisní povolenky nakupovat. Celý systém je nastaven tak, že celkové množství emisních povolenek je jasně dáno a každý rok se snižuje, což zároveň zvyšuje jejich cenu. To má docílit výsledku, že producenti budou motivováni k investicím do bezemisních alternativ, aby se vyhnuli nákupu stále se zdražujících povolenek. Výnosy za povolenky náleží státu, který je pak vynaloží na podporu projektů v oblasti ekologie. Jednou



z možností investic do bezemisních paliv jsou v případě leteckých provozovatelů také biopaliva či SAF [35, 36].

Vzhledem k tomu, že počet, respektive cena emisních povolenek pro následující roky se každoročně mění, je pro letecké operátory velmi obtížné stanovit do budoucna vhodnou metodu a taktiku pro finanční plánování. Server Trading Economics [37] sledující vývoj v cenách emisních povolenek uvádí, že mezi lety 2019 a současným stavem (březen 2023) se cena zvýšila přibližně z 20 na 100 EUR za jednu povolenku. Vliv na cenu povolenek bude mít několik faktorů včetně politických rozhodnutí členských států, technologického pokroku a ekonomické kondice jednotlivých států. Je však v tuto chvíli jasné, že náklady na provoz letecké dopravy budou stoupat právě i kvůli zvyšující se ceně emisních povolenek.

1.3.2 Programy celosvětové úrovně

V oblasti mezinárodní letecké dopravy je nutné zmínit iniciativu CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), kterou vytvořila Mezinárodní organizace civilního letectví ICAO. Podle ICAO tento program cílí na dosažení uhlíkové neutrality. CORSIA pracuje s celkovým množstvím vyprodukovaného oxidu uhličitého za rok 2020, které v následujících letech nemá být překročeno. Pakliže se toto množství překročí v některém z následujících let, aerolinky budou muset kompenzovat právě nadbytek z definovaného množství z roku 2020. Do budoucna se plánuje integrace programu CORSIA pod záštitu EU ETS, což by znamenalo, že veškeré lety přilétající či odlétající z/do EHP, budou také podléhat požadavkům programu CORSIA [38]. Program CORSIA funguje na základě spolupráce s leteckými operátory, kteří jsou v první řadě povinni monitorovat a reportovat vyprodukované emise z mezinárodních letů na základě jednoho z pěti definovaných systémů pro monitorování spotřeby paliva. Členské státy ICAO se domluvily na implementaci CORSIA v několika fázích, a to:

1. Pilotní fáze (2021-2023), která je nepovinná
2. První fáze (2024-2026), která je nepovinná
3. Druhá fáze (2027-2035), která je povinná pro členské státy ICAO

Účast ve fázi pilotní a první je dobrovolná, avšak od roku 2027 bude participace v programu CORSIA povinná pro všechny členy ICAO s několika výjimkami. Míra zapojení konkrétního provozovatele do programu bude definována na základě dat RTK (Revenue Tonne Kilometer), což je jednotka sloužící pro měření tržby provozovatele za převoz jedné tuny PAX nebo nákladu na trase jednoho kilometru. RTK bude použito pro výpočty a monitorování včetně nastavení hodnoty vyprodukovaných emisí v roce 2020, která slouží jako zásadní hranice pro spravedlivé kompenzování emisí [38].



Vedle legislativního rámce, který je závazným, existují také další iniciativy leteckých subjektů, které mohou operátory motivovat k šetrnějšímu přístupu k životnímu prostředí. Podobně jako u hlukových omezení některá letiště zvyhodňují lety, které operují na SAF anebo jsou operovány moderními a šetrnějšími letouny. Například některá švédská letiště snižují výši přistávacích poplatků pro lety operující na SAF [39]. Podobné systémy podporující ekologičtější provoz existují také na letišti v Singapuru či kalifornském Los Angeles.

1.3.3 Česká legislativa

Pro české operátory je nutné řídit se zákonem č. 383/2012 Sb., tedy zákonem o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů, který reflektuje pravidla EU ETS [35]. „*Tento zákon zpracovává do národní sbírky zákonů příslušný předpis EU a zároveň navazuje na přímo použitelné předpisy Evropské unie a v souladu s Rámcovou úmluvou Organizace spojených národů o změně klimatu a Pařížskou dohodou.* [35]“ Tento zákon je závazný pro operátory s provozní licencí vydanou v ČR, kteří provozují obchodní leteckou dopravu za úplatu v oblastech přepravy cestujících, nákladu nebo pošty.

Emise způsobené letectvím jsou charakterizovány jako emise z letadel vzniklé při následujících činnostech v oblasti letectví: „*lety letadel, která odlétají z letiště umístěného na území Evropského hospodářského prostoru, nebo která na takové letiště přilétají* [35]“. Pro jisté typy operací je v zákoně definováno několik výjimek: „*Výjimkou jsou však lety vykonané za účelem přepravy vládnoucího panovníka a jeho rodiny, vojenské lety, pátrací a záchranné lety, protipožární lety, humanitární lety, lety letecké záchranné služby, lety VFR, lety končící na letišti, z kterého letadlo vzlétlo, během nichž nedošlo k mezipřistání, cvičné lety, lety za účelem vědeckého výzkumu, či lety vykonané letadly o MTOW nižší než 5700 kg* [35].“ Důležitým bodem v zákoně je informace, že: „*výjimku mají také lety, které jsou vykonávané provozovatelem obchodní letecké dopravy, který buď tři po sobě jdoucí čtyřměsíční období uskuteční méně než 243 letů za čtyřměsíční období, nebo uskuteční lety s celkovou roční produkcí emisí nižší než 10 000 tun/rok* [35].“ Díky tomuto bodu je z povinnosti kompenzovat své emise pomocí EU ETS vyňato velké množství menších provozovatelů včetně některých business aviation operátorů. Se záminkou vyhnout se těmto nákladům na emise společnosti mnohdy kalkulují a cíleně tuto hranici nepřekračují. Při překročení hranice 10 000 tun operátor nemusí zaplatit pouze emise za přebytek této hodnoty, avšak veškeré vykompenzované emise.

Provozovatel je povinen vykazovat množství emisí v souladu se schváleným postupem zjišťování a vykazování, který stanovuje předpis EU. Návrh na tento postup pak schvaluje u provozovatelů letecké dopravy právě ministerstvo dopravy. Emisní povolenky, roční emisní přiděly a jiná práva k vypouštění



emisí jsou majetkem České republiky, avšak hospodaří s nimi ministerstvo. Česká republika je však zavázána dle předpisu EU ke každoročnímu snižování emisí skleníkových plynů. V oblasti dohledu nad plněním povinností a dodržováním těchto závazků figuruje i Česká národní banka.

Česká republika tedy jakožto člen Evropské unie do státní legislativy implementuje nařízení EU o vytvoření systému EU ETS v podobě zákona č. 383/2012 Sb.

1.4 Monitorování a vykazování emisí leteckými dopravci

Provozovatel obchodní letecké dopravy je povinen vykazovat množství emisí pomocí několika identifikačních prvků, jako jsou název provozovatele, poznávací značky letadel, typ a počet letů, název zařízení produkujícího emise, spotřeba paliva, emisní faktor, celkové agregované emise ze všech letů vykonaných během období, za které se zpráva podává, míra nejistoty a emisní faktor, jenž je charakteristický pro každý druh paliva [34].

Právě zásady pro monitorování a podávání zpráv ohledně produkce emisí oxidu uhličitého upravuje příloha IV směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES [34]. Emise se monitorují dvěma možnými způsoby: pomocí výpočtů, nebo na základě měření. Výpočet je pak prováděn pomocí násobku těchto hodnot: údaje o činnosti a emisní faktor paliva.

V praxi se jako vzorec pro výpočet emitovaného CO₂ používá metodika vytvořená v rámci EU ETS, která je založena na hodnotě spotřebovaného paliva na daném letu. Tento vzorec bere v potaz několik faktorů jako jsou délka letu, typ letadla, informace ohledně hmotnosti a zatížení (počet PAX, množství nákladu atd.). Vzorec lze však zjednodušeně popsat jako součin spáleného paliva na daném letu a emisního faktoru. Spotřeba paliva je obvykle měřena v kilogramech či litrech a je dána přesnou spotřebou, kterou si zaznamenává sám dopravce. Emisní faktor je množství CO₂ emitovaného jednotkou hmotnosti či objemu spáleného paliva. Tato hodnota je založena na typu paliva. Organizace ICAO poskytuje návod pro výpočet emisního faktoru pro různé typy leteckých paliv. Pro letecký petrolej, tedy JET A-1 nebo JET A, udává nařízení komise EU č. 601/12 hodnotu 3,15 tun CO₂ na 1 tunu spáleného paliva [40].

V případě paliv SAF se hodnota však liší a nelze pracovat pouze s neměnnou hodnotou koeficientu jako u leteckého petroleje. Pro Palivo SAF se emisní faktor liší dle typu paliva a také dle jeho poměru v tankované směsi. Hodnotám a jejich určení se věnuje jak European Aviation Safety Agency (EASA), tak organizace IATA. Nemožnost určit společnou hodnotu pro všechny typy paliv SAF spočívá v rozmanitosti zdrojů, ze kterých jsou paliva vyráběna a taktéž ve specifikách pro způsoby produkce a



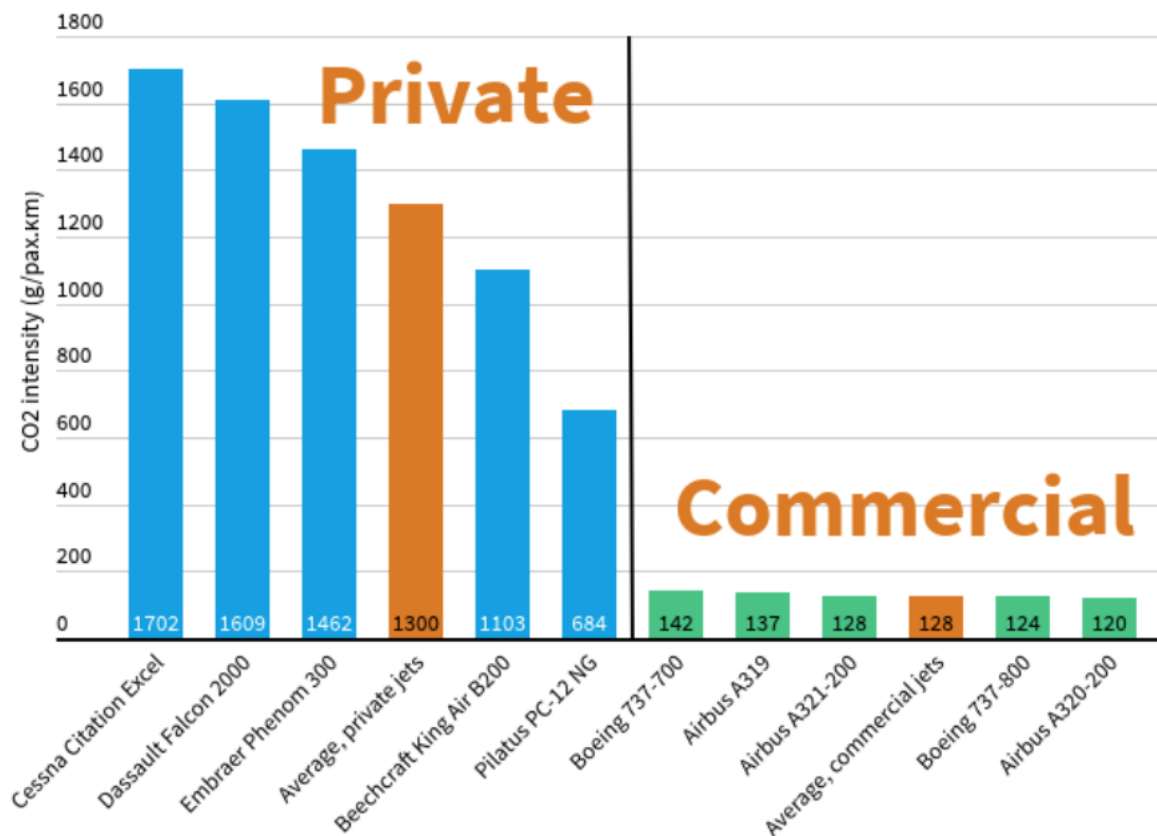
výroby. Vzhledem k tomu, že SAF se aktuálně do letadel plní pouze ve směsi s palivem JET A-1, kompetentní organizací k určení hodnoty emisního faktoru takového paliva je pak jeho výrobce, anebo dodavatel.

Vykazování a monitorování emisí je pro běžné letecké operátory a provozovatele business jetů v tuto chvíli stejná. Objevují se však názory, že na business aviation by se měly vztahovat přísnější podmínky vzhledem ke specifikům, které charakterizuje následující kapitola.

1.5 Business aviation a jeho provozní a environmentální specifika

ICAO ve svém Environmental report z roku 2019 uvádí, že business aviation produkuje 0,04 % emisí CO₂ z celkového objemu vyprodukovaného lidskými aktivitami, což činí asi 2 % z objemu CO₂ celkově vyprodukovaného leteckou dopravou [41]. Ačkoliv se tato hodnota jeví pouze jako malý zlomek, je nezbytné, aby i tato oblast letectví odpovědně přistupovala k trendu snížení zátěže na životní prostředí a vynakládala kroky k omezení negativního vlivu na zemskou atmosféru. Jak bylo zmíněno výše, právě na tuto oblast letectví je mnohdy sesílána vlna kritiky právě proto, že ji mnozí experti považují za rozmařilost cestujících, kteří musí nést odpovědnost za tento nejméně ekologický způsob přepravy. Porovnání environmentálního dopadu business aviation s provozem běžných aerolinií je znázorněno na grafu č. 2.

Běžné aerolinie se v posledních letech aktivně zabývají jejich vlivem na životní prostředí. U těchto provozovatelů, především u těch působících v Evropě, kde tento trend i díky EU a dalším organizacím dostává stále širší rozměr, si lze všimnout akcentu na ochranu životního prostředí a reflexi ohledně vypouštění CO₂ do atmosféry. Operátoři jsou navíc povinni své emise počítat a reportovat. Výsledky dopadu na životní prostředí jsou pak každoročně zveřejňovány v dokumentech, jako jsou „Sustainability Reports“ nebo „Carbon Emission Reports“. Například Lufthansa Group vydává pro tyto účely každý rok dokument, ve kterém transparentně uvádí hodnoty, jako jsou množství vyprodukovaného CO₂ i dalších emisí, spotřeba paliva na různých typech letů, strategie ohledně klimatických cílů, ušetřené CO₂ díky modernizaci flotily aj. Tyto zprávy se zveřejňují v rámci snah o transparentní řešení klimatické změny. Z dokumentace jednoznačně vyplývá, že Lufthansa Group cílí na zlepšování výsledků modernizací flotily, investicí do SAF a obnovitelných zdrojů. Podle tohoto reportu lze zjistit, že na letu s pasažéry je průměrná hodnota vyprodukovaného CO₂ na 100 osobokilometrů 10,16 kg [42]. Podobné hodnoty uvádí také International Council on Clean Transportation či další aerolinie a jedná se samozřejmě pouze o velmi hrubý odhad po zprůměrování všech typů letů různých modelů letadel [43].



Graf 2: Porovnání znečištění soukromých a komerčních letadel [6]

Na základě analýzy společnosti Transport & Environment [6] platí, že znečištění při letu business jetem je 5-14 x vyšší nežli znečištění při letu klasickým dopravním letounem. Pro tuto analýzu, jejíž výsledek je možné pozorovat na črafu č. 2, platí následující předpoklady:

- Délka letu je 500 km, což je střední hodnota vnitroeurospkých letů soukromými letadly
- Obsazení cestujících (passenger load factor) pro lety business jety byl nastaven dle výzkumu BOOZ ALLEN HAMILTON INC., jako 4,7 PAX na obsazené lety. 41 % letů jsou tzv „ferry flights“, neboli prázdné přelety bez cestujících [44].
- Obsazenost komerčních letů byla stanovena na 80 % [45].

Obecně lze říct, že business aviation je málo prozkoumaná oblast. Podle analýzy Pantelaki a A. Papatheodorou z října 2022 chybí především data a informace týkající se managementové a ekonomické perspektivy business letectví [46]. V těchto oblastech totiž pozorují autoři tohoto průzkumu nedostatky dat a odborných textů. Stejně tak lze pozorovat, že v oblastech životního prostředí je možno dohledat jen velmi těžko data ohledně provozu business aviation, ačkoliv k běžnému komerčnímu letectví



existuje velké množství výzkumů a dat. Tato skutečnost je patrně způsobena důrazem na ochranu dat a akcentem na soukromí cestujících business aviation.

Business aviation, je oblastí letecké dopravy, která se zaměřuje na vybranou skupinu klientů. Cestující business aviation od přepravy vyžadují specifika, která jim běžné komerční aerolinie nedovedou nabídnout. Letečtí dopravci poskytující tento typ přepravy disponují odlišnými flotilami, mezi než se řadí menší letadla, která však nabízí vyšší komfort a soukromí. Obecně lze říct, že letadla vykonávající lety business aviation nabízí cestujícím více prostoru, služba je vytvořena klientovi na míru, a tak je pro něj celý proces značně jednodušší a příjemnější. Přeprava business jety je znatelně nákladnější, klient se však vyhne zdoluhavým odbavovacím procesům, často se pohybuje mimo klasické budovy terminálu, a tak je mu zajištěno soukromí a speciální péče. Klient sám vybírá čas odletu a mnohdy využije možnosti přepravy z/na letiště, které běžně není obsluhováno komerčními aerolinkami. V prostředí Evropy se nejčastěji jedná o menší letiště s kratšími přistávacími a vzletovými dráhami například v oblastech Alp či na menších ostrovech ve Středomoří. Takováto menší letiště mohou být obsluhována letadly se specifickými výkonnostními vlastnostmi, jakými velká dopravní letadla nedisponují. Zájemci o lety business jety si nejčastěji pronajímají celé letadlo za smluvenou částku. Počet cestujících, kteří na let nastoupí, není klíčovým pro naceňování letů. V porovnání se stejným letem na palubě dopravního letounu je tedy vyprodukované CO₂ na osobu několikanásobně vyšší. IBAC (International Business Aviation Council) uvádí, že business aviation lze rozdělit do několika kategorií tak, jak je popsáno v tabulce č. 1 [47].



Tabulka 1: Kategorie business aviation

1. Business Aviation – Commercial
Komerční přeprava osob či věcí, kterou zajišťuje specializovaná společnost za účelem podnikání, tedy k dosažení zisku. Společnost letadlo/letadla charteruje., tzn. nabízí přepravu tímto letadlem zájemcům o tuto přepravu za účelem zisku. Společnost zaměstnává kompetentní piloty, kteří jsou způsobilí k pilotáži daného typu/daných typů letadel.
2. Business Aviation – Corporate
Nekomerční provoz nebo užívání letadel společností za účelem přepravy osob a věcí jakožto výkon obchodního záměru. Společnost zaměstnává kompetentní piloty, kteří jsou způsobilí k pilotáži na daných typech letadel.
3. Business Aviation – Owner Operated
Nekomerční provoz či užívání letadel jednotlivci za účelem přepravy osob či zboží jakožto výkon osobního záměru.
4. Business Aviation – Fractional Ownership
Provoz či užívání letounu subjektem pro skupinu majitelů, kteří společně vlastní vlastnické podíly letadla provozovaného tímto subjektem. Obvykle je tento provoz vykonáván jakožto nekomerční, nicméně může být brán jako komerční v souladu s AOC, kterým subjekt disponuje.

Provoz business aviation operátorů nedisponuje letovým řádem s prvkem pravidelnosti, ale naopak ho lze označit jako náhodný, plně reflektující aktuální požadavky klientů. Typický charakter těchto operací je point-to-point se znatelnou částí pozicování, tedy přeletů bez pasažérů na palubě. Nejen v prostředí Evropy si lze všimnout oblíbenosti jistých destinací právě pro klienty těchto operátorů, výjimkou však nejsou ani lety na minimálně frekventovaná letiště [48].

Pro účely této práce je text zaměřen na evropský provoz, nicméně v dnešní době především v kategorii bizjetů „heavy“ je běžné využívat business aviation dopravu i pro dálkové lety překračující 10 hodin letu. Vnitroeuropejské lety však současně stále tvoří největší skupinu všech zaznamenaných letů business



aviation. Podle organizace EBAA se dlouhodobě jedná o více než polovinu všech provedených letů [49].

Dalším specifikem oblasti business aviation jsou letadla, kterými je tento specifický provoz obsluhován. Letouny používané v sektoru business aviation, se liší od běžných komerčních letounů především velikostí. Cílem není využití maximální kapacity letounu, avšak pohodlné a přívětivé prostředí pro náročnou klientelu. Avšak stejně tak jako u dopravních letadel mohou i business aviation letadla disponovat různou vzdáleností doletu, spotřebou a dalšími provozními specifiky. Podle společnosti Jetex lze business aviation letouny rozdělit do několika kategorií [50]. V tabulce č. 2 jsou pro každou kategorii zmíněné specifické vlastnosti a příklad letounu, který lze do takovéto kategorie zařadit.



Tabulka 2: Rozdělení letounů business aviation

Very Light Jets	Krátké lety do 3 hodin, ekonomicky nejšetrnější.	Embraer Phenom 100
Small Light Jets	Až 8 PAX, ideální na lety trvající 2-3 hodiny, dobré provozní vlastnosti.	Dassault Falcon 10
Super Light Jets	Prostornější kabina, více komfortu v porovnání s předešlými skupinami, zavazadlový prostor.	Gulfstream G100
Midsized Cabin Jets	Středně dlouhé lety, kolem 5 hodin doletu, lze se pohodlně postavit uvnitř kabiny, palubní průvodčí, 5-10 PAX, může zahrnovat sprchu, Wi-Fi.	Gulfstream 150
Super Midsized Cabin Jets	Až 7 hodin letu, koupelna na palubě, méně hluku v kabině.	Cessna 680 Citation Sovereign
Heavy Jets	Více prostoru, více než 10 PAX, až dva palubní průvodčí, koupelny, ložnice, Wi-Fi, telefonní připojení, až 8 hodin letu.	Dassault Falcon 900
Ultra Long Range Heavy Jets	Prostorná kabina s prostorem pro práci, zábavu, stolování, relaxaci, koupelny, až 17 PAX.	Gulfstream V
Executive Liners/Bizliners	Komerční letouny modifikované pro business lety.	Boeing BBJ

Data, která porovnávají cestování běžnými komerčními letouny a business jety jednoznačně dokazují, že míra dopadu na životní prostředí je u letů business aviation významná. Současně s aktuálním akcentem na snižování environmentální zátěže je patrné, že i oblast business aviation bude muset



implementovat nástroje pro snížení míry negativního dopadu na životní prostředí. Nejdostupnějším nástrojem je palivo SAF, které je již v době psaní této práce dostupné na desítkách evropských letišť. Technologie SAF je certifikovaná pro použití a nevyžaduje žádné změny v oblasti infrastruktury či nákup nových letounů Tyto poznatky jsou východiskem pro vytvoření metodiky, která je detailně popsána v kapitole č. 2.



2. Metodika


Následující kapitola popisuje principy, na kterých je založena tvorba modelů pro plnění palivem SAF českého provozovatele business aviation letů. Dle charakteristik v tabulce č. 1 se v případě této práce jedná o typ „commercial“. Pro vytvoření správné metodiky práce vychází z několika základních principů. Jedná se především o charakteristiku sítě dopravce, používaných strategií plnění a technických parametrů flotily. Hlavním myšlenkovým východiskem je skutečnost, že společnost chce zařadit plnění SAF i přesto, že je toto palivo dražší nežli JET A-1. Tento princip vychází ze zpřísnujících se požadavků na environmentální počínání dopravců, rostoucí ceny fosilních paliv a zájmu aerolinky o poskytnutí „zeleného produktu“, který může společnosti zajistit jedinečné postavení na trhu. Data, která byla poskytnuta provozovatelem business aviation sídlícím v Čechách, jsou anonymizovaná.

2.1 Síť provozovatele

Prvním východiskem pro návrh modelů plnění palivem SAF je porozumění síti dopravce, který poskytl data pro účely této práce. Síť provozu u provozovatelů business aviation nelze připodobnit k modelům, které známe z běžného komerčního provozu. Tradiční dopravci (legacy carriers) v oblasti komerčního leteckého provozu nejčastěji volí model hub-and-spoke, což je model, kdy provozovatel spojuje letiště v dané oblasti s centrálním neboli uzlovým letištěm, kde má provozovatel svou bázi. Business aviation je však sektor letectví, který se řídí téměř výhradně aktuální poptávkou, a tak je nutné vnímat síť provozu zcela odlišně. Síť není předem tvořena provozovatelem na základě předběžného plánování (scheduled flights), ale je závislá na aktuální poptávce a technických a provozních omezeních letounů a letišť. Většina letů je objednána ad hoc na vyžádání klientů. Typickým modelem je tedy point-to-point řízený poptávkou. Point-to-point model neobsahuje žádná uzlová letiště a jsou pro něj typické lety propojující různé destinace bez opakovaných návratů do uzlů.

V případě charterové business aviation společnosti není výjimkou, že letecká společnost, která funguje na trhu již několik let, přijímá poptávky na lety z/do destinace, kterou nikdy předtím neobsluhovala. Pakliže provozovatel, a tedy především obchodní a operační oddělení společnosti usoudí, že tato poptávka dává smysl z ekonomického pohledu a pro výkon letu neexistují technická či provozní omezení, je možné takový let obsloužit. Je však nutné zmínit, že pro business aviation existují i specifická letiště, která jsou poptávaná velice často a lze je označit jako typická pro tento typ letectví. Tato nejčastěji obsluhovaná letiště business aviation lety jsou k dispozici na obrázku č. 8. Na těchto letištích mnohdy operují výhradně business aviation lety a technicky nemusí být vybavena nástroji a prostory pro obsluhu velkých dopravních letadel.

Pro obchodní oddělení je výzvou odhadnout také to, jak snadné je prodat následující let z destinace příletu. Pakliže let končí například v Paříži či Ženevě, je pravděpodobné, že následující let se prodá z této destinace. Pokud však let končí v méně obvyklé destinaci, hrozí, že provozovatel bude muset vypravit prázdný let za účelem přeletu do destinace, kde začíná následující zakázka. Ideálním, avšak nereálným stavem by bylo, kdyby dopravce vždy v destinaci příletu našel poptávku i pro odlet z téže destinace. V praxi však prázdné přelety, takzvané „ferry flights“, tvoří více než třetinu všech provozovatelem odletěných letů [44]. Vyhodnocení toho, jak moc je let pro operátora výhodný, je velmi náročný proces a neexistují pro něj obecně platná pravidla. Metodika prodeje letů se tedy napříč společnostmi liší.



RANK	ICAO CODE	NAME	MONTH CURRENT YEAR	MONTH GROWTH	YTD CURRENT YEAR	YTD GROWTH
1	LFPB	Paris Le Bourget	63,9	10,4%	63,9	10,4%
2	LSGG	Geneve Cointrin	40,8	-1,2%	40,8	-1,2%
3	LSZH	Zurich	35,3	13,2%	35,3	13,2%
4	EGLF	Farnborough Civ	31,4	-8,0%	31,4	-8,0%
5	EGGW	London/Luton	27,3	6,0%	27,3	6,0%
6	LFMN	Nice	26,2	-13,3%	26,2	-13,3%
7	LIML	Milano Linate	22,1	22,5%	22,1	22,5%
8	EGKB	Biggin Hill	21,3	-11,7%	21,3	-11,7%
9	LTBA	Istanbul-ataturk	17,0	9,8%	17,0	9,8%
10	LEMD	Madrid Barajas	15,3	0,4%	15,3	0,4%

This report is made possible thanks to EUROCONTROL and WINGX ADVANCE - www.ebaa.org

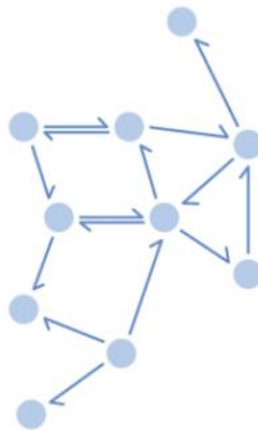
Obrázek 8: TOP 10 letišť pro Business Aviation [49]

Pro popsání a pochopení sítě dopravce, který poskytl data pro účely této práce byla použita teorie konektivity. Konektivita je vlastnost, které charakterizuje obsluhované body a vazby mezi nimi. Pomocí této vlastnosti, která je občas označována jako spojitost, se obecně označují stupně propojení uzlů v síti. Tato teorie umožní vytvoření kvalitního povědomí o obsluhovanosti jednotlivých letišť daným provozovatelem a o jeho ročním náletu. Uzly představují jednotlivá letiště ve známe síti dopravce a počet hran lze v tomto případě definovat jako počet dvojic letišť propojených leteckým spojením. Konektivita je jedním z konceptů teorie grafů [51], která se zabývá vztahy mezi objekty, v případě této práce tedy uzly, respektive letišti. Tato teorie je součástí diskrétní matematiky a často se setkává s problémem ohledně nejasné terminologie. Pro účely této práce jsou zvoleny termíny „uzel“ a „hrana“. Oba tyto prvky sítě nepracují s geometrickou polohou a slouží pouze pro přehled propojenosti

jednotlivých letišť. Konektivita pracuje s pojmy jako „přímá konektivita“, „vážená přímá konektivita“ a „nepřímá konektivita“ [51].

2.1.1 Konektivita

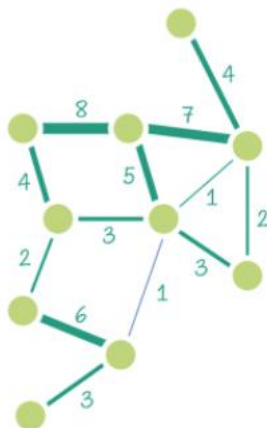
Podle Freemana přímá konektivita udává míru zapojení do sítě provozu [51]. Lze ji charakterizovat jako počet hran vycházející z konkrétního uzlu, neboli počet letišť, která jsou s popisovaným uzlem propojena napřímo.



Obrázek 9: Přímá konektivita [52]

Právě z přímé konektivity vychází specifikace sítě dopravy pro účely této práce. Pro stanovení nejčastěji obsluhovaných destinací je nutné u každé destinace určit právě počet hran, které z uzlu vychází. Grafický popis přímé konektivity je patrný z obrázku č. 9.

Jak silné jsou hrany mezi jednotlivými letišti, resp. uzly, vyjadřuje vážená přímá konektivita. Váha je vyjádřena frekvencí letů obsluhující dané páry uzlů. Váha pro jednotlivý uzel je určena součtem všech hran, které jej propojují s dalšími uzly. To je vyjádřeno na obrázku č. 10.



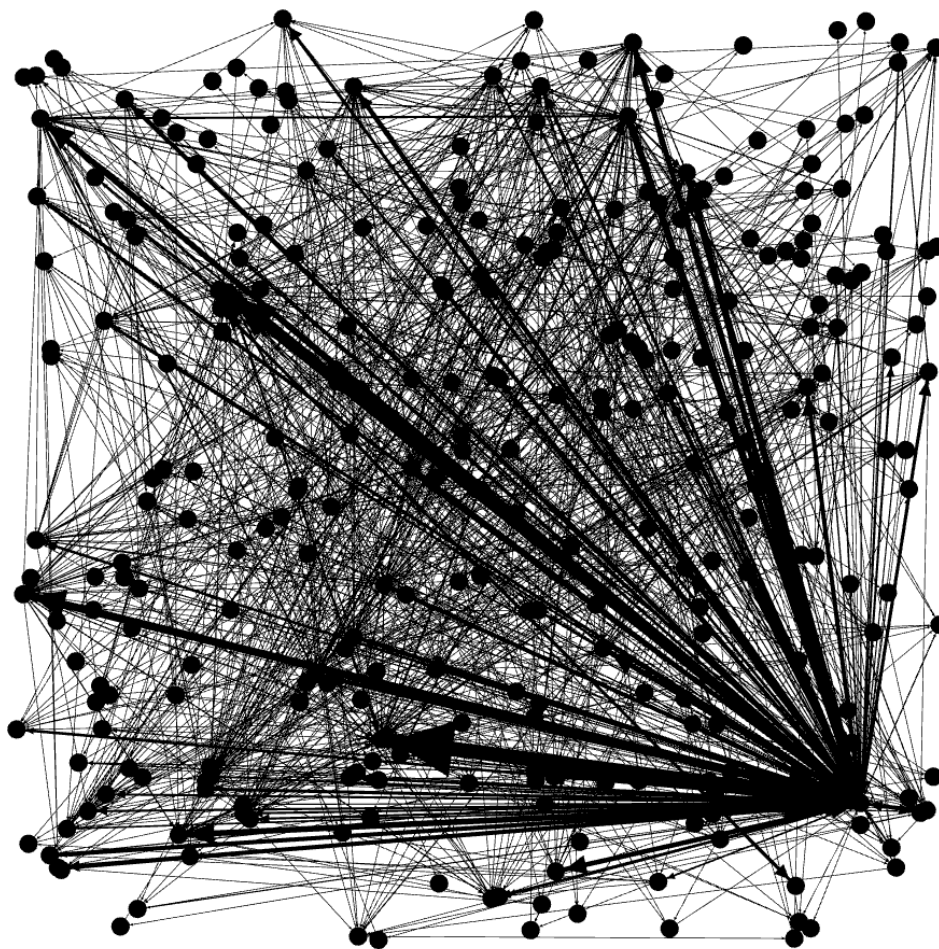
Obrázek 10: Vážená přímá konektivita [52]

Vážená přímá konektivita se používá při analýze jednotlivých propojení dvou uzlů. Pakliže specifické letiště sleduje propojení mezi dalšími uzly, pro charakteristiku tratě mezi dvěma letišti použije váženou přímou konektivitu.

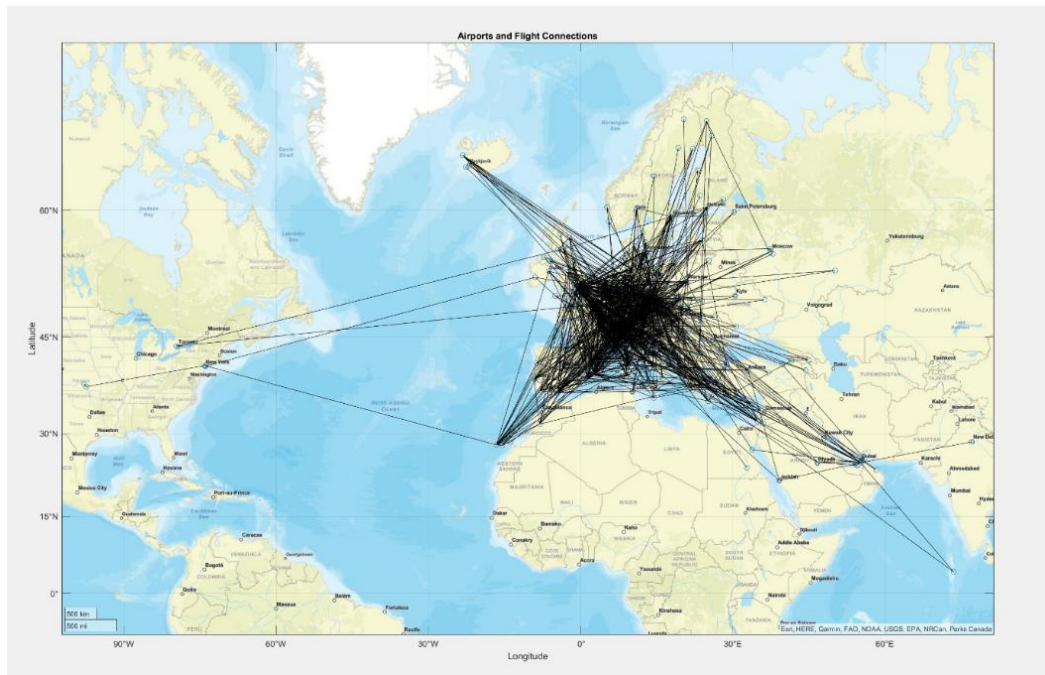
Vedle přímé a vážené přímé konektivity se v některých případech používá i nepřímá konektivita. Ta značí i nepřímé propojení mezi různými uzly, v letectví tedy možnosti propojení letišť s přestupem.

Z dat obdržených provozovatelem bylo možné díky vážené přímé konektivitě popsat jeho síť, a to nejprve pomocí programu Gephi. Pro každý bod v síti je tedy definováno, kolik odletů z něj během jednoho roku bylo obsluženo. Podle té pak bylo vybráno 5 nejčastěji obsluhovaných letišť, kam bylo fiktivně umístěno palivo SAF ve 40% směsi. Tento typ směsi byl vybrán, jelikož se jedná o typickou směs dostupnou na vybraných evropských letištích. Program Gephi dále vytvořil graf, který specifikuje síť provozovatele. Ten je k nahlédnutí níže na obrázku č. 11. V programu však nelze síť zachytit do mapy. To bylo učiněno pomocí programu Matlab, a tak je vizualizace k nahlédnutí v obrázku č. 12 a 13. Jak je z obrázku patrné, jednotky letů byly provedeny i mimo Evropský hospodářský prostor. Data nespécifikují, o jaké typy letů se jedná, pravděpodobně to však jsou výjimky za účelem technických přeletů v rámci údržby flotily.

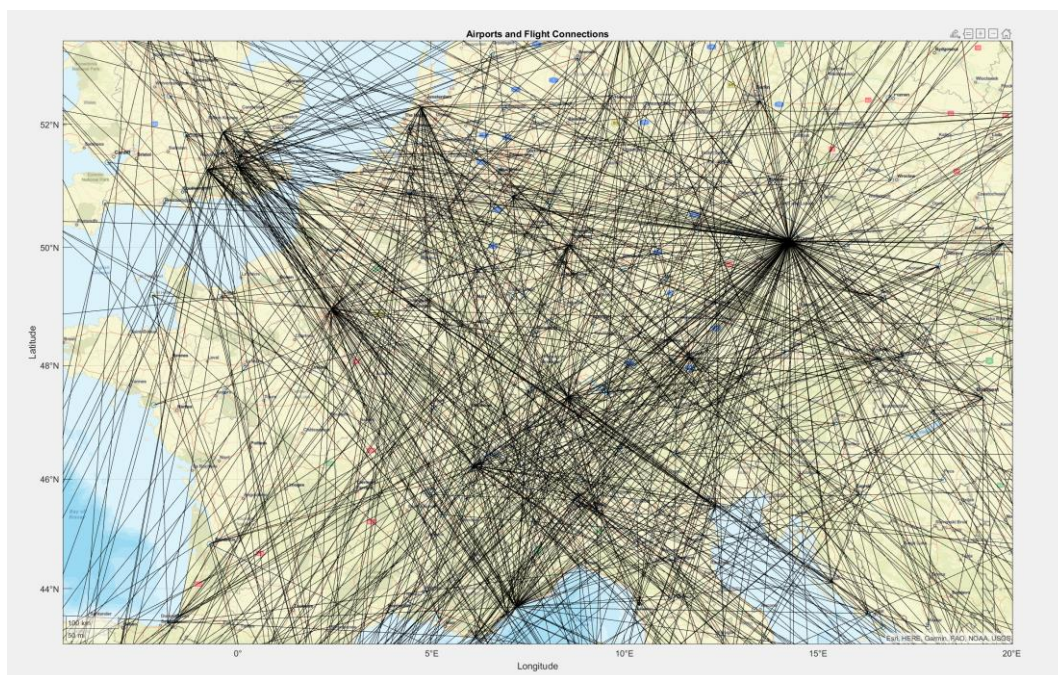
Zbylá letiště, krom pěti zmíněných, považujeme za letiště, kde je možné plnit pouze JET A-1. Jako nejčastěji obsluhovaná letiště v sestupném pořadí byly určeny letiště LKPR, LEPA, LFPB, LSZH, a LFMN viz tabulka č. 4. Praha, jakožto báze této letecké společnosti, za rok celkem obsloužila 170 odletů.



Obrázek 11: Síť provozu generována programem Gephi



Obrázek 12: Síť provozovatele



Obrázek 13: Síť dopravce v centrální Evropě

Z obrázku č. 8 vyplývá, že tři z těchto provozovatelem nejčastěji obsluhovaných letišť spadají do TOP 10 letišť pro lety business aviation dle EBAA [49]. I z tohoto důvodu je reálné, že pakliže by poptávka po palivu SAF ze strany provozovatelů business aviation rostla, byly by to právě nejčastěji obsluhovaná



letišť, kde by SAF začalo být k dispozici. Stejně tak uzavření dohody s poskytovateli paliv SAF ohledně dodávek na bázová letišť může být pro provozovatele zajímavá. V rámci takovéto spolupráce je nutné garantovat odběr určitého množství paliva, což je také jedna z predispozic pro vytvoření takovýchto dohod. Právě takto uzavřené kontrakty o dodávkách paliva do báze dopravce jsou jedním z nejčastějších důvodů, proč je aktuálně SAF pouze na některých specifických letištích. Aktuálně (listopad 2023) je z těchto provozovatelem pěti nejčastěji obsluhovaných destinací palivo SAF dostupné na letišti LFPB a LSZH. SAF na LKPR, LEPA a LFMN je tedy pouze uvažován za účelem tvorby modelů.

Tabulka 3: Nejčastěji obsluhované destinace provozovatelem

ICA kód letiště	Počet odletů za rok
LKPR	170
LEPA	32
LFPB	32
LSZH	30
LFMN	28
LSGG	27
EGLF	24
EGGW	23
EDDM	23
LEIB	22
EHAM	21

2.2 Tankování

Specifickou součástí provozu, která je klíčová pro vytvoření strategií plnění, je tankování leteckými pohonnými hmotami. Tankování v letecké dopravě obecně je oblast, která je regulovaná, a tedy letečtí dopravci musí dodržet minimální množství paliva na palubě, které udávají předpisy EASA, především EASA Air Operations Regulation (EU) No 965/2012 [53]. Co se maximálního množství natankovaného paliva týče, je operátor omezen provozními vlastnostmi letounu, zatížením letounu a vlastnostmi



vzletových a přistávacích drah obsluhovaných letišť s přihlédnutím k aktuálnímu počasí. Naopak minimální množství paliva na palubě pro obsluhu letu je jasně dáno a při porušení takovéto míry může operátor nést právní následky. Jakékoliv palivo, které si dopravce na daný let natankuje navíc k minimálnímu povolenému množství, již záleží čistě na politice tankování daného operátora. Někteří dopravci se velmi intenzivně zabývají touto politikou, aby se vyhnuli tankování v drahých destinacích. Například na letu z letiště s přívětivými cenami leteckého paliva připadá v úvahu natankovat co největší množství, aby se provozovatel vyhnul plnění v následující destinaci, kde je palivo nadprůměrně drahé. Operátor musí posoudit, zdali plně natankované letadlo, který díky vyšší hmotnosti bude mít vyšší spotřebu, bude v závěru ekonomičtější variantou, nežli kdyby provozovatel tankoval i v dražší destinaci. Takovýto postup se nazývá navážení paliva. V tuto chvíli neexistují žádné systémy, které by dovedly ekonomickou výhodnost navážení paliva posoudit a rozhodnutí se činí na základě odhadů a zkušeností zaměstnanců letecké společnosti. Praktika navážení paliva je však dlouhodobě pozorována institucemi EU a právě Nařízení Evropského Parlamentu a Rady o zajištění rovných podmínek pro udržitelnou leteckou dopravu hovoří o nutnosti eliminovat tyto praktiky [54]. V nařízení je uvedeno, že: „*převážení paliva vede k vyššímu spalování paliva, než je nutné a také narušuje spravedlivou hospodářskou soutěž na unijním trhu letecké dopravy* [54].“ Modely uvedené v této práci tedy nepracují s variantou navážení paliva JET A-1.

Plánování plnění zahrnuje nutnost porozumění základním termínům pro objemy paliva. Každá část z celkového objemu má sloužit specifickému účelu a tento fakt je klíčový pro nastavení jednotlivých predispozic pro vytvoření modelů plnění, které jsou popsány v následujících kapitolách této práce. Body níže charakterizují základní termíny z této oblasti dle EASA [55]:

1. **Taxi Fuel:** Palivo potřebné pro start motorů, pojíždění a vzlet. Toto palivo také zahrnuje chod APU (Auxiliary Power Unit) pakliže letadlo na odbavovací ploše nepoužívá externí zdroj.
2. **Trip Fuel / Fuel Burned:** Je objem paliva, který bude dle předpokladu spotřebován od odbrzdění letounu před zahájením pojíždění, po přistání na plánovaném letišti.
3. **Contingency Fuel:** Je množství paliva, které je tankováno pro případ odchýlení se od plánované trasy či pro případ změny počasí (například změna směru větru na nepříznivý protivítr).
4. **Alternate Fuel:** Palivo vyžadované pro let na záložní letiště v případě, že přistání na plánovaném letišti není možné provést.
5. **Final Reserve Fuel:** Bezpečnostní záloha, která má zajistit, že letoun bude schopen letět po určitou dobu letu v cestovní výšce. Tato doba se liší v závislosti na typu pohonu letadla.



6. **Additional Fuel:** Palivo, které se plní nad rámec povinného množství paliva na palubě. O jeho množství může být rozhodnuto leteckou společností například kvůli cenám v daných destinacích.

7. **Ramp Fuel / Block Fuel / Total Fuel on Board:** Tento objem paliva je celkové množství paliva potřebného pro výkon daného letu, včetně všech rezervních a záložních složek.

8. **Landing Fuel:** Je množství paliva, které zbývá v nádržích letounu po přistání na letišti příletu, či záložním letišti.

9. **Fuel Required:** Je množství paliva, které je potřeba před odletem dotankovat, resp. údaj, který je poskytnut poskytovateli paliva na letišti posádkou, která rozhodne o přesném množství potřebného paliva.

Je zřejmé, že provozovatelé jsou povinni dodržovat předepsaná minima, aby byly dodrženy základní bezpečnostní standardy. Nejprve je nutné uvážit provozní podmínky pro daný let, počasí, stav vzletových a přistávacích drah v daných destinacích, počet cestujících a nákladu na palubě a tak dále. Obvykle jsou tato specifika zadána do specializovaných systémů, které pak navrhnou minimální množství paliva potřebné pro specifický let. Vzhledem k nutnosti zahrnout do plánu počasí, není možné tento plán plnění pro daný let vytvářet s přílišným předstihem. Dispečeri tak tuto přípravu tvoří z pravidla den před letem a v případě změn pak hodnoty přepočítávají blíže k času odletu.

Pokud však zahrneme do úvahy ekonomické aspekty, nelze tvrdit, že by principy pro plnění palivem byly stejné pro všechny provozovatele. Je zřejmé, že operátoři se snaží co možná nejvíce na palivu ušetřit, a tak v letech z destinací, které nabízí palivo za nízké ceny, volí metodu navážení paliva, jelikož je i přes kritiku institucí EU stále legální. To znamená, že v některých případech mohou využít nízké ceny a naplní co možná nejvíce paliva i přes to, že hmotnost letadla tak stoupne a zvýší se jeho spotřeba. Pokud let odlétá z destinace, kde je palivo drahé, není žádoucí brát více paliva, nežli je nutné pro obsluhu následujícího letu. Ceny paliva se stále mění a operátoři jsou tak nuceni neustále sledovat aktuální nabídku. Jednotlivá rozhodnutí, zdali se vyplatí palivo navážet, však stojí většinou na dohodě mezi operačním a obchodním oddělením a liší se pro každý jednotlivý úsek, respektive závisí na krátkodobém plánu daného letadla.

Vedle faktu, že se ceny paliva v jednotlivých destinacích liší, závisí také jeho cena na dohodách mezi provozovatelem a poskytovatelem paliva. I v této oblasti existují programy, které častým zákazníkům zajistí slevy či jiné výhody. Dalším faktorem je fakt, že poskytovatelů leteckých pohonných hmot je na většině evropských letišť několik a palivo každý z nich nabízí za odlišnou cenu. Je tedy výhodné sledovat ceny paliv v jednotlivých destinacích u všech poskytovatelů působících na letišti. Poskytovatelé paliv



zájemcům pravidelně posílají ceníky, dle kterých pak operátor udržuje aktuální informace o cenách a činí na jejich základě rozhodnutí ohledně tankování.

Modely uvedené v této práci však nepracují s variantou navážení paliva JET A-1, jelikož pro toto rozhodnutí neexistuje přesný systém, který by šel obecně aplikovat. Do budoucna se také přepokládá, že díky jeho neekologičnosti bude navážení paliva JET A-1 regulováno.

2.3 Postup výpočtu potřebného paliva a jeho složek pro jednotlivé úseky

K vytvoření obou modelů byly použity základní informace ohledně modelu letadla, kterým provozovatel lety obsluhuje. V tomto případě se jedná o letoun Cessna 680 Citation Sovereign a použité výpočty pracují se spotřebou 800 kg paliva na 1 hodinu letu. Tento údaj byl taktéž poskytnut provozovatelem pro použití v této práci.

Vzhledem k nutnosti zachovat po každém přistání rezervu, modely počítají s tím, že při každém přistání musí být v nádržích minimálně 600kg paliva. Tato hodnota byla spočtena jako orientační množství, které odráží legislativní požadavky na dostatečné palivové rezervy pro „Contingency fuel“, „Final Reserve Fuel“ a „Alternate Fuel“. Model nepočítá s nutností tankovat „Additional Fuel“.

Model dále používá hodnoty délek trvání jednotlivých letů, ze kterých určuje spotřebu paliva pro každý definovaný úsek.

Soubor s daty, viz tabulka č. 4, obsahoval data všech letů provedených během jednoho kalendářního roku, časy odletů a příletů v UTC, letiště odletů a příletů a smyšlenou značku registrace pro účely skrytí údajů o dopravci. Celkový nálet se týká pěti letadel a tato práce pracuje s verzí, že se jedná o stejné modely se stejnými operačními vlastnostmi. Pro doplnění byla tabulka rozšířena o dobu letu jednotlivých letů, neboť právě tyto údaje budou potřeba pro výpočet spotřeby paliva na jednotlivých úsecích.



Tabulka 4: Obdržená data v neupraveném formátu

DATE	REG	DEP	ARR	STD	STA
	OK-001	PRG	VKO	06:30	09:00
	OK-001	VKO	INN	10:00	13:10
	OK-001	INN	PRG	13:40	14:30
	OK-002	PRG	LWO	18:40	20:00
	OK-001	PRG	VIE	03:10	04:00
	OK-001	VIE	LTN	05:00	07:00
	OK-001	LTN	VIE	07:30	09:30
	OK-001	VIE	NCE	14:00	15:50
	OK-003	ASW	CGN	08:00	13:30
	OK-003	CGN	PMI	14:00	16:10

Vedle odletěných destinací byly v soboru dat v také uvedeny časy odletů a příletů z/do dané destinace, a to v čase UTC. Z těchto údajů byla délka každého letu převedena do formátu HH:MM a poté na desetinné číslo (hod) pro další použití ve výpočtech. K tomuto výpočtu byl použit dostupný údaj o průměrné rychlosti modelu letadel, který operátor provozuje, a to 660 km/hod. Vzhledem k dostupným datům model pracuje pouze s touto průměrnou hodnotou a nezahrnuje případné odchylky například při přiblížení a přistání, změny kvůli specifickým meteorologickým podmínkám či úpravy rychlosti pro dosažení lepších výkonnostních podmínek.

Objem paliva, který je spálen na každém odletěném úseku (neboli „Fuel Burned“), lze jednoduše spočítat jako násobek času letu (hod) a spotřeby letounu za jednu hodinu:

$$Fuel\ Burned = t * 800 \text{ (kg)} \quad (1)$$

Kde:

- t = čas letu (hod)

Pro zjištění potřebného paliva včetně palivové rezervy pro každý úsek (neboli „Block Fuel“), tedy minimálního množství paliva, které musí být před odletem v nádržích, je pak použit vzorec č. 2:

$$Block\ Fuel = t * 800 + 600 \text{ (kg)} \quad (2)$$

Kde:

- t... čas letu (hod)



Pro výpočet paliva, které v nádržích zbude po obslužení letu, je použit vzorec č. 3:

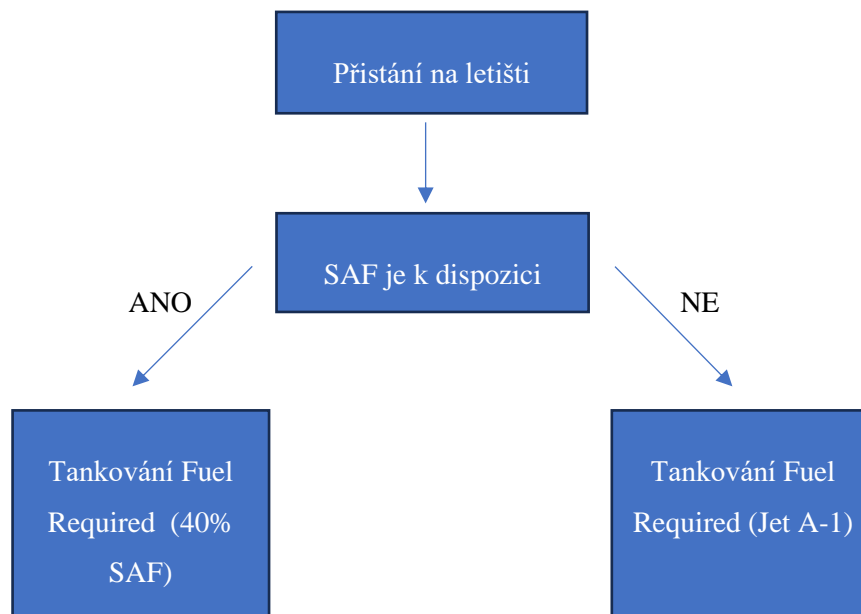
$$\text{Landing Fuel} = \text{Block Fuel} - \text{Fuel Burned} \quad (3)$$

Tato hodnota zároveň vystihuje množství paliva v nádržích před dalším odletem, tedy množství paliva zbylého v nádržích po obslužení předešlého letu. Z tohoto objemu čerpáme informaci ohledně množství paliva, které je před každým úsekem potřeba doplnit, tedy „Fuel Required“.

Vzorce 1, 2 a 3 jsou základními výpočty pro tvorbu obou modelů.

2.4 Postup výpočtů specifických pro model 1

Pro Model 1 bylo určeno, že operátor na každém letišti přistání plní pouze minimální množství paliva potřebné pro následující úsek, tedy množství vyjádřené vzorcem č. 2 „Block Fuel“. Vzhledem tomu, že kvůli charakteru dat nelze do výpočtu zakomponovat potenciální odklon na záložní letiště či další jevy, které by vedly ke spotřebě určitého množství z palivové rezervy, model 1 pracuje s tím, že při každém přistání v nádržích zůstává právě toto množství paliva o hmotnosti 600 kg, tedy „Landing Fuel“. Operátor na pěti nejčastěji obsluhovaných letištích plní SAF. Ve zbylých destinacích plní JET A-1. Pro přehlednost je vytvořen rozhodovací strom, který popisuje varianty tankování typické pro model 1 viz obrázek č. 14. Princip rozhodování v modelu 1 závisí pouze na dostupnosti SAF. SAF se plní v každé destinaci, kde jej dle vytvořené predispozice nabízí. V ostatních destinacích provozovatel plní JET A-1. Model 1 pracuje s principem plnění minimálního množství paliva na palubě. To může být výhodné, jelikož čím je letadlo lehčí, tím nižší má spotřebu. V případě, že by byl model zdokonalen o databázi skutečných ceny v daných destinacích, bylo by možné vytvořit další strategie, které by do procesu rozhodování mohly promítnout právě aktuální ceny a například počítat s navážením paliva z destinací, které nabízí JET A-1 za nižší ceny.



Obrázek 14: Princip rozhodování pro model 1

Hodnota „Fuel Required“ udává množství paliva, které je pro výkon následujícího úseku potřeba dotankovat. V modelu 1 se jedná se o vzorec:

$$Fuel\ Required = Block\ Fuel - Landing\ Fuel \quad (4)$$

Dle predispozice ohledně dostupnosti paliva SAF připadají v úvahu dvě obdoby vzorce 4 pro Fuel Required, a to:

- 1) V destinaci odletu je palivo SAF k dispozici, pak:

$$Fuel\ Required\ (40\%\ SAF) = Block\ Fuel - Landing\ Fuel \quad (5)$$

- 2) V destinaci odletu není palivo SAF k dispozici, pak:

$$Fuel\ Required\ (JET\ A-1) = Block\ Fuel - Landing\ Fuel \quad (6)$$

Rozdělení těchto možností je nutné za účelem vytvoření výpočtů, které specifikují směs paliva. Jak bylo uvedeno výše, model pracuje se 40% směsí paliva SAF. Pokud se tedy jedná o odlet z letiště, které disponuje palivem SAF, následuje výpočet hodnoty „ $m_{100\% \text{ SAF}}$ “ a „ $m_{JET \text{ A-1}}$ “. Ty určují, kolik kilogramů



ze 40% směsi je právě SAF a kolik JET A-1. Vzhledem k tomu, že pro účely této práce se předpokládá dostupnost 40% SAF, vzorec říká:

$$m_{100\% \text{ SAF}} = \text{Fuel Required (40\% SAF)} * 0,4 \quad (7)$$

Kde:

- $m_{100\% \text{ SAF}}$... množství 100% SAF (kg)

$$m_{\text{JET A-1}} = \text{Fuel Required (40\% SAF)} * 0,6 \quad (8)$$

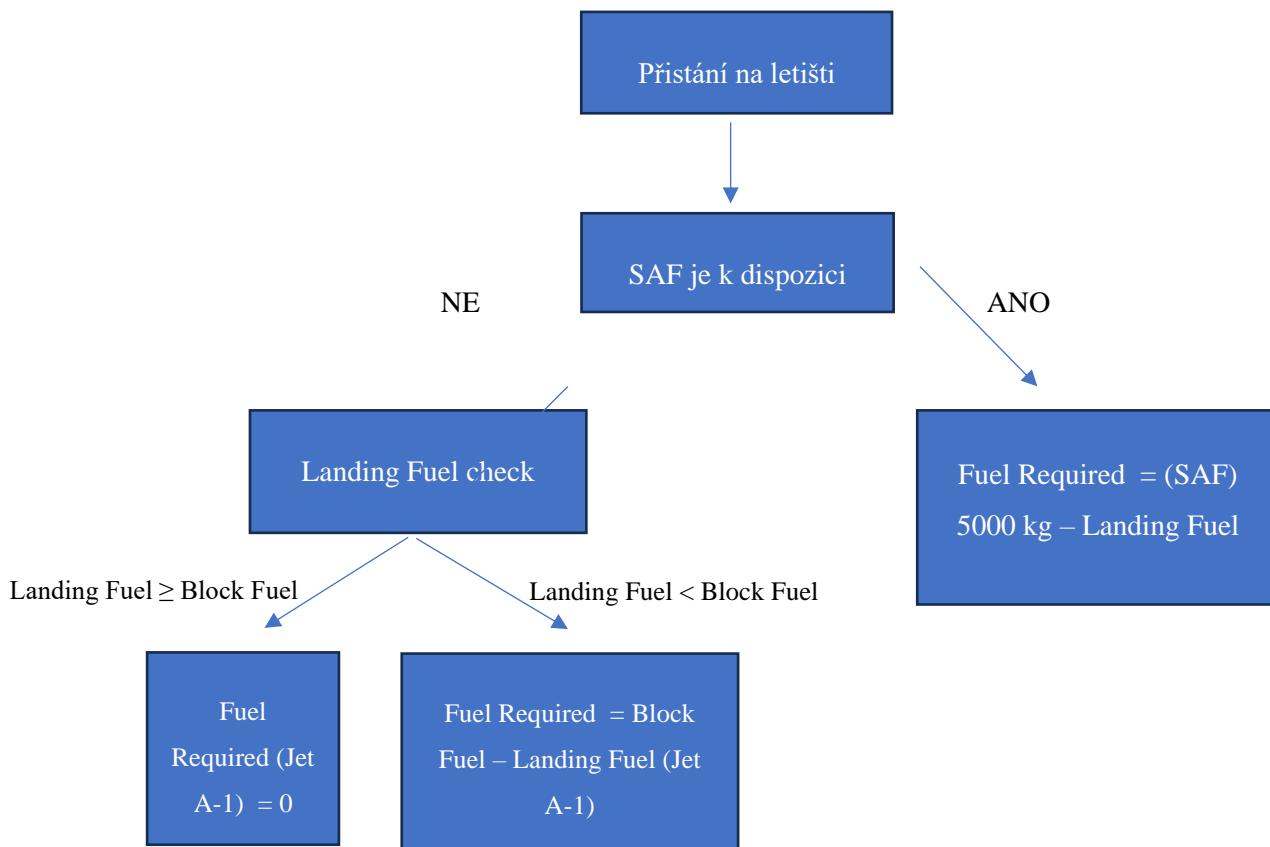
Kde:

- $m_{\text{JET A-1}}$... množství 100% Jet A-1 (kg)

Pakliže se v destinaci plní JET A-1, je zřejmé, že se jedná o čisté palivo JET A-1 bez příměsi SAF a tedy rozpočet složek paliva není nutný.

2.5 Postup výpočtů specifických pro model 2

Model 2 pracuje s verzí, kdy operátor na pěti nejčastěji obsluhovaných letištích plní SAF v maximálním možném objemu. V ostatních destinacích operátor plní JET A-1, avšak doplní vždy jen takové množství, aby byl schopen obsloužit následující úsek. To znamená, že pokud operátor plní palivem SAF, tedy do plna, a následuje pouze krátký úsek, po jeho obslužení nemusí plnit vůbec žádné palivo, pakliže v této destinaci není SAF a zbývá dostatečné množství paliva v nádržích z předešlého letu. Pokud by v této destinaci SAF palivo k dispozici bylo, doplní opět operátor do maximálního možného množství. Rozhodovací strom pro model 2 je patrný na obrázku č. 15. Tento model však nepracuje s provozními specifiky, jako jsou délky VPD v jednotlivých destinacích. Pro vytvoření modelu nebyly tedy brány v potaz možná provozní omezení pro hmotnost letadla. Objem nádrží pro letoun Cessna 680 Citation Sovereign je 5000 kg. Tato hodnota byla taktéž poskytnuta provozovatelem za účelem vypracování této práce. Pro model 2 platí, že palivová rezerva musí být minimálně 600 kg, stejně jako u modelu 1. Avšak hodnota „Landing Fuel“ není na každém úseku 600 kg a neodpovídá tedy přesně palivové rezervě, neboť operátor plní v některých případech více paliva, nežli je nutné pro obslužení následujícího úseku. To vede k tomu, že na palubě po jeho obslužení zbývá větší množství paliva, nežli je povinná rezerva. Tento princip má za cíl naplnit během ročního náletu co možná největší možné množství SAF. I u modelu 2 se taktéž předpokládá, že SAF je k dispozici v pěti nejčastěji obsluhovaných letištích v síti tohoto provozovatele.



Obrázek 15: Princip rozhodování pro model 2

Doba letu na každém úseku se pro získání informace ohledně potřebného množství paliva vypočítá stejně, jako u modelu 1. To samé platí pro hodnoty „Block Fuel“, „Fuel Burned“ a „Landing Fuel“.

To, zdali operátor bude v dané destinaci plnit, se liší podle dostupnosti SAF. Existují tedy tři scénáře pro plnění. Dvě možnosti pro letiště s JET A-1 (vzorce č. 9 a 10) a jedna možnost pro destinace disponující SAF (vzorec č. 11). Pro hodnotu „Fuel Required“ je tedy použit jeden z následujících vzorců:

- 1) V destinaci s výhradně JET A-1 provozovatel tankovat nebude, pakliže objem paliva v nádržích před letem je větší nežli potřebné palivo pro následující úsek včetně rezervy. V tomto případě pak platí:

$$Fuel\ Required\ (JET\ A-1) = 0\ (kg) \quad (9)$$



- 2) V destinaci s výhradně JET A-1 provozovatel tankovat bude, pakliže objem paliva v nádržích před letem je nižší nežli palivo potřebné pro následující úsek včetně rezervy. Pro tento případ platí:

$$Fuel\ Required\ (Jet\ A-1) = Block\ Fuel - Landing\ Fuel \quad (10)$$

- 3) Pakliže se provozovatel nachází v destinaci, kde je k dispozici SAF, plní toto palivo vždy dle následujícího vzorce:

$$Fuel\ Required\ (SAF) = 5000 - Landing\ Fuel \quad (11)$$

Výpočty, které se vztahují ke směsi paliv jsou stejné, jako u modelu 1 a slouží taktéž pro povědomí o poměru využívaných paliv v ročním náletu.

Pro každý úsek je tedy znám celkový objem paliva v nádržích před odletem, jaké množství daného typu paliva je dotankováno a jak se s každým tankováním změní procentuální poměr SAF a JET A-1 v nádržích letounu. Tento detailní rozbor složek paliva je nutný pro závěrečné výpočty emisí a ekonomického výsledku.

Celkové množství natankovaného paliva flotilou za celý rok je jednoduše sumou hodnot udávajících natankované množství paliva pro každý jednotlivý úsek. Stejně tak je spočteno množství spotřebovaného JET A-1 a SAF, což je dáno do poměru právě s celkovým množstvím paliva.

2.6 Postup pro výpočet vyprodukovaných emisí

V závěrečných výpočtech, kdy je známo celkové množství spáleného JET A-1 a celkové množství spáleného SAF, se z těchto hodnot udává množství vyprodukovaných emisí. Při výpočtech se pracuje s emisním faktorem pro daná paliva, který udává DEFRA [56], a to:

- 1) Pro Jet A-1:

$$m_{CO_2} = m_{JET\ A-1} * 3,15\ (kg) \quad (12)$$

Kde:

- m_{CO_2} ... množství vyprodukovaného CO₂ (kg)
- $m_{JET\ A-1}$... množství spáleného JET A-1 (kg)



2) Pro SAF:

$$m_{CO_2} = m_{SAF} * 2,55 \text{ (kg)} \quad (13)$$

Kde:

- m_{CO_2} ... množství vyprodukovaného CO_2 (kg)
- m_{SAF} ... množství spáleného SAF (kg)

Emisní faktor pro palivo SAF v 40% směsi bylo poskytnuto pro účely této práce poskytovatelem paliva SAF na letišti EHAM.

Celkový objem vyprodukovaných emisí je pro každý model odlišné. Také platí, že pro oba modely bylo určeno, kolik CO_2 bylo provozovatelem při aplikaci jednotlivých modelů ušetřeno oproti situaci, kdy je strategie plnění stejná, leč využívá pouze palivo JET A-1.

2.7 Postup pro výpočet nákladů na palivo

Oba modely pracují pouze s průměrnou cenou paliva JET A-1, která byla udána pro region Europe and CIS k dubnu 2023 jako 0,73 EUR/kg [57]. Průměrná cena paliva SAF bohužel není známa, nejčastěji se uvádí, že cena je 2-6 x vyšší, nežli JET A-1. Pro tuto práci tedy byla použita cena 40% směsi paliva SAF poskytovaného na letišti EHAM taktéž z dubnu roku 2023, tedy 2,5 EUR/kg.

Cena za objemy jednotlivých paliv je tedy násobkem celkového množství natankovaného typu paliva za rok a jeho cenou. Pro oba modely je poté uvedeno, jak se náklady za aplikaci modelů liší oproti situaci, kdy provozovatel uplatňuje stejnou strategii pro plnění, avšak výhradně s palivem JET A-1.

2.8 Postup pro výpočet nákladů na emise

Cena za vyprodukované CO_2 se odvíjí od cen EU ETS. Ceny emisních povolenek se však každý rok zvyšují a jejich cena není jednotná ani během kalendářního roku. Stejně tak jako v případě paliva JET A-1, pro účely této práce byly použity hodnoty aktuální pro duben 2023. Vzhledem k tomu, že uvedená cena je platná vždy pro jednu tunu vyprodukovaného CO_2 , výsledek je vždy násobkem vyprodukovaného CO_2 v tunách a cenou EU ETS pro duben 2023, tedy 100,67 EUR/tuna [58].



3. Analýza výsledků

Výpočty uvedené v kapitole 2 byly aplikovány na každý odletěný úsek. Výsledky shrnuté v kapitole 3 jsou poté sumami jednotlivých údajů všech letů. Pro představu je níže k dispozici provedena analýza pro prvních několik úseků z celkového náletu. Základní informace, na kterých jsou postaveny jednotlivé výpočty, byly poskytnuty v souboru dat od provozovatele a jsou k nahlédnutí v tabulce č. 4.

3.1 Model 1

V modelu 1 z dostupných dat, které jsou patrné z tabulky č. 5., která se týká času odletu a času příletu z daných destinací, byla odečtena celková doba letu, která je pojmenována jako „Elapsed flight time“. Ta je posléze převedena na čas ve formátu celého čísla.

Tabulka 5: Tabulka se spočtenými hodnotami

DEP	ARR	STD	STA	Elapsed flight time	Time to decimal	Fuel burned	Block Fuel	Palivo
PRG	VKO	06:30	09:00	2:30	2,50	2000	2600	SAF
VKO	INN	10:00	13:10	3:10	3,17	2533	3133	JET A1
INN	PRG	13:40	14:30	0:50	0,83	667	1267	JET A1
PRG	VIE	03:10	04:00	0:50	0,83	667	1267	SAF
VIE	LTN	05:00	07:00	2:00	2,00	1600	2200	JET A1

Palivo, které je na daném letu spáleno je spočteno dle vzorce č. 1, což pro první řádek odpovídá hodnotě 2000 kg. Ve sloupci „Block Fuel“ je k hodnotě „Fuel Burned“ přičteno 600 kg pro každý let, aplikuje se zde vzorec č. 2. Pro první sloupec tedy platí hodnota 2600 kg. Tato hodnota odpovídá záloze, kterou je nutno pro každá let natankovat společně s palivem potřebným pro výkon následujícího letu. Sloupec „Palivo“ určuje, zdali je dle predispozice pro tento model v destinaci odletu dostupné palivo SAF. Pokud ano, buňka je označena zeleně pro přehlednost tak, jak je patrné z tabulky č. 5.

Sloupec „Landing Fuel“ udává množství zbylého paliva na palubě po přistání na letišti přistání. Jak bylo uvedeno výše, pro model 1 je tato hodnota vždy 600 kg.



V tabulce č. 6 dále následují dva sloupce, které obsahují hodnoty jen v případě, že se jedná o odlet z destinace, kde se tankuje palivo SAF. V případě, že destinace odletu disponuje palivem SAF, propíše se do sloupce „dotankováno SAF v 40% směsi“ právě údaj ze sloupce „Block Fuel“.

Tabulka 6: Výpočty paliva pro prvních 5 letů, model 1

Landing Fuel (kg)	Dotankováno SAF v 40% směsi (kg)	Množství čistého SAF (kg)	Dotankováno JET A1 (kg)
0	2600	1040	1560
600	0	0	2533
600	0	0	667
600	667	266,8	400,2
600	0	0	1600

Pokud v destinaci odletu SAF není k dispozici, hodnota v tomto sloupci bude pro příslušný úsek „0“. Pro první úsek, resp. řádek, platí tedy, že bylo dotankováno 2600 kg paliva SAF. Vzhledem k tomu, že model pracuje s tankováním 40% směsi SAF, byl do tabulky přidán také sloupec „počet kg čistého SAF“, který obsahuje vzorec č. 7. Pro první řádek tedy hodnota v tomto sloupci udává 1040 kg. Sloupec „dotankováno JET A-1“ taktéž pracuje s podmínkou ohledně dostupnosti SAF. Pokud v destinaci odletu SAF k dispozici není, udává sloupec hodnotu „Block Fuel“. Pokud v dané destinaci SAF je, sloupec udává vzorec č. 8 a hodnota odpovídá množství kg JET A-1, které bylo natankováno v rámci směsi SAF. Pro první řádek tohoto sloupce platí tedy 1560 kg.

Tabulka 7: Rozpočítání složek paliva pro prvních 5 letů

Celkem v nádržích (kg)	Z toho čistý SAF (kg)	Z toho JET A1 (kg)	% SAF	% JET A1
2600	1040	1560	40%	60%
3133	240	2893	8%	92%
1267	46	1221	4%	96%
1267	289	978	23%	77%
2200	137	2063	6%	94%

Sloupec „celkem v nádržích“ funguje čistě jako kontrola výpočtu a hodnoty v něm musí pro každý let být rovny hodnotě „Block Fuel“. To však platí výhradně pro model 1.

Následující sloupce, tedy „z toho SAF“ a „z toho JET A-1“ určují aktuální množství paliva JET A-1 a SAF v kilogramech pomocí vzorců č. 7 a 8.



Pro tento sloupec tedy platí, že ve sloupci „z toho SAF“ stojí hodnota 1040 kg. Pro sloupec „z toho JET A-1“ platí 1560 kg. Nuly v těchto sloupcích existují jen v prvním řádku, jelikož jen u prvního úseku pracují data s možností, že „Landing Fuel“ je 0 kg.

Zbylé sloupce dávají do poměru množství jednotlivých druhů paliv a celkového množství, které je aktuálně v nádržích. Pro první řádek tedy poměr odpovídá 40 % SAF a 60 % JET A-1. Vzhledem k tomu, že před prvním úsekem považujeme nádrže za prázdné a prvním plněným palivem je SAF, dávají tyto hodnoty právě poměr tankované směsi. V následujících úsecích se již palivo po přistání mísí s nově natankovaným a poměr složek v nádržích se mění.

Tento model, který pracuje se strategií, že v každé destinaci se plní pouze takové množství paliva, které je nezbytně nutné pro vykonání následujícího letu, přináší výsledky shrnuté v tabulce č. 8.

Tabulka 8: Výsledky modelu 1

Celkové množství natankovaného paliva za rok (kg)	3 353 469
Z toho dotankováno JET A1 (bez podílu v SAF) (kg)	2 386 930
Z toho dotankováno 40% SAF (kg)	966 539
Celkové množství dotankovaného JET A1 včetně složky v SAF směsi (kg)	2 966 853
Celkové množství dotankovaného 100% SAF (kg)	386 616
Emise celkově (kg)	9 983 504
Emise při totžném náletu na pouze JET A1 (kg)	10 563 427
Ušetřené emise (kg)	579 923
Ušetřeno hodin letu na JET A1 (hod)	230
Celkový podíl 100% SAF na roční spotřebě	12%

Výsledky tedy zahrnují strategii, při které operátor v pěti nejčastěji obsluhovaných destinacích plní 40% směs SAF. Operátor nevolí taktiku navážení paliva, ale v každé destinaci plní jen takový objem paliva, který je nutný pro vykonání následujícího úseku. Z celkového objemu spotřebovaného paliva tvoří SAF 12% podíl. Zařazení takového objemu zajistí provozovateli asi 230 letových hodin na JET A-1 navíc za zachování stejného množství vyprodukovaného CO₂, jako kdyby celý nálet obsloužil jen na JET A-1. Pokud by provozovatel využíval navážení paliva například na letech do destinací, kde je palivo nabízeno za nadprůměrné ceny, mohla by úspora vyprodukovaných emisí být ještě vyšší. Nicméně jak bylo popsáno v kapitole 2.2, tato metoda je kritizována a hrozí její omezení.



3.1.1 Náklady na palivo

Co se nákladů na palivo týče, při takovémto ročním náletu výhradně na JET A-1 by operátorovi vznikly náklady na palivo asi 2 448 032 EUR. Pakliže by byl použit tento model s 12% podílem SAF, náklady na palivo by dosáhly 4 158 806 EUR. To je asi o 1 710 774 EUR více, než kdyby operátor totožný nálet učinil na fosilní palivo. Je důležité dodat, že cena paliva se v jednotlivých destinacích výrazně liší a model pracuje s průměrnou cenou za palivo JET A-1 v Evropě, která se vztahuje k dubnu roku 2023. V případě, kdy by operátor volil kontroverzní metodu navážení paliva do destinací, kde je JET A-1 nadprůměrně drahé, náklady na palivo by se mohly snížit.

3.1.2 Emise

V případě, že všechny lety by byly provedeny na palivo JET A-1 s emisním faktorem 3,15 kg CO₂/kg paliva, celkové množství vyprodukovaného CO₂ za rok by činilo 10 563 427 kg. Operátor tedy překračuje hranici 10 000 tun, a tudíž je povinen nakoupit emisní povolenky v hodnotě 1 063 420 EUR. Tento výpočet pracuje s cenou za jednu emisní povolenku odpovídající 100,67 EUR. Tato cena byla aktuální k dubnu 2023 viz graf č. 3.



Graf 3: Vývoj v ceně za emisní povolenku dle Statista [58]



Při zařazení letů na palivo SAF tak, jak to popisuje vytvořený model, provozovatel vyprodukuje 9 983 503 kg CO₂. Tím pádem se těsně dostává pod hranici, kdy je povinen platit za emitovaný CO₂ a odpadá mu tak povinnost nákupu emisních povolenek.

Je jednoznačné, že aplikace modelu má pozitivní dopad na životní prostředí. Díky zařazení letů na palivo SAF se sníží množství vyprodukovaného CO₂, a to přibližně o 579 923 kg oproti totožnému náletu na palivo JET A-1.

3.1.3 Ekonomický dopad při aplikaci modelu

V případě použití této strategie pro leteckou společnost, která operuje letouny Cessna 680 Citation Sovereign s celkovým ročním náletem 4191 hodin by společnost musela zvýšit náklady na provoz asi o 647 354 EUR, avšak získala by k dispozici nálet 230 hodin navíc. Letecká společnost by sice vynaložila na palivo o 1 710 774 EUR více, než kdyby létala na JET A-1, ale vyhnula by se nákladu na emisní povolenky ve výši 1 063 404 EUR.

Právě naceňování letů, které je velmi individuální, by rozhodlo, zdali by prodej právě 230 hodin letů, které společnost navíc získá, vyvážil tyto zvýšené náklady na palivo. Naceňování letů v business aviation podléhá mnoha faktorům, ať už se jedná o výši letištních poplatků, délky letů, výši přeletových poplatků jednotlivých zemí, nebo časech odletů. Obecně tedy nelze říci, zda by měla aplikace modelu pozitivní či negativní ekonomický dopad na operátora. Zjednodušeně lze však rozpočítat zvýšené náklady na jednu letovou hodinu. Pakliže by operátor měl zájem tento model aplikovat bez zvýšení cen, musel by jednu prodanou letovou hodinu zdražit asi o 146 EUR. Vzhledem k tomu, že ceny letů soukromými tryskáči začínají řádově v několika tisících EUR za hodinu letu, je toto zdražení téměř zanedbatelné.

3.2 Model 2

Základní informace pro analýzu modelu 2 jsou totožné, jako pro model 1, jak je uvedeno v tabulce č. 5. Následují pak výpočty hodnot, jež jsou k nahlédnutí v tabulce č. 9.



Tabulka 9: Výpočty paliva pro prvních 5 letů, model 2

Natankované palivo (kg)	Landing Fuel (kg)	Dotankováno SAF v 40% směsi (kg)	Množství čistého SAF (kg)	Dotankováno JET A1 (kg)
5000	3000	5000	2000	3000
133	600	0	0	133
667	600	0	0	667
4400	4333	4400	1760	2640
0	2733	0	0	0

Hodnoty pro sloupec „Natankované palivo“ jsou spočteny pomocí vzorců 9, 10 a 11 v závislosti na aktuální situaci po přistání tak, jak je patrné z rozhodovacího stromu popsáném na obrázku č. 15. Jak je patrné tabulky č. 5, již v první destinaci se nachází palivo SAF a provozovatel tak plní v maximálním možném množství, a to 5000 kg paliva dle vzorce č. 11. Druhá a třetí destinace odletu palivem SAF nedisponuje, a tak provozovatel plní jen takové množství, které je nezbytně nutné pro odletění dalšího úseku s rezervou 600 kg dle vzorce č. 10. Při odletu z páté destinace dle vzorce č. 9 provozovatel netankuje žádné palivo.

Palivo po přistání neboli „Landing Fuel“ je odečet spáleného paliva pro daný úsek od celkového množství paliva na palubě před odletem, což na prvním úseku dává 3000 kg paliva. Vzhledem k tomu, že se v první destinaci plní palivo SAF, jak už bylo zmíněno výše, udává hodnota ve sloupci „dotankováno SAF ve 40% směsi“ dle vzorce č. 11 právě 5000 kg. V následujících částech analýzy se pak postupuje stejně jako u modelu 1 a pro každý úsek je patrné, jaké množství JET A-1 a SAF je na každém letu natankováno. To je v závěru dáno do poměru s aktuálním množstvím paliva v nádržích pro přehled o směsi, která se po každém odletěném úseku nachází v nádržích. Tyto informace jsou klíčové pro shrnutí výsledků ohledně celkového náletu flotily za tento rok.

Druhý model pracuje se strategií plnění, která cílí na co možná nejvyšší podíl SAF v celoroční spotřebě paliva. Údaje o konektivité zůstávají stejné jako u modelu 1, a i tento model pracuje s tím, že v pěti nejčastěji obsluhovaných letištích v síti dopravce je palivo SAF k dispozici ve 40% směsi. Místo tankování objemu potřebného vždy pro následující let operátor při aplikaci tohoto modelu plní v destinacích s palivem SAF vždy maximální možné množství paliva. Pakliže operátor provozuje let z destinace, kde SAF k dispozici není, bere jen takové množství JET A-1, aby bylo možné bezpečně odletět následující úsek. Jinými slovy tedy tankuje takový objem paliva, který je potřebný pro výkon letu plus 600 kg paliva jakožto rezervu, která byla odhadnuta pro účely této práce. V některých



případech tedy operátor netankuje žádné množství paliva, a to pakliže v nádržích po předešlém letu stále zůstává dostatečné množství na výkon dalšího letu i se zmíněnou rezervou.

Tabulka 10: Výsledky modelu 2

Celkové množství natankovaného paliva za rok (kg)	3 358 334
Z toho dotankováno JET A1 (bez podílu v SAF) (kg)	1 127 268
Z toho dotankováno 40% SAF (kg)	2 231 066
Celkové množství dotankovaného JET A1 včetně složky v SAF směsi (kg)	2 465 908
Celkové množství dotankovaného 100% SAF (kg)	892 426
Emise celkově (kg)	9 240 113
Emise při totžném náletu na pouze JET A1 (kg)	10 578 752
Ušetřené emise (kg)	1 338 640
Ušetřeno hodin letu na JET A1 (hod)	531
Celkový podíl 100% SAF na roční spotřebě	27%

Tabulka č. 10 shrnuje nejdůležitější výsledky modelu 2. Při aplikaci této strategie operátor z celkového množství natankovaného paliva za rok natankuje 27 % paliva SAF a 73 % paliva JET A-1. Tento mix provozovateli zajistí možnost zvýšení náletu asi o 531 hodin na JET A-1 za rok při produkci stejného objemu emisí CO₂, jako kdyby jeho roční nálet operoval výhradně na fosilní palivo JET A-1.

3.2.1 Náklady na palivo

V případě použití modelu 2 jsou náklady na palivo 6 400 570 EUR. Pakliže by celý provoz operoval jen s palivem JET A-1, náklady na palivo by byly 2 451 583 EUR. Tento model by tedy zvýšil náklady na palivo o 3 948 987 EUR za rok. Stejně tak jako v modelu 1, i zde se pracuje s průměrnou cenou JET A-1 k dubnu 2023 a cenou 40% SAF nabízeného na EHAM v dubnu 2023.

3.2.2 Emise

Při použití modelu 2 operátor vyprodukuje 9 240 112 kg CO₂. Oproti totožnému náletu na palivo JET A-1 by ušetřil asi 1 338 640 kg emisí, což je ekvivalentní množství k 531 hodinám letu na palivo JET A-1. Provozovatel při zařazení modelu 2 nebude tedy povinen nakupovat emisní povolenky v rámci EU ETS, jelikož se nestane producentem s objemem nad 10 000 tun vyprodukovaného CO₂.



Vzhledem k tomu, že tento model v porovnání s provozem na JET A-1 ušetří provozovateli asi 1 338 640 kg vyprodukovaného CO₂, je zřejmé, že zavedení strategie plnění podle tohoto modelu bude mít pozitivní vliv na životní prostředí.

3.2.3 Ekonomický dopad při aplikaci modelu

Operátorovi se při použití tohoto modelu zvýší náklady na palivo, a to o 3 948 987 EUR. Avšak při zachování stejného množství emisí takový provoz umožní nálet přibližně o 531 hodin vyšší, nežli při létání na výhradně JET A-1. Náklady na palivo se tedy v porovnání s provozem výhradně na JET A-1 zvednou o 3 948 987 EUR. Zároveň provozovatel ušetří 1 064 962 EUR za emisní povolenky. Provoz je tedy na jeden rok nákladnější asi o 2 884 025 EUR.

Jak je již zmíněno v obdobné kapitole pro model 1, pouze naceňovací strategie provozovatele rozhodne, zdali by se zvýšené náklady vykompenzovaly získanými 531 letovými hodinami navíc. Pakliže by operátor chtěl zvýšené náklady při použití tohoto modelu kompenzovat zvýšením ceny za jednu prodanou hodinu, cena by vzrostla o zmíněných 610 EUR/hod.



4. Diskuse

Myšlenka této práce vychází z neustále se zvyšujících nároků na šetrnost k životnímu prostředí. Provozovatelé jsou povinni kompenzovat své emise CO₂ a především v rámci EU bylo zřízeno několik systémů, které jsou, či v blízké budoucnosti budou, pro provozovatele závazné a nelze se jim vyhnout. Právě tyto nové trendy jsou hnací silou pro reformu nejen business aviation, které bude muset zavést určité změny pro adaptaci na požadované regulace a normy. Zároveň je business aviation na vzestupu a stále větší poptávka naznačuje, že klienti jsou ochotni za tyto služby platit i přes to, že vytváří masivní uhlíkovou stopu. Aby provozovatelé dokázali obsloužit poptávku, musí se adaptovat na aktuální environmentální požadavky a počítat s cenou vyprodukovaného CO₂ ve svých obchodních plánech. Projekty jako Green Deal, CORSIA nebo iniciativa ReFuelEU i celý systém EU ETS jednoznačně ukazují, že letectví čelí environmentálním výzvám, kvůli kterým budou letečtí provozovatelé nuceni implementovat nové strategie a přehodnotit jejich dosavadní fungování.

Tato práce vychází z myšlenky, že implementace paliva SAF je provozovatelem žádoucí. Právě tato predispozice je založena na základě rešerše, ze které je jednoznačně patrné, že provozovatelé kvůli zavádění regulací a nástrojů pro zlepšení environmentálních výsledků musí změnit své strategie a implementovat nástroje pro snížení jejich dopadu na životní prostředí.

Tato práce reflektuje aktuální situaci a představuje dva modely pro tankovací strategie business aviation společnosti sídlící v České republice. Oba modely vychází ze sítě provozovatele, jež byla nejprve popsána pomocí konektivity, která je typickým nástrojem pro charakteristiku sítě dopravců. Pět nejčastěji obsluhovaných uzlů provozovatele byly dále určeny jako letiště, která nabízí palivo SAF. Síť provozovatele byla charakterizována pomocí Gephi a pro vizualizaci sítě v mapě byl poté použit program Matlab.

V dnešní době existuje několik nástrojů, které mohou provozovatelé využít pro snížení jejich dopadu na životní prostředí, a tedy i pro ušetření nákladů na emisní povolenky. Podle ICAO je právě létání na SAF nejefektivnějším nástrojem pro zlepšení environmentálních výsledků. I to je důvodem, proč se práce zabývá právě implementací paliva SAF.

V práci byly navrženy dva modely, které mají za cíl vhodně implementovat lety na palivo SAF. Právě popsané objemy paliv, které jsou v práci klíčové pro definici vzorců, vychází z nařízení EASA Air Operations Regulation (EU) No 965/2012 [53], které mimo jiné zavádí podmínky týkající se právě tankování paliva.



Oba navržené modely jsou posuzovány především z ekonomického hlediska a byly vytvořeny v programu Excel. Vzhledem k tomu, že palivo SAF je násobně dražší, nežli JET A-1, je jasné, že implementace letů na SAF bude vyžadovat zvýšení cen za nabízené lety. Na druhou stranu při zařazení letů na SAF operátor nevyпустí takové množství emisí, jako kdyby totožný nálet operoval výhradně na JET A-1. Vzhledem k tomu, že za vyprodukované emise musí operátoři, kteří překročí 10 000 tun vyemitovaného CO₂ za rok platit, může v některých případech zařazení letů na SAF ušetřit část nákladů na emise. Tvorba modelů, které realisticky uvažují zvýšení nákladů na palivo, a i přesto mohou být implementovány, aniž by vedly k vysokým zdražením business aviation letů, je hlavním cílem práce.

Model 1 vychází z iniciativy Fit for 55 a Nařízení evropského parlamentu a rady o zajištění rovných podmínek pro udržitelnou leteckou dopravu [54] a nepracuje tedy s metodou navážení paliva. Lze říci, že tento model je realistický a velmi jednoduchý, jelikož při jeho aplikaci operátorovi odpadá nutnost odhadování, zdali je navážení paliva finančně výhodné. Další výhodou je, že letadla, které tankují jen takový objem paliva, jaký je nutný pro obsluhu daného letu, nemají zvýšenou hmotnost o nepotřebné palivo. Čím je hmotnost letadla nižší, tím kratší vzletové a přistávací dráhy jsou potřeba pro obsluhu letu, což rozšiřuje možnosti operátora přistávat a vzletat z menších letišť.

První model přináší výsledky, které říkají, že náklady na implementaci letů na SAF podle predispozic pro tento model u této konkrétní společnosti budou 647 354 EUR. Při rozpočítání této částky na jednotlivé letové hodiny se jedná o zvýšení ceny za prodanou hodinu letu o 146 EUR. Implementace tohoto modelu by tedy pro tuto společnost mohla být proveditelná bez nutnosti výrazného přečehování nabízených služeb. Model 1 přináší výsledek, který poměr složky SAF v celkovém ročním odběru paliva specifikuje jako 12 %. Tento výsledek jde považovat za realistický, jelikož právě podobné cíle si kladou i operátoři aerolinií, kteří se o implementaci SAF zajímají. Lze zmínit na příklad irského nízkonákladového dopravce Ryanair, který si vytyčil právě hodnotu 12 % [59].

Model 2 popisuje implementaci strategie, která by maximalizovala poměr SAF v celkovém celoročním objemu natankovaného paliva. I model 2 však stále respektuje vytvořenou predispozici, která říká, že palivo SAF je k dispozici pouze v pěti nejčastěji obsluhovaných destinacích. Tento model pracuje i s metodou navážení paliva, která je sice legální, avšak kritizována institucemi evropské unie. Pro zachování environmentálního rázu této práce model ale pracuje s navážením pouze paliva SAF, nikoliv s navážením paliva JET A-1. Tím, že v celoroční spotřebě se poměr SAF při implementaci této strategie zvýší na 27 %, je jasné, že i náklady na aplikaci tohoto modelu budou vyšší. Výsledky modelu 2 odhadují zvýšení nákladů na palivo o 3 948 987 EUR, operátor však díky použití tohoto modelu nepřekročí hranici 10 000 tun a nemusí platit poplatky za emisní povolenky ve výši 1 064 962 EUR. Celkově jsou náklady na roční provoz vyšší o 2 884 025 EUR, nežli při aplikaci totožné strategie s lety výhradně na



JET A-1. Při rozpočítání tohoto zvýšení nákladů na jednotlivé letové hodiny, operátor by cenu za prodanou letovou hodinu musel zvýšit o 610 EUR.

To, zdali by implementace těchto modelů a následné s nimi spojené náklady pro operátora byly přípustné, záleží pouze na konkrétní naceňování strategii daného provozovatele a také elasticitě poptávky. Údaje o elasticitě poptávky v business aviation nejsou dostupné, avšak tyto klienty lze nejlépe připodobnit business cestujícím, pro které takové údaje existují. Dle IATA Economics Briefingu [60] jsou business cestující méně citliví na změnu ceny nežli „Leisure cestující“, a tak lze zdražení hodiny letu o 146 EUR v modelu 1 považovat za akceptovatelné. Dle Ing. Marcely Růžičkové, která pracuje na pozici Charter Sales Manager ve společnosti Time Air, je zdražení o 146 EUR téměř zanedbatelné vzhledem k cenám, za které se lety na modelech super midsize jets prodávají. U výsledku modelu 2 lze výsledek považovat za realizovatelný, avšak popsané zdražení by mohlo již být problematické na příklad v zimě, kdy je poptávka nižší a společnosti mnohdy snižují ceny za prodávané lety pro získání alespoň určitého počtu zakázek. Ing. Růžičková v souvislosti s druhým modelem přibližuje, že pro některou část klientely není cena rozhodující a častým kritériem je na příklad výbava interiéru a pohodlí. Pro jiné klienty by takovéto zdražení především na delších letech nad 3 hodiny mohlo být nepřijatelné [61].

Ačkoliv se ceny za prodanou letovou hodinu liší dle délky letu, ročního období, destinace aj, Ing. Růžičková také odhaduje, že u modelu 1 by zvýšení ceny za prodanou letovou hodinu bylo přibližně do 5 % a u modelu 2 asi do 20 % [61]. Dle reportu CE Delft je elasticita business cestujících od -0,4 do 1,2. Pak by tedy pro model 1 platilo, že by se poptávka mohla snížit o 2 až 6 % a u modelu dva až o 8 až 24 % [62].

Ačkoliv oba modely přináší přijatelné výsledky, které implementaci letů na SAF pro tuto společnost popisují jako realizovatelné, oba modely mají několik nedostatků. Veškeré výpočty pracují s průměrnými hodnotami, které jsou v čase proměnlivé a výsledky by se při počítání s aktuálními hodnotami mohly lišit. Cena JET A-1 je obvykle velmi proměnlivá a model pracuje s průměrnou cenou za rok 2022. Co se ceny za SAF týče, neexistují v době tvorby práce údaje o průměrné ceně tohoto paliva, jelikož se liší na základě mnoha kritérií, kterými jsou způsob výroby, poměr směsi či země odběru. Jako cena pro veškeré výpočty byla zvolena cena paliva na letišti Schiphol z dubnu 2023, která byla poskytnuta pro účely této práce tamějším poskytovatelem.

I provozní charakteristiky náletu nepočítají s přesnými hodnotami spotřeby paliva. Jelikož data o konkrétních trasách, počasí a spotřebě nebyla poskytnuta, oba modely pracují s průměrnou spotřebou a průměrnou rychlostí bez případných diverzí či palivových rezerv nad rámec těch, které musí být natankovány povinně. To se promítá i do výpočtů vyprodukovaných emisí.



Jak už bylo zmíněno, dalším nedostatkem práce je predispozice modelů, která říká, že provozovatel tankuje SAF v pěti jím nejčastěji operujících destinacích. V čase tvorby této práce se SAF nachází pouze ve dvou ze zmíněných pěti destinací. V tomto případě by ale odběr i ve zbylých třech destinacích mohl být předmětem jednání při zájmu o aplikování vytvořených strategií. Palivo SAF se nachází v desítkách evropských destinací, nabídka se každoročně rozrůstá a je závislá právě i na přímé poptávce ze strany provozovatelů.

Obecně jsou tedy výsledky obou modelů hrubým náčrtem, který analyzuje zavedení zmíněných strategií. Pro získání naprosto přesných dat by bylo nutné práci doplnit o aktuální ceny paliv a provozní specifika jednotlivých letů. Práce však nemá sloužit jako přesný návod na implementaci pro jednu konkrétní společnost, avšak má odrážet aktuální možnosti a odhadnout hrubé výsledky pro implementaci těchto dvou strategií.

Návrhem pro rozpracování této práce by mohla být tvorba software, který by uměl pracovat s daty provozovatelů a ceníky poskytovatelů paliv, čímž by dovedl zpřesnit výsledky pro dané operátory. Software tohoto typu by mohl by na základě zadaných predispozic vytvořit tankovací plán pro operátory, jež by o implementaci letů na SAF měli zájem. Vstupními daty by musely být informace o síti provozovatele, aktuální dostupnosti SAF, požadovaných výsledcích poměru SAF a JET A-1 v náletu za určité období a odhad prodaných letových hodin na dané období.

I přes to, že výsledky obou modelů jsou příznivé, jelikož pro implementaci by především u modelu 1 nebylo nutné výrazné zdražení cen letů, aplikace obou modelů přináší zvýšení nákladů na palivo. Pakliže by operátor držel záměrně svůj roční nálet pod úrovní produkce 10 000 tun CO₂ a veškeré lety obsluhoval na JET A-1, nevznikly by mu tak náklady ani na emisní povolenky, ani na dražší SAF. Tato skutečnost však výhledově není udržitelná, jelikož stávající podmínky EU ETS a CORSIA budou v následujících fázích implementace změněny a ceny za emise se budou zvyšovat.

Vedle toho také figuruje vývoj cen paliva JET A-1. Vzhledem k tomu, že JET A-1 je fosilní typ paliva, jeho vyrobené množství je limitováno množstvím ropy. To je však konečné a díky predikcím je zřejmé, že cena této komodity se bude zvyšovat [63].

V kombinaci s vývojem cen emisí a fosilních paliv také záleží na vývoji cen za SAF. Cena paliv SAF je závislá na několika faktorech jako jsou především poptávka a výrobní kapacity. Tyto souvislosti jsou však propojené. Provozovatelé zvýší svou poptávku, pakliže cena za palivo SAF nebude příliš vysoká. Zároveň se cena bude snižovat se zvyšujícím se množstvím SAF na trhu. Aktuálně je zájem o palivo znatelný a stále roste, což by v budoucnu mělo vést ze schopnosti produkce většího objemu paliv SAF za nižší cenu [64].



Pakliže by se ceny za všechny tyto položky vyvíjely dle dostupných odhadů, bude SAF pro provozovatele letecké dopravy stále zajímavější a modely uvedené v této práci i jiné další strategie by mohly přinést rozdílné výsledky nežli v době tvorby této práce.

Investice do implementace letů na SAF není tedy jen o včasné adaptaci na zpřísňující se environmentální požadavky, ale také o získání specifického postavení na trhu. Je patrné, že jistá skupina cestujících se environmentálním dopadem cestování zabývá. Podle výzkumu C. Hagmanna a J. Semejina [65]: *„Většina respondentů ve výzkumu má specifické povědomí o přístupu k životnímu prostředí jednotlivých aerolinek a průzkum navíc vyvrací tezi, že pozitivní přístup aerolinky k životnímu prostředí neovlivňuje pasažéry při výběru aerolinky.“* Tyto i další skutečnosti jsou dnes již známé a reklamní strategie aktuálně často cílí právě na environmentální šetrnost. Příkladem může být italský vlajkový dopravce ITA Airways, který do flotily zařadil nový letou A350 WBX v livery, která odkazuje na závazek společnosti ohledně spotřeby paliva a používání SAF. Společnost se chce do roku 2025 stát „nejzelenější aerolinkou Evropy“ [66]. I přesto, že zmiňovaný výzkum se zabýval běžným komerčním letectvím, výběr vhodného operátora business aviation může být stejně tak ovlivněn tím, jak daná společnost přistupuje k ochraně životního prostředí. Ačkoliv jsou to především klasičtí dopravci, kdo využívá zodpovědný přístup k životnímu prostředí ke svému zviditelnění a zvýšení oblíbenosti u zákazníků, i v oblasti business aviation dnes existují zájemci o palivo SAF. Někteří cestující u brokerů poptávají lety na SAF a dlouhodobě se zajímají o kompenzaci jejich uhlíkové stopy. Avšak málokterá letecká společnost je schopna těmto požadavkům vyhovět. Gigant v oblasti business aviation, americká společnost NetJets, jako první do svých produktů zařadila možnost kompenzovat environmentální dopad letů pro své klienty. Prostředky z tohoto programu, který představují pod názvem „Blue Skies Carbon Offset Program“, posléze investují mimo jiné také do paliva SAF. Například všechny lety ze San Francisca operují NetJets právě na Sustainable Aviation Fuel a mimo to prohlašují, že veškeré evropské operace společnosti jsou již od roku 2012 uhlíkově neutrální [67]. NetJets jsou však co se environmentální odpovědnosti týče v oblasti business aviation průkopníky a zájem u menších business aviation provozovatelů není příliš obvyklý i přes to, že zájem klientů o možnosti letů na SAF v posledních letech výrazně roste. I to je důvodem, proč v současné době nabízení letů na SAF může společnosti vybudovat specifické místo na trhu.

Investice do paliva SAF však přichází i od korporátů, jako jsou Amazon či Microsoft [68, 69], kteří považují SAF jako klíčový nástroj pro dosažení uhlíkové neutrality a cestu ke stabilitě cen paliv, která při používání fosilních paliv o konečném množství nikdy nemůže být dosažena.

Je nutné zmínit, že v případě analyzovaného dopravce je jen 11 % všech letů delších, než 3 hodiny. Právě na většinu takto krátkých letů by šel nasadit například model Embraer Phenom 100, jehož spotřeba



paliva je přibližně o třetinu nižší nežli u modelu, který dopravce nabízí. Jak bylo rozebráno v kapitole 1, nasazování menších letadel na tyto krátké lety by společností taktéž mohlo přispět k dosažení lepších environmentálních výsledků a tím i ke snížení nákladů na palivo. Klienti však velmi často žádají větší letadla pro zajištění vysokého komfortu a iniciativa společnosti pro výběr menšího letounu nemusí nutně zajistit zlepšení výsledků, naopak by při zavedení politiky, která by přiřazovala letouny na dané lety, mohla přijít o zákazníky.

Dalším faktorem, který by mohl ovlivnit vývoj této problematiky, je zavedení placení daně pro business aviation lety za účelem výběru financí pro následnou kompenzaci negativního dopadu na životní prostředí. Takovýto návrh se podle společnosti Transport & Environment [6] již diskutoval ve Francii či Švýcarsku. Francouzi přišli s návrhem zavedení 360 EUR daně na všechny soukromé lety kratší než 2000 km a 1200 EUR za lety delší. Výjimku z platby této daně by pak bylo možné získat při letu na SAF. Je nutné podotknout, že mnoho business aviation letů však nejsou označeny jako soukromé (private flights), ale jako obchodní lety (charter flights). Na ty by se tento nástroj nevztahoval. Totožná studie také říká, že cestující na soukromých letech jsou příliš bohatí na to, aby pro ně takováto daň byla překážkou pro zvolení této formy cestování. V porovnání s modelem 1 této práce, který hovoří o zvýšení ceny o 146 EUR na hodinu letu, se při letech kratších, než 2000 km jedná o podobnou finanční zátěž.



Závěr

V této práci byly vytvořeny dva modely pro implementaci letů na palivo SAF pro business aviation společnost sídlící v České republice. Modely vznikly v kontextu aktuální doby, která čelí výzvám v oblasti udržitelnosti. Některé aerolinky provozující klasické komerční letouny již implementovaly lety na palivo SAF a tuto skutečnost využívají nejen k dosažení lepších environmentálních výsledků, ale také k vytvoření pozitivního image a oslovení ekologicky smýšlející skupiny zákazníků. V oblasti business aviation jsou však snahy na snížení environmentální zátěže téměř nepatrné. Navržené modely mají zhodnotit zavedení letů na SAF v aktuální provozně-ekonomické situaci právě v prostředí business aviation.

Business aviation je oblast letectví, která je hojně kritizována kvůli velmi špatným environmentálním výsledkům a lze ji považovat za nejméně ekologickou oblast dopravy. S příchodem nových technologií do pozemní a námořní dopravy se v budoucnu tato pozice bude upevňovat. Zároveň je business aviation oblast letectví, která je na vzestupu a klientela projevuje o lety business jety velký zájem. Velký rozmach zažilo business aviation také v době pandemie COVID-19, kdy kvůli omezení běžné letecké přepravy byly lety business jety hojně poptávány.

Nejen v prostorách Evropského hospodářského prostoru se aktuálně zavádějí programy a iniciativy, které mají za cíl snížit produkci CO₂ a dalších skleníkových plynů. Mnohé z nich jsou závazné a je jen otázka času, kdy dopravci, včetně operátorů business aviation, budou muset změnit své strategie za účelem implementace nástrojů, které zlepší jejich environmentální výsledky. Nejefektivnějším a jediným aktuálně dostupným nástrojem pro takovéto změny má být právě implementace SAF. Vedle mezinárodních a národních pravidel, která jsou pro operátory závazná, existují také další iniciativy například letišť, které lety na SAF zvýhodňují. Takovým letům mohou být sníženy ceny za přistávací poplatky.

SAF je již dobře zmapované téma a je vhodné k použití ve stávajících leteckých motorech. Palivo SAF se pro dosažení optimálních vlastností mísí s fosilním palivem JET A-1, a proto není nutné měnit či modernizovat aktuální infrastrukturu, což by například u elektrifikace letecké dopravy či přechodu na vodíkové pohony bylo nákladnou nutností. Nevýhodou tohoto paliva je především několikanásobně vysoká cena nežli cena paliva JET A-1 a také výroba v nedostatečném množství. Předpokládá se však, že s rostoucím zájmem bude paliva SAF přibývat, čímž také klesne jeho cena.

Bezesporu však implementace letů na SAF přinese zdražení za nabízené služby. Není jasné, kdy bude trh připraven na zdražování business aviation letů, avšak modely představené v této práci přináší



výsledky, které značí, že by zdražení letů kvůli implementaci SAF nemělo být vzhledem k cenám za tyto služby příliš vysoké. Zároveň lze klienty business aviation operátorů považovat za vcelku odolné vůči zdražování služeb a výsledky obou modelů ukazují, že implementace podle vytvořených strategií je realizovatelná a neměla by mít zásadní vliv na změnu poptávky.

Oba navrhované modely jsou založené na aktuálních podmínkách pro provoz business jetů a platné legislativě. Model 1 navíc reflektuje aktuálně zvažovanou možnost omezení metody navážení paliva. Tato myšlenka je hojně komentována právě v iniciativě Fit for 55. Model 2 s praktikami navážení paliva pracuje, v dnešní době se jedná o sice kritizovanou, avšak legální a často využívanou praxi. Pro zachování environmentálního rázu práce model 2 pracuje pouze s navážením SAF, nikoliv paliva JET A-1. Oba modely přináší zlepšení v oblasti produkce CO₂ a výsledky modelu 1 se podobají, co se podílu použitého SAF a JET A-1 týče, cílům běžných komerčních provozovatelů, kteří se implementací SAF zabývají. Aplikace modelu 1 by tedy mohla být skutečně vhodnou strategií pro implementaci letů na SAF.

Vzhledem ke zdražování ropy i emisních povolenek je zřejmé, že rozdíl mezi cenami fosilních paliv a SAF se bude snižovat. To ruku v ruce souvisí s navýšením poptávky po SAF a snížením ceny za toto ekologicky šetrnější palivo. Během následujících let se tedy implementace letů na SAF může stát klíčovou strategií nejen pro snížení dopadu na životní prostředí, ale také vhodným nástrojem pro snížení nákladů na provozování letů.



Použité zdroje

- [1] KLÖWER, M. Quantifying aviation's contribution to global warming. *Environmental Research Letters*. 2021.
- [2] IATA. *Climate Change Fact Sheet* [online]. [cit. 2023-11-02]. Dostupné z: https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/fact_sheet_on_climate_change.pdf
- [3] IATA. *Developing Sustainable Aviation Fuel (SAF)* [online]. [cit. 2023-11-02]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/programs/environment/sustainable-aviation-fuels/>
- [4] *Sustainable Aviation Fuels (SAF)*. ICAO ENVIRONMENT [online]. [cit. 2022-10-04]. Dostupné z: <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx>
- [5] AIRBUS: *Sustainable Aviation Fuel* [online]. [cit. 2022-10-02]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/en/sustainability/environment/climate-change/decarbonisation/sustainable-aviation-fuel>
- [6] *Transport & Environment (2021). Private jets: can the super rich supercharge zero-emission aviation?*
- [7] IATA. *Our Commitment to Fly Net Zero by 2050* [online]. [cit. 2023-11-02]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/programs/environment/flynetzero/>
- [8] *Vliv letecké dopravy na atmosféru: problematika začlenění leteckých společností do EU ETS.* Hospodka Jakub, Pleninger Stanislav
- [9] HOSPODKA, Jakub. *Kondenzační stopy*. Praha. Habilitační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.
- [10] UNEP. *Aviation and the Global Atmosphere* [online]. [cit. 2. 10. 2020]. Dostupný na WWW: <https://www.unenvironment.org/resources/report/aviation-and-global-atmosphere>
- [11] IPCC. *Global Warming of 1.5 °C* [online]. 2018 [cit. 2022-10-05]. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Special Report.



- [12] IPCC. IPCC Sixth Assessment Report: Summary for Policymakers Headline Statements [online]. 2021 [cit. 2022-10-05]. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/resources/spm-headline-statements/>. Report.
- [13] AIR BP. Jet fuel [online]. [cit. 2023-11-02]. Dostupné z: <https://www.bp.com/en/global/air-bp/aviation-fuel/jet-fuel.html>
- [14] VALÍČEK, Ing. Svatopluk. Vliv těžby ropy a plynu na životní prostředí [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/B18C18B302379CCCC1256FC000407A70/\\$file/e-02-3.htm](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/B18C18B302379CCCC1256FC000407A70/$file/e-02-3.htm)
- [15] Downstream Petroleum. Tech. Rep: Australian Institute of Petroleum [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.aip.com.au/sites/default/files/download-files/2020-04/Downstream%20Petroleum.pdf>
- [16] Bp Statistical Review of World Energy: 68. edition [online]. 2019 [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- [17] KURZAWSKA, Paula. Overview of Sustainable Aviation Fuels including emission of particulate matter and harmful gaseous exhaust gas compounds: Faculty of Civil and Transport Engineering, Poznan University of Technology. Transportation Research Procedia. Poznan, Poland: Elsevier, 2021.
- [18] AIRMADE™ Carbon Technology [online]. Air Company, 2019 [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.aircompany.com/technology/>
- [19] DAF. Výroba kapalného paliva z ekologické energie („power-to-liquid“) [online]. [cit. 2023-11-02]. Dostupné z: <https://www.daftrucks.cz/cs-cz/trucks/alternativni-paliva-a-hnaci-soustavy/clean-diesel-technology/power-to-liquid>
- [20] HILEMAN, J. I. a S. W. STRATTON. Alternative jet fuel feasibility: Massachusetts Institute Technology, USA [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/tranpol
- [21] SUSTAINABLE AVIATION FUELS GUIDE: ICAO [online]. In: 2018 [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide_100519.pdf
- [22] Fueling the Future [online]. In: . 2020 [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.ebaa.org/resources/fueling-the-future-a-guide-on-sustainable-aviation-fuel/>



- [23] ASTM. Detailed Overview [online]. [cit. 2023-11-02]. Dostupné z: <https://www.astm.org/about/overview/detailed-overview.html>
- [24] STRATTON, S. W. a Aaditya KHANAL. The current techno-economic, environmental, policy status and perspectives of sustainable aviation fuel (SAF): Jasper Department of Chemical Engineering, University of Texas at Tyler, Tyler, TX 75799, United States [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/fuel
- [25] Battery technology, fueling Aviation Electrification. Www.icao. int [online]. [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://www.icao.int/Meetings/Stocktaking2021/Pages/prest1.aspx>
- [26] THE GUARDIAN. This article is more than 5 years old Norway aims for all short-haul flights to be 100% electric by 2040 [online]. [cit. 2023-11-02]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/world/2018/jan/18/norway-aims-for-all-short-haul-flights-to-be-100-electric-by-2040>
- [27] Hydrogen and its potential in aviation. Www.easa.europa.eu [online]. [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/hydrogen-and-its-potential-aviation>
- [28] Life Cycle Emissions of Sustainable Aviation Fuels. Www.ICAO.int: https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF_LifeCycle.aspx
- [29] Sustainable Aviation Fuel Review of Technical Pathways [online]. **2020** [cit. 2023-09-18]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2020/09/f78/beto-sust-aviation-fuel-sep-2020.pdf>
- [30] IATA. SAF Production Set for Growth but Needs Policy Support to Diversify Sources [online]. [cit. 2023-11-02]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/pressroom/2023-releases/2023-06-06-01/>
- [31] ICAO. SAF Airports Map [online]. [cit. 2023-11-02]. Dostupné z: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Airports.aspx>
- [32] A European Green Deal: Striving to be the first climate-neutral continent [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- [33] EU Emissions Trading System (EU ETS). Climate Action [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en



- [34] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES: Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES ze dne 13. října 2003 o vytvoření systému pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů ve Společenství a o změně směrnice Rady 96/61/ESText s významem pro EHP. In: . 2003, ročník 2003, 2003/87/ES. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32003L0087>
- [35] Zákon č. 383/2012 Sb.: Zákon o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů. In: . ročník 2012, 383/2012. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-383>
- [36] Nejčastější otázky a odpovědi k EU ETS: Ministerstvo životního prostředí. <https://www.mzp.cz> [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20231214_Nejcastejsi_otazky_a_odpovedi_k_EU_ETS
- [37] EU Carbon Permits [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
- [38] Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation. [Www.icao.int](http://www.icao.int) [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>
- [39] REGIONAL GATEWAY. Sweden to increase airport fees for high polluting aircraft. Online. GREENBANK, Chloe. 2021. Dostupné z: <https://www.regionalgateway.net/sweden-to-increase-airport-fees-for-high-polluting-aircraft/>. [cit. 2023-11-25].
- [40] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES: Nařízení komise EU č. 601/2012. In: . 2012, ročník 2012, 601/2012.
- [41] ICAO. Environmental Report 2019. Dostupné z: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/envrep2019.aspx>
- [42] Fact Sheet: Sustainability in 2021. [Www.lufthansagroup.com](http://www.lufthansagroup.com) [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.lufthansagroup.com/media/downloads/en/responsibility/LH-Factsheet-Sustainability-2021.pdf>
- [43] Brandon Graver, Kevin Zhang a Dan Rutherford. CO2 emissions from commercial aviation, 2018 [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT_CO2-commercl-aviation-2018_20190918.pdf. ICCT.



- [44] Hamilton-DLR, B. A. (2017). Economic Impact of Business Aviation in Europe. Retrieved from <https://nbaa.org/wp-content/uploads/aircraft-operations/international/region-v-europe/boozalle-nhamilton-bizav-impact-on-Europe.pdf>
- [45] Gollan, D. (2018, October 10). Why, When And Where The Super Rich Fly Their Private Jets. Forbes. Retrieved November 11, 2020, from <https://www.forbes.com/sites/douggollan/2018/10/10/why-when-and-where-the-super-rich-fly-their-private-jets>
- [46] PANTELAKI, Evangelia a Andreas PAPTAEODOROU. Behind the scenes of glamour: A systematic literature review of the business aviation sector [online]. 2022 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969699722001181>
- [47] IBAC DEFINITIONS OF BUSINESS AVIATION [online]. [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://ibac.org/about-ibac/resources-and-links/ibac-definitions-of-business-aviation>
- [48] M. Pazourek, Business Aviation in Europe, Perner's Contacts 5(6) (2011) 236–243.
- [49] European Business Aviation Traffic Tracker (January 2023). Www.ebaa.org [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.ebaa.org/resources/european-business-aviation-traffic-tracker-january-2023/>
- [50] Eight Types of Private Jets: Which One Is for You?. Www.jetex.com [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.jetex.com/types-of-private-jets/>
- [51] FREEMAN, Linton C. Centrality in social networks conceptual clarification [online]. [cit. 2022-07-23]. ISSN 0378-8733. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)
- [52] Graph Theory 101. Harvard University The Graduate School of Arts and Science [online]. 2021 [cit. 2023-09-18]. Dostupné z: <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2021/graph-theory-101/>
- [53] EASA Air Operations Regulation (EU) No 965/2012. In: . 2012, 965/2012
- [54] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY: o zajištění rovných podmínek pro udržitelnou leteckou dopravu. In: . 2021.
- [55] Fuel & Energy planning: Impact in Fuel planning policy within AOCs [online]. In: . s. 12 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/136795/en>



- [56] Greenhouse gas reporting: conversion factors 2021 [online]. In: . [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021>
- [57] Jet Fuel Price Monitor: Fuel Price Analysis. Www.iata.org [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/publications/economics/fuel-monitor/>
- [58] European Union Emission Trading System (EU-ETS) carbon pricing in 2022 [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1322214/carbon-prices-european-union-emission-trading-scheme/>
- [59] Ryanair & Repsol Sign Major Sustainable Fuel Agreement [online]. [cit. 2023-06-13]. Dostupné z: <https://corporate.ryanair.com/news/ryanair-repsol-sign-major-sustainable-fuel-agreement/>
- [60] IATA Air Travel Demand: IATA ECONOMICS BRIEFING. No 9. 2008.
- [61] RŮŽIČKOVÁ, Marcela, Charter Sales Manager ve společnosti Time Air [ústní sdělení]. Praha, 23.11.2023.
- [62] HOF, A.F., J.M.W. DINGS a W.J. DIJKSTRA. Price elasticities in aviation and marine shipping (literature study) [online]. [cit. 2023-11-23]. Dostupné z: <https://cedelft.eu/publications/price-elasticities-in-aviation-and-marine-shipping-literature-study/#:~:text=With%20respect%20to%20air%20passenger,Income%20elasticity>
- [63] World Bank [online]. [cit. 2023-07-09]. Dostupné z: <https://www.worldbank.org/en/home>
- [64] Current landscape and future of SAF industry: Production capacity and demand – 2020 to 2030 [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/eco/eaer/topics/sustainable-aviation-fuels/current-landscape-future-saf-industry#production-capacity-and-demand-2020-to-2030>
- [65] HAGMANN, C. a J. SEMEJIN. Exploring the green image of airlines: Passenger perceptions and airline choice. In: Journal of Air Transport Management.
- [66] ITA Shows Off A Sustainability Livery For An Airbus A350 [online]. [cit. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://simpleflying.com/ita-airbus-a350-sustainability-livery/>
- [67] Committed To Sustainability [online]. [cit. 2023-07-08]. Dostupné z: <https://www.netjets.com/en-us/sustainability>



[68] Amazon Air joins the Sustainable Aviation Buyers Alliance (SABA). Online. 2021. Dostupné z: <https://www.aboutamazon.com/news/sustainability/amazon-air-joins-the-sustainable-aviation-buyers-alliance-saba>. [cit. 2023-11-27].

[69] Microsoft signs SAF purchase plan with World Energy. Online. BOVENIZER, Noah. 2021. Dostupné z: <https://www.airport-technology.com/news/microsoft-saf-purchase-plan-world-energy/?cf-view>. [cit. 2023-11-27].