



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Katedra letecké dopravy

Modely postupné dekarbonizace sítě vybraných cargo dopravců
Models for the Gradual Decarbonisation of the Selected Freight
Carries Network
Diplomová práce

Studijní program: Provoz a řízení letecké dopravy

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

Bc. Martin Zázvorka

Praha 2024

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Martin Zázvorka

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Modely postupné dekarbonizace sítě vybraných nákladních dopravců**

Název tématu (anglicky): **Models for the Gradual Decarbonisation of the Selected Freight Carriers Network**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je definovat modely dekarbonizace sítě vybraných nákladních dopravců, dle tohoto modelu provést analýzu a zhodnotit současné možnosti a výhled.
- Představte možnosti snižování emisí z pohledu letecké dopravy se zaměřením se na cargo dopravce a SAF.
- Proveďte výběr cargo dopravců, vytvořte model, jeho scénáře a stanovte metodiku pro popis modelu postupné dekarbonizace.
- S pomocí scénářů analyzujte dopad tankování SAF na cargo dopravce v síti letišť.
- Ověřte výsledky analýzy dopadů tankování SAF a proveďte diskusi a validaci výsledků.
- Na základě výsledků zhodnoťte možnosti pro postupnou dekarbonizace vybraných cargo dopravců.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Pang, S., Chen, M. - The EU emissions trading system and airline low-carbon transition 2023
Xie J. - Comparing the Sustainability of Multimodal Transportation Between China and Europe 2023
Chao Ch., - Assessment of carbon emission costs for air cargo transportation

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

Datum zadání diplomové práce: **15. července 2023**
(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: **15. května 2024**
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 Přebyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Martin Zázvorka
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....15. července 2023



Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na možnosti řešení dekarbonizace v nákladní letecké dopravě, ze kterých je aktuálně největší výzvou zavedení udržitelného leteckého paliva. Analýza proběhla v síti 3 pravidelných nákladních a 3 zásilkových společností. Byly stanoveny 2 možné scénáře dekarbonizace – podle časové délky letu a letišť, kde se zkoumala spotřeba na jednotlivých letištích. V rámci scénáře podle délky letu je pro zásilkové dopravce nejlepší dekarbonizovat nejkratší lety do 4 hodin a pro pravidelné nákladní na letech o délce 4 až 9 hodin. V rámci scénáře podle letišť byly navrženy 2 varianty, kde u jedné z nich byly vypočítány také vyprodukované emise oxidu uhličitého.

Klíčová slova: dekarbonizace, nákladní letecká doprava, udržitelné letecké palivo



Abstract

This Diploma Thesis is upon the ways how to decarbonize Air Cargo Transport, where, currently, the biggest challenge is the introduction of sustainable aviation fuel. Analysis was performed within networks of 3 Full Cargo Carriers and 3 Integrators. Two possible scenarios were set – based upon the flight times and airports, where it was looked into the consumption at each airport. Within the scenario based upon flight times, it was found out that it is the best to decarbonize the shortest flights up to 4 hours for Integrators and flights between 4 and 9 hours for Full Cargo Carriers. As far as the airports, two variants were proposed, one of which contains calculations of carbon dioxide emissions produced

Keywords: decarbonization, air freight transport, sustainable aviation fuel



Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce doc. Ing. Peteru Vittekovi, Ph.D. za vynikající vedení při zpracování této práce a také doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi, Ph.D. za odbornou konzultaci ke způsobu vyhodnocení dat.



Čestné prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací a Rámcovými pravidly používání umělé inteligence na ČVUT pro studijní a pedagogické účely v Bc. a NM studiu.

V Praze dne 15. května 2024

.....

Podpis



Obsah

Úvod	13
1. Literární rešerše	15
1.1. Způsoby snižování emisí v letecké dopravě	15
1.1.1. Emisní systémy	17
1.1.2. Modernizace flotily	22
1.1.3. Efektivita provozu	24
1.1.4. Alternativní letecké paliva	29
1.2. Metody pro analýzu konektivity	31
1.2.1. NetScan	31
1.2.2. Centralita	32
1.2.3. IATA Index a World Bank	32
1.3. Typy leteckých společností převážející náklad	33
1.4. Datové zdroje	38
1.5. Shrnutí kapitoly	39
2. Metodika	41
2.1. Metodický model	41
2.2. Výběr leteckých společností	43
2.3. Datové zdroje a úprava dat	44
2.4. Výpočet spotřeby paliva	46
2.5. Scénáře dekarbonizace	48
2.5.1. Scénář letiště	48
2.5.2. Scénář délka letu	49
2.6. Provedené výpočty	50
2.6.1. Výpočet počtu % SAF v celé síti	51
2.6.2. Multikriteriální rozhodování	52
2.6.3. Výpočet potřebného procentuálního množství paliva	54
2.6.4. Výpočet objemu paliva přidáváním nových letišť se SAF	56
2.6.5. Výpočet emisí	56
3. Presentace výsledků	58
3.1. Scénář letiště	58



3.1.1.	Cargolux	58
3.1.2.	Kallita	61
3.1.3.	Silkway	63
3.1.4.	DHL	65
3.1.5.	UPS	68
3.1.6.	Fedex	70
3.2.	Scénář délka letu	72
3.2.1.	Silkway	73
3.2.2.	Kallita	74
3.2.3.	Cargolux	75
3.2.4.	DHL	76
3.2.5.	Fedex	77
3.2.6.	UPS	77
4.	Diskuze výsledků	79
5.	Závěr	84
	Seznam použité literatury	86



Seznam zkratek

EU ETS	EU Emission Trading System	Evropský systém pro obchodování s emisemi
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation	Schéma kompenzace a snižování uhlíku pro mezinárodní letectví
SAF	Sustainable Aviation Fuel	Udržitelné letecké palivo
GWP	Global Warming Potencial	Potenciál globálního oteplování
EEA	European Economic Area	Evropský ekonomický prostor
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
APU	Auxiliary Power Unit	Pomocná pohonná jednotka
SES	Single European Sky	Jednotné evropské nebe
ECAC	European Civil Aviation Conference	Evropská konference civilního letectví
VTOL	Vertical Take- off and Landing	Vertikální vzlet a přistání
IATA	Internatinal Air Transport Association	Mezinárodní asociace leteckých dopravců
CO ₂	Carbon dioxide	Oxid uhličitý
CH ₄	methan	metan
EASA	The European Authority for aviation safety	Agentura EU pro bezpečnost letectví



Seznam tabulek

Tabulka 1 - porovnání EU ETS a CORSIA	21
Tabulka 2 - provozní náklady integrátorů.....	23
Tabulka 3 - emise z letectví v DHL	23
Tabulka 4 - dekarbonizace společnosti Cargolux.....	25
Tabulka 5 - rozložení % objemu přepravy cestujících, pošty a nákladu vybraných aerolinek	37
Tabulka 6 - rozdělení full a belly cargo v přepravě Emirates.....	38
Tabulka 7 - shrnutí hlavních témat teoretické části	40
Tabulka 8 - Spotřeba jednotlivých typů letadel	47
Tabulka 9 – ukázka hodnot spotřeby pro Cargolux.....	49
Tabulka 10 - ukázka vypočtených hodnot spotřeby na letištích a v časových intervalech pro Cargolux (zdroj: vlastní).....	50
Tabulka 11- státy EU	50
Tabulka 12- vypočítané hodnoty pro jednotlivé společnosti	51
Tabulka 13 - ukázka vypočítaných hodnot.....	52
Tabulka 14 - hodnoty vah pro jednotlivá kritéria a typ aerolinky	53
Tabulka 15 - ukázka výsledných hodnot po aplikaci multikriteriálního rozhodování	54
Tabulka 16 - výpočty potřebného % objemu SAF	56
Tabulka 17 - postupné přidávání letišť do sítě	56
Tabulka 18 – scénář letiště pro Cargolux – varianta 1	59
Tabulka 19 - scénář letiště pro Cargolux- varianta 2.....	60
Tabulka 20 - scénář letiště pro Kallitu – varianta 1	62
Tabulka 21 - scénář letiště pro Kallitu – varianta 2	62
Tabulka 22 - scénář letiště pro Silkway – varianta 1	64
Tabulka 23 - scénář letiště pro Silkway- varianta 2.....	64



Tabulka 24 - scénář letiště pro DHL – varianta 1	66
Tabulka 25 - scénář letiště – varianta 2	67
Tabulka 26 - scénář letiště pro UPS – varianta 1	69
Tabulka 27 - scénář letiště pro UPS – varianta 2	69
Tabulka 28 - scénář letiště pro FedEx – varianta 1	71
Tabulka 29 - scénář letiště pro FedEx – varianta 2	71
Tabulka 30 - vyhodnocení scénáře délka letu pro Silkway	73
Tabulka 31 - možný postup dekarbonizace pro Silkway na letech dlouhých 8-9h	74
Tabulka 32 – vyhodnocení scénáře délka letu pro Kallitu	74
Tabulka 33 - možný postup dekarbonizace pro Kallitu na délce letu 8-9h	75
Tabulka 34 - vyhodnocení scénáře délka letu pro Cargolux	75
Tabulka 35 - možný postup dekarbonizace pro lety o délce 6-7h společnosti Cargolux	76
Tabulka 36 - vyhodnocení scénáře podle délky letu pro DHL	76
Tabulka 37 - možný postup dekarbonizace pro DHL s délkou letu 1-2h	76
Tabulka 38 - vyhodnocení scénáře délka letu pro FedEx	77
Tabulka 39 - možný postup dekarbonizace pro Fedex na letech do 1 hodiny	77
Tabulka 40 - vyhodnocení scénáře délka letu pro UPS	78
Tabulka 41 - možný postup dekarbonizace pro UPS na letech s délkou 1-2h	78
Tabulka 42 – předpokládaná produkce SAF v následujících letech	80
Tabulka 43 - porovnání výsledků scénáře podle délky letu s předpokládanou produkcí SAF81	



Seznam obrázků

Obrázek 1 - 3 druhy emisí- Scope 1,2,3	16
Obrázek 2 - produkce CO ₂ v jednotlivých státech světa.....	17
Obrázek 3 - Vývoj produkce CO ₂ na jednotlivých kontinentech.....	18
Obrázek 4 - 6 typů leteckých společností	33
Obrázek 5 – metodický postup	42
Obrázek 6 - ukázka dat na FL24	44
Obrázek 7 - grafické zpracování algoritmu ve wescraperu	45
Obrázek 8 - Ukázka stažených dat pomocí webscraperu	45
Obrázek 9 - Ukázka nekompletních dat.....	46
Obrázek 10 - Ukázka výpočtu spotřeby na reálných datech	48
Obrázek 11 - ukázka programu na výpočet spotřeby v časových intervalech	49
Obrázek 12 - vývoj množství SAF, Jet A-1 a emisí CO ₂ s měnícím se počtem letišť pro Cargolux.....	61
Obrázek 13 - vývoj SAF, Jet A-1 a emisí s narůstajícím počtem letišť se SAFem pro společnost Kallita	63
Obrázek 14 - vývoj SAF, Jet A-1 a emisí CO ₂ s narůstajícím počtem letišť se SAFem pro společnost Silkway	65
Obrázek 15 - vývoj SAF, CAF a emisí se rostoucím počtem letišť s možností tankovat SAF pro společnost DHL	68
Obrázek 16 - vývoj SAF, Jet A-1 a emise s rostoucím počtem letišť s možností tankovat SAF pro společnost UPS.....	70
Obrázek 17 - vývoj množství SAF, Jet A-1 a emisí s rostoucím počtem letišť se SAFem pro společnost FedEx.....	72
Obrázek 18 - různé scénáře k uhlíkové neutralitě v roce 2050 dle vyjmenovaných dokumentů	83



Úvod

Tématem této diplomové práce je dekarbonizace v nákladní letecké dopravě. Cílem práce je definovat modely dekarbonizace sítě vybraných nákladních dopravců, dle tohoto modelu provést analýzu a zhodnotit současné možnosti a výhled. Při literární rešerši bylo zjištěno, že v letectví je aktuálně výrazně řešeno snižování emisí a že v nákladní letecké dopravě je většina iniciativ na snižování emisí oxidu uhličitého (CO₂) stejná jako v osobní, a to konkrétně modernizace flotil, zefektivňování provozu, zavedení offsetových programů EU ETS, EU Emissions Trading System a CORSIA, Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, na pokutování leteckých společností za vypuštěné emise skleníkových plynů. Poslední iniciativou na snižování emisí je implementace udržitelných paliv do provozu. Aktuálně se letecká doprava zaměřuje na udržitelné letecké palivo, známé pod zkratkou SAF, ang. Sustainable Aviation Fuel. Toto palivo má být v dalších několika letech hlavním motorem dekarbonizace letecké dopravy.

Motivací pro zpracování tohoto tématu bylo řešit téma, které je v letecké dopravě aktuální, a zároveň ho řešit v doméně nákladní letecké dopravy, kterou jsem již zkoumal ve své bakalářské práci [1]. Zároveň implementace SAF paliva na letištích po celém světě je stále v úvodní fázi a síť letišť, kde je možné SAF tankovat, není velká, a tak je v této problematice velký prostor na výzkum.

V této diplomové práci jsou analyzovány 2 typy nákladních společností – pravidelní nákladní a zásilkoví dopravci. Pro oba typy společností byly vybrány 3 letecké společnosti (pravidelní dopravci – Cargolux, Kallita Air a SilkWay West a integrátoři – DHL (zkratka jmen zakladatelů Dalsey, Hillblom a Lynn [2]), FedEx (Federal Express [2]) a UPS (United Parcel Service [2])). Analyzovány byly lety těchto společností mezi březnem 2019 a 23.2.2024, tzn. den před začátkem invaze Ruska na Ukrajinu. Tento den byl zvolen kvůli následným opatřením EU a Ruska, kdy si dle Evropské Rady [3] a E15 [4] obě strany vzájemně zakázaly vstup do svých vzdušných prostorů, čímž se prodloužili délky letů jednotlivých letadel, tzn. v této práci je předpokládána standartní předválečná situace.

Pro tyto letecké společnosti byly vytvořeny 2 scénáře možné dekarbonizace, a to (1) implementace SAF paliva podle spotřeby na jednotlivých letištích. Pro tento scénář byly vytvořeny 2 dílčí postupy. V prvním postupu byl zohledněn povinný % poměr SAF na letištích v EU a cíle leteckých společností do roku 2030, kolik % SAF chtějí tankovat do tohoto roku. V druhém postupu byl navržen scénář, kdy je definováno několik % směsí SAF s přihlédnutím na aktuální certifikační omezení a různé celkové % objemy SAF v síti společnosti a bylo sledováno, na kolika letištích by bylo nutné tankovat danou % směs SAF ke splnění daného



% objemu v celé síti společnosti. Třetím výstupem tohoto scénáře je graf vývoje množství SAF, Jet A-1 a emisí CO₂ s rostoucím počtem letišť, kde je možné tankovat 40% směs SAF. Druhým scénářem je (2) tankovat SAF palivo na letištích, ze kterých letecká společnost létá na nejvhodnějším hodinovém intervalu délky letu k následné dekarbonizaci. Použití tohoto scénáře se zakládá na hypotéze, že různé typy leteckých společností se zaměřují na různé dlouhé lety, tzn. efektivita dekarbonizace pro různé aerolinky se může týkat odlišných intervalů délky letu. V tomto scénáři budou hledány právě signifikantní intervaly pro analyzované letecké společnosti. Vhodnost jednotlivých intervalů bude porovnávána podle 3 kritérií – vliv tankování na těchto letištích na celkovou % spotřebu v rámci celé sítě dané společnosti, počtu letišť, na kterých by bylo možné SAF tankovat, a maximální množství SAF paliva, které by se muselo nově dodávat na letiště s největší spotřebou. Následně byl pro nejlepší interval délky letu vytvořen možný postup dekarbonizace do roku 2050 s přihlédnutím na povinnost tankovat od určitého roku určité % množství paliva na letištích v EU a na reálných možnostech, kolik by bylo možné tankovat SAF na letištích mimo EU.

V případě (1) dekarbonizace podle letišť postupná dekarbonizace začínala u zavedení SAF paliva na 2-4 letiště s výjimkou Cargoluxu a Silkway, u kterých za určitých podmínek stačil ke splnění cílů pouze největší hub dané společnosti. Z analýzy dekarbonizace podle délky letu bylo zjištěno, že pro pravidelné nákladní dopravce jsou (2) nejvhodnější k dekarbonizace lety mezi 4 a 9 hodinami a pro zásilkové dopravce naopak nejkratší lety do 4 hodin. Zásilkoví dopravci mají rozsáhlou pozemní část přepravy, kde mohou dekarbonizovat, což již několik let úspěšně dělají, a zároveň síť s velkým počtem letišť, tzn. jejich zaměření dekarbonizace může směřovat k implementaci SAF na co největší počet letišť, což splňují právě tyto krátké lety. Naopak pravidelní dopravci pozemní složku přepravy neprovozují, a tak jejich směřování dekarbonizace musí být na leteckou dopravu, tzn. jejich hlavní cíl je vysoký % objem SAF v síti, což splňují právě 4 - 9hodinové lety.



1. Literární rešerše

V rámci literární rešerše budou představeny způsoby snižování emisí v letecké dopravě, kde jsou hlavními trendy zavedení programů, pomocí kterých letecké společnosti musí platit za vypuštěné emise skleníkových plynů, modernizace flotil, efektivita provozu dopravců a používání alternativních zdrojů paliva. Dále jsou zde popsány metody pro analýzu konektivity a druhy leteckých společností, které převáží náklad.

1.1. Způsoby snižování emisí v letecké dopravě

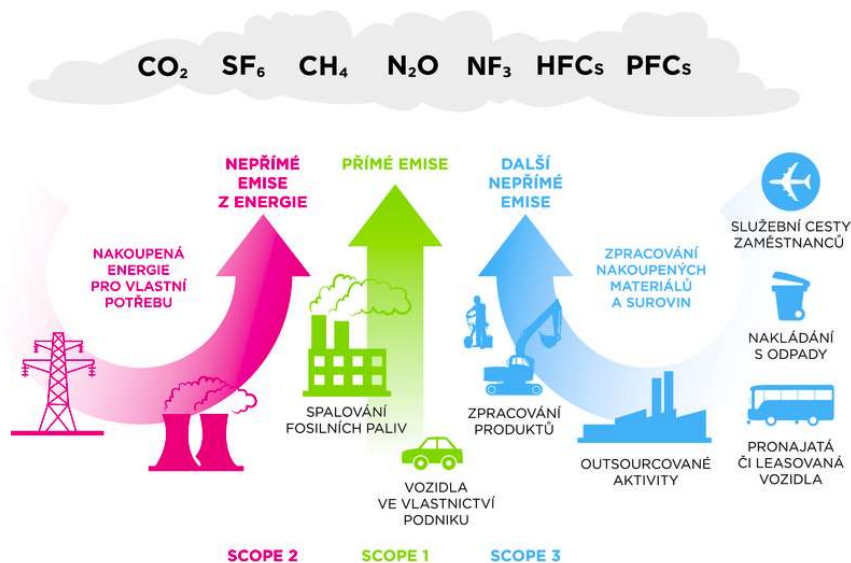
Dle M. Ingaldi [5] se udržitelnost dotýká 3 sfér života a to sociální, ekonomické a enviromentální. OSN [6] má v těchto sférách celkem 17 oblastí a cílů, kterým se ve světě věnují. Mezi tyto cíle řadí např. snížení chudoby a hladu, kvalitní vzdělání, rovnoprávnost žen a mužů, život zvířat na souši i ve vodě a v neposlední řadě akce v souvislosti se změnou klimatu a životního prostředí, kterému se věnuje zejména Evropa a je velmi řešen v rámci letectví. Dle TIACA [7] je celkově „zelená iniciativa“ v dnešní době fenoménem a jakákoliv aktivita v této oblasti je pro firmu příležitostí zvětšit si svojí reputaci.

Dle Akademie věd ČR [8] a EU parlament [9] sluneční záření dopadá na zem, 70 % záření je pohlceno zemským povrchem a atmosférou, zbylých 30 % po odrazu od země se vrací zpět do vesmíru. Samotná Země vyzářuje energii v infračervené oblasti.

Dle Akademie věd ČR [8] a EU parlament [9] hlavním přírodním skleníkovým plynem je vodní pára. Další skleníkové plyny, jako je oxid uhličitý CO_2 , metan CH_4 , oxidy dusíku a halogenové uhlovodíky, což jsou plyny obsahující fluor, chlor a brom, jsou v atmosféře přítomny přírodně, ale lidé jejich obsah uměle zvětšují. Díky skleníkovým plynům je toto záření absorbováno v atmosféře a tím se otepluje zemský povrch. Bez skleníkových plynů by teplota na povrchu Země byla místo aktuálních přibližně +15 stupňů -18 stupňů Celsia. Pro určení množství vyprodukovaných ostatních skleníkových plynů se využívá přepočítání na množství, které odpovídá vyprodukovaných emisí CO_2 , tzv. CO_2 ekvivalent (CO_2e), dále je důležitá hodnota potenciálu globálního oteplování (ang. Global Warming Potential, GWP), což značí číslo, kolikrát větší je potenciál daného plynu větší než potenciál CO_2 , který má hodnotu 1.

Dle Hertwicha a Wooda [10], Huangy, Webera a Matthewse [11] a Climate Portalu [12] se rozdělují 3 typy emisí, které souvisí s činností daného podniku - „Scope 1,2,3“, které jsou zobrazeny na obrázku 1. První typ jsou „Scope 1“, což jsou přímé emise vyprodukované daným podnikem, např. emise z používání svých vozidel. „Scope 2“ jsou nepřímé emise z energie. Jedná se o emise ze zdrojů, které podnik nekontroluje, ale má na ně zásadní vliv. „Scope 3“ jsou nepřímé emise, které vznikají důsledkem aktivity daného podniku a které nejsou

pod jejich kontrolou jiné než emise ve „Scope 2“. Dle Huanga, Webera a Matthewse [11] emise „Scope 1 a 2“ tvoří pouze 26% veškerých emisí. Aktivity ve „Scope 3“ mají tedy největší podíl na emisích podniku, zároveň je to největší ze 3 kategorií, ale nejméně exaktně definovaná. Obecně přímé emise jsou emise vyprodukované přímo při dané aktivitě a nepřímé jsou veškeré emise, které s danou aktivitou pouze souvisí. Pokud se zaměříme na leteckou dopravu, konkrétně provoz letadla, tak přímými emisemi jsou např. emise vyprodukované při spalování paliva za letu a nepřímé např. výroba paliva, jednotlivých částí letadla atd.



Obrázek 1 - 3 druhy emisí- Scope 1,2,3

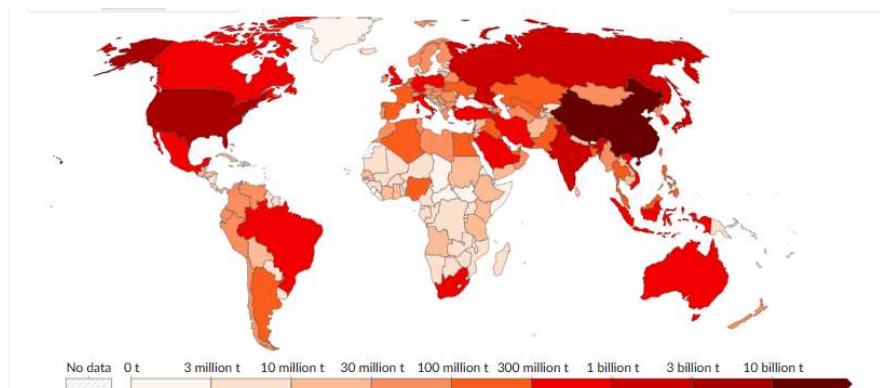
(zdroj: [11])

V EU letecká doprava produkuje přibližně 4 % veškerých skleníkových plynů a po silniční dopravě je druhým největším producentem v rámci dopravy, konkrétně 13,9 % emisí z dopravy je produkováno leteckou dopravou a zároveň emise z letectví mají největší rostoucí trend. Dle TIACA [7] nákladní leteckou dopravou se produkuje 0,5% veškerých emisí a 2,2% emisí z dopravy.

Dle G.Baxtera [13], D. Rapsona a E.Muehleggera [14] a L.H.Kaacka [15] jsou v nákladní letecké dopravě a obecně v celém letectví trendy ke snížení emisí v podobě používání alternativních zdrojů leteckého paliva (mimo jiné sustainable Aviation Fuel – SAF), modernizace flotily, zvýšení efektivity provozu a emisní systémy.

1.1.1 Emisní systémy

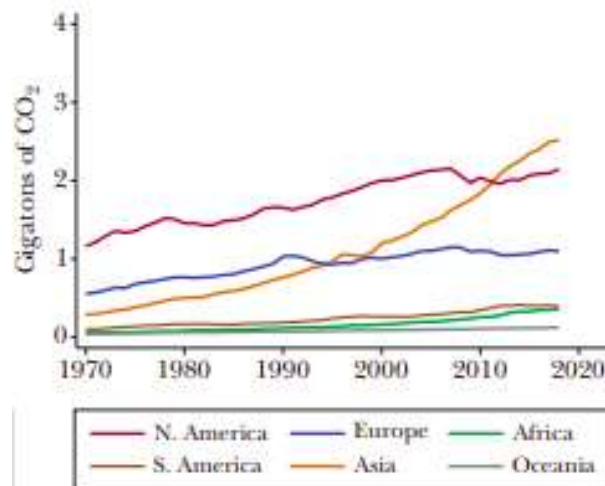
Dle Our World In Data [16] je za rok 2022 Čína největším producentem emisí CO₂ na světě následované USA a Indií.. Osmým největším na světě a zároveň největším producentem v Evropě je Německo. Na obrázku 2 je zobrazena mapa světa s hodnotami produkce CO₂ v jednotlivých státech.



Obrázek 2 - produkce CO₂ v jednotlivých státech světa

(zdroj: [16])

Dle D. Rapsona a E. Muehleggera [14] je Asie kontinent aktuálně největší a zároveň nejvíce rostoucí producent CO₂ v dopravě. Obrázek 3 ukazuje konkrétní hodnoty produkce CO₂ na jednotlivých kontinentech. Tento nejvíce rostoucí trend v Asii se podle Doganise [17] týká i nákladní letecké dopravy, kdy za posledních 30 let se nejvíce rozvíjel trh právě v Asii, kde se zaměřují na vývoz nákladu do ostatních částí světa. Doganis [17] také zmiňuje, že v roce 2017 měl Asijsko-pacifický region již nejvyšší podíl (33%) na přepravu nákladu v celosvětovém měřítku. Trhu v nákladní letecké dopravě dominuje Severní Amerika, Asie a Evropa, konkrétně letová cesta mezi Asií a Severní Amerikou je nejvytíženější následovaná trasami mezi Asií a Evropou, vnitroasijskou dopravou a dopravou přes Atlantský oceán mezi Evropou a Severní Amerikou. I z těchto statistik je patrné, že asijský trh v nákladní letecké dopravě má nejvýznamnější pozici.



Obrázek 3 - Vývoj produkce CO₂ na jednotlivých kontinentech

(zdroj: [14])

Z tohoto pohledu je paradoxně v iniciativách snižování emisí CO₂ nejvíce aktivní Evropa, konkrétně Evropská Unie. Dle Evropské Komise [18] je cílem Evropy do roku 2050 dosáhnout klimatické neutrality. K tomuto cíli vznikla tzv. Zelená dohoda pro Evropu (Green Deal), kterou vydala Evropská Komise v prosinci 2019. Součástí „Zelené dohody“ je také iniciativa „Fit for 55“, která je postupným cílem EU snížit do roku 2030 emise skleníkových plynů o 55 % ve srovnání s úrovněmi v roce 1990. Dle Doganise [17] je v Evropě velmi rozšířena silniční nákladní doprava, která je preferována z důvodu krátkých vzdáleností mezi evropskými městy, což je pozitivní směr dekarbonizace evropského letectví. Z jiného úhlu pohledu se může zdát, že problém s emisemi je pouze přesunut z letectví na pozemní dopravu, ale jak bude zmíněno v dalších částech práce, pro silniční dopravu jsou již vymyšleny i implementovány bezemisní formy přepravy. K naplnění těchto cílů mají pomoci emisní systémy, které zavazují letecké společnosti kompenzovat vyprodukované emise. V Evropě vznikl program EU ETS.

V Asii, největším producentovi CO₂ emisí z dopravy, existují Asia Zero Emission Community (AZEC) [19] a Clean Air Asia [20], což jsou komunity a organizace, které mají za cíl snížit emise skleníkových plynů a obecně vylepšit život v Asii, konkrétně zlepšit městský život snížením smogu. Cílem AZEC [19] je uhlíková neutralita a využívat zkušenosti Japonska s dekarbonizací. Dle ADB [21] v Asii využívají jen globální období EU ETS, program CORSIA. Nyní se detailně zaměřím na 2 výše zmíněné programy EU ETS a CORSIA, konkrétně na porovnání jejich stejných a odlišných vlastností.



Porovnání EU ETS a CORSIA

EU ETS i CORSIA jsou stejně zaměřené systémy. Oba jsou nástroje, pomocí kterých jsou letecké společnosti nuceny platit poplatky za vypuštěné emise během svého provozu. Hodnoty přepočtu množství 1 tuny vyprodukovaného leteckého petroleje Jet A1 nebo Jet A na tuny CO₂ jsou podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2023/958 [22] v rámci EU ETS i podle ICAO [23] v programu CORSIA shodně nastavené na 3,16 tuny CO₂.

Prvním rozdílem obou programů je jejich působnost. CORSIA je globální kompenzační program emisí CO₂, naopak EU ETS systém se aktuálně v roce 2024 týká kompenzací v Evropě, konkrétně letů v rámci tzv. Evropského ekonomického prostoru (ang. European Economic Area (EEA)), což znamená státy Evropské Unie a Island, Lichtenštejnsko a Norsko a k tomu jsou přidány lety z EEA do Švýcarska a Velké Británie.

Druhým rozdílem je vývoj jednotlivých programů a možnosti zapojení jednotlivých států do nich. Dle Evropské Komise [18] bylo letectví do EU ETS zahrnuto od začátku roku 2012 a v původním plánu se mělo týkat veškerých letů v rámci EEA a také všechny lety směřující z i do EEA, tzn. např. i let Paříž – New York. Tento systém pro lety z/do zemí EEA platil až od roku 2013. V roce 2016 bylo rozhodnuto, že EU ETS se bude od začátku roku 2017 týkat letů pouze v rámci EEA a toto rozhodnutí bylo rozšířeno do aktuální podoby, ve které se do nutnosti platit za vypuštěné emise pomocí systému EU ETS počítají i lety z EEA do Švýcarska a Velké Británie. Zapojení všech států do EU ETS je povinné bez výjimek. Naopak zapojení do systému CORSIA je v různých fázích, které jsou dle ICAO [23] 3, dobrovolné. Pilotní fáze probíhala mezi lety 2021-2023, aktuálně od začátku roku 2024 do konce roku 2027 probíhá 1. fáze, na kterou naváže 2. fáze mezi roky 2027 až 2035. V pilotní a první fázi se státy mohou do systému zapojit dobrovolně, od roku 2027 je systém CORSIA povinný pro všechny státy ICAO s výjimkou rozvojových států, které se mohou zapojit dobrovolně. Dobrovolně se do programu CORSIA od začátku zapojila téměř celá Evropa, Severní Amerika, některé africké a asijské státy a Austrálie. V roce 2027 se program bude týkat např. Číny, Brazílie nebo Indie. Státy, které nemají povinnost se zapojit do programu, jsou zejména africké státy a země na západním pobřeží Jižní Ameriky.

Velký rozdíl mezi těmito systémy je ve vývoji a způsobu, jak letecké společnosti musí kompenzovat vyprodukované emise. Celý systém EU ETS je založen na výměně emisních povolenek za vyprodukované množství emisí. Vývoj způsobu kompenzování v rámci EU ETS má 3 fáze. První fáze, která trvala od roku 2005 do 2007, byla pilotní fází celého systému a sloužila k přípravě na další fáze a vůbec se naučit tento systém používat. Téměř všechny povolenky byly pro letecké společnosti zdarma a pokuta za nedodržování byla 40 EUR za



tunu. Ve druhé fázi, která trvala mezi lety 2008 a 2012, se pokuta za nedodržování pravidel programu zvýšila na 100 EUR za tunu CO₂. Dodávky volných povolenek se snížili na 90% a společnosti si museli začít kupovat „kredity“, které odpovídaly kompenzací cca 1,4 miliardám vyprodukovaného CO₂. Ve třetí fázi mezi lety 2013 a 2020 byl zaveden systém aukce emisních povolenek nad rámec těch, které byly zadarmo. Tím se cena těchto povolenek zvedá a dopravci jsou nuceni hledat jiná bezemisní řešení, aby se těmto platbám vyhnuli. Naopak podle ICAO [23] se vyprodukované emise v rámci programu CORSIA kompenzují stylem financování předem určených projektů, které se starají o přírodu v různých částech světa. První nápady na zavedení systému CORSIA se objevily v roce 2009, ale účinnost tohoto systému je od 1.1.2019. CORSIA byla implementována jako příloha (Annex) do Chicagské úmluvy a byla navržena tak, že bude určena hraniční hodnota vyprodukovaných emisí za 1 konkrétní rok, se kterou se budou porovnávat hodnoty z následujících let a podle toho se bude odvíjet výše emisí, které bude muset letecká společnost zaplatit. Původním záměrem bylo jako hraniční hodnotu vyprodukovaných emisí považovat průměrnou hodnotu z roku 2019 a 2020, ale vzhledem k pandemii Covidu-19 ICAO v červnu 2020 rozhodlo, že pro roky 2021-2023 bude směrodatná hodnota emisí z roku 2019, a následně v říjnu 2022 ICAO určilo hraniční hodnotu pro roky 2024-2035 jako 85% z hodnoty roku 2019. ICAO zároveň určilo několik enviromentálních projektů, na které aerolinky budou posílat peníze odpovídající výši poplatků za vyprodukované emise. Dle plánu ICAO se bude do roku 2029 výše poplatků 100% odvíjet od nárůstu množství emisí v daném sektoru, mezi roky 2030 a 2032 minimálně z 20%, mezi roky 2033 a 2035 minimálně ze 70% a od roku 2036 100% na množství emisí dané společnosti.

Odlišné jsou také ceny, které letecké společnosti musí platit za vyprodukované emise CO₂. Dle Trading Economics [24] od začátku roku 2018 do začátku roku 2020 se cena emisních povolenek v rámci EU ETS zvýšila z 10 na 80 EUR a mezi začátky let 2022 a 2024 kolísala mezi hodnotami 60 a 100 EUR za tunu s výjimkou února 2023, kdy cena stoupla na historické maximum 105,73 EUR. Aktuálně v únoru 2024 se cena pohybuje mezi 59 a 60 EUR s predikcí snížení hodnoty na 55 EUR v příštích 12 měsících. Dle Carbon Credits [25] se cena kompenzací v rámci programu CORSIA v roce 2022 pohybovala mezi 3-5 dolary za tunu vyprodukovaného CO₂ s optimistickou predikcí zvýšení ceny na 6-12 dolarů a pesimistickou predikcí na 20-40 dolarů za tunu CO₂. Carbon Credits [25] také zmiňují predikci do roku 2050, kdy by cena kompenzace mohla být až 90 dolarů za tunu CO₂. V tabulce 1 je porovnání obou programů graficky shrnuto.



Tabulka 1 - porovnání EU ETS a CORSIA

(zdroj: vlastní)

Kategorie	EU ETS	CORSIA
Přepočet paliva na CO ₂	1 t paliva = 3,16 t CO ₂	1 t paliva = 3,16 t CO ₂
Působnost	EEA + lety do Švýcarska a VB	globální
Možnost zapojení států	Povinné	Pro rozvojové státy dobrovolné
Způsob „platby“ za emise	Emisní povolenky	Financování ekologických projektů
Za co se platí (aktuálně)	Osobní vyprodukované emise	„kolektivní odpovědnost za emise v regionu“
Cena emisí za tunu CO ₂ (aktuálně 2024)	59-60 EUR	Predikce z roku 2022: 6-40 dolarů

Jak bylo zmíněno výše, aktuální nevýhodou v prvních letech používání systému CORSIA je princip „kolektivní viny“, kdy všechny společnosti platí poměrnou část vyprodukovaných emisí v dané oblasti nad rámec hraniční hodnoty emisí z roku 2019. Toto negativum se bude postupně zmenšovat a bude se zvětšovat poměr, kdy aerolinka bude platit pouze za emise, které sama vyprodukovala. Dle Transport & Environment [26] se při letech ze státu mimo EEA do členského státu EEA podle pravidel EU ETS počítají aerolince emise pouze do systému CORSIA.. Vzhledem k cenám povolenek je pro např. americkou společnost FedEx výhodné dopravit zboží z USA do Evropy letecky a poté pro přepravu po Evropě využít pozemní dopravu (silniční nákladní, nebo železniční), tzn. vyhnout se letecké přepravě mezi členskými státy EEA. Této strategii pomáhá také malá rozloha Evropy a krátké vzdálenosti mezi jednotlivými městy dosažitelné právě pozemní dopravou. Tuto tezi potvrzuje také Doganis [17], který zmiňuje, že většina nákladu je po Evropě přepravována nákladními automobily, které jsou označeny čísly letu. Díky krátkým vzdálenostem je možné zboží přepravovat mezi evropskými městy v noci. Dle Morella a Kleina [27] je i samotná nákladní letecká doprava orientována na noční dobu, protože téměř 50% letů nákladní letadel je uskutečněných právě v noci.



1.1.2 Modernizace flotily

Dle G. Baxtera [13] nákladní letecké společnosti, kombinovaní dopravci a integrátoři ke snižování emisí využívají modernizaci flotily letadel, tzn. ze své flotily odstraňují staré letouny, které produkují velké množství emisí, a nahrazují je zcela novými nízkoemisními letouny. Obecně letecké společnosti a firmy působící v letectví mají ve svých cílech snižovat emise skleníkových plynů ze svého provozu. Příkladem jsou zásilkoví dopravci DHL a FedEx, společnosti Delta Airlines, Qatar Airways a další, výrobci Boeing a Airbus, kteří jsou spolu i firmami mimo letectví členy First Movers Coalition [28], což je skupina, která má snahu upozornit na problémy s klimatem a vytvářet iniciativy ke snížení těchto problémů. Z pohledu účinnosti jakékoliv iniciativy je výrazně lepší provedení ve spolupráci několika společností, čímž se její efekt a pravděpodobnost úspěchu zvyšuje s počtem zúčastněných společností. Příkladem společnosti, která aktivně snižuje emise ve svém provozu, je FedEx, kteří ve svém reportu [29] zmiňují, že v roce 2023 vyměnili své MD-10 za nové Boeingy B777F a v modernizaci své flotily plánují pokračovat i v následujících letech. Tento trend modernizace flotil může snížit čas, kdy dopravci budou jednotlivá letadla využívat. Dle Aviation Maintenance Magazínu [30] bylo v minulosti běžné, že některá letadla byla na začátku postavena a používána jako osobní a po nějaké době byla přestavěna na nákladní. Přestavbu letadel z osobních na nákladních po kratší době urychlila pandemie Covidu-19 a z důvodu nutnosti využívat co nejméně emisně náročná letadla může pokračovat i v budoucnu. V budoucnu lze očekávat stále zvyšující se nároky na používání letadel s nejmenším možným množstvím produkovaných emisí, čímž se zvyšují nároky na výrobce letadel právě taková letadla vytvářet, ale zároveň to může znamenat vyšší počet nových letadel, tzn. vyšší příjmy výrobců. Výše zmínění zásilkoví dopravci poskytují přepravu zásilky z domu do domu, z čehož vyplývá, že k přepravě zásilek využívají i pozemní vozidla, kdy podle reportu DHL [31] z roku 2022 mají ve flotile desítky tisíc vozidel pozemní dopravy oproti stovkám letadel. Pozemní část přepravy je tedy u DHL velmi významná. V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty provozních nákladů jednotlivých integrátorů [29,31,32] včetně nákladů na palivo a u společností FedEx a DHL detailně kolik financí musely vynaložit na letecké palivo. Z tabulky je patrné, že u společnosti FedEx více než 70% nákladů na palivo je letecké palivo a u DHL je to 65-75% s výjimkou covidového roku 2020, kde to je 60%. U všech 3 společností náklady na palivo v posledních letech rostou opět s výjimkou covidového roku 2020, kdy došlo ke snížení nákladů na palivo u všech společností. Cílem společnosti FedEx je mít do roku 2030 všechna pozemní vozidla elektrická.



Tabulka 2 - provozní náklady integrátorů

(zdroj dat: [29,31,32])

Provozní náklady FedEx (milióny dolarů)				
Rok	2022/23	2021/22	2020/21	2019/20
CELKEM provozní náklady	85 243	87 267	78 102	66 800
palivo	5 909	5 115	2 882	3 156
z toho letecké palivo	4 515	3 867	2 065	2 265
% letecké palivo z paliva celkem	76,41	75,60	71,65	71,77
% letecké palivo z provozních nákladů celkem	5,30	4,43	2,64	3,39
Provozní náklady UPS (milióny dolarů)				
Rok	2022	2021	2020	2019
CELKEM provozní náklady	87 244	84 477	76 944	66 296
palivo	6018	3847	2582	3289
% palivo z provozních nákladů	6,90	4,55	3,36	4,96
Provozní náklady DHL (milióny eur)				
Rok	2022	2021	2020	2019
CELKEM provozní náklady	89 397	76 440	64 312	61 795
Palivo	5061	2595	1676	2252
z toho letecké palivo	3808	1833	1012	1452
% letecké palivo z paliva celkem	75,24	70,64	60,38	64,48
% letecké palivo z nákladů celkem	4,26	2,40	1,57	2,35

Integrátoři [29,31,32] snižují emise uhlíkových plynů v celém svém provozu a mimo jiné v rámci modernizace svých flotil také mění stará pozemní vozidla za nová elektrická, která zařazují do své flotily i letiště a společnosti na nich, které zajišťují odbavení a další pozemní procesy. Společnost DHL publikuje ve svých každoročních reportech hodnoty, kolik vyprodukovala emisí skleníkových plynů za daný rok. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3, ze které lze usoudit, že největším producentem emisí ve společnosti DHL je letecká přeprava, konkrétně 64-70% celoročních emisí je vyprodukováno právě letectvím, přičemž statistiky za pandemický rok 2020 přizpůsobují hodnotám z roku 2019. Z hlediska dekarbonizace provozu ve společnosti DHL je tedy neefektivnější se zaměřit na leteckou dopravu.

Tabulka 3 - emise z letectví v DHL

(zdroj dat. [31])

Emise DHL					
	2018	2019	2020	2021	2022
GHG emise (milióny tun CO ₂)	29,48	28,95	27,38	39,36	36,46
GHG emise z letectví (milióny tun CO ₂)	18,87	18,82	18,07	27,55	25,16
% GHG emise z letectví	64	65	66	70	69



Dle Herolda a Leeho [33] není proces modernizace flotil integrátorů otázkou posledních let několika let, protože i mezi roky 2010 a 2015 provedli několik změn ke snížení produkce emisí skleníkových plynů ze svého provozu. Společnost DHL v této době v zastavěných oblastech začala používat kola místo aut na přepravu zásilek např. v Nizozemsku, Rakousku, Chorvatsku a dalších zemích, měnili letadla, ve městě Bonn v Německu v roce 2014 kompletně vyměnili vozidla za elektrická. Se zavedením elektrických vozidel souvisí také nutnost postavit potřebnou infrastrukturu dobíjecích stanic jako to udělala společnost DHL na Taiwanu, kde v roce 2015 zavedli síť solárních dobíjecích stanic pro elektrická vozidla. V případě integrátorů je potřeba vhodně zvolit dobíjecí místa, aby jejich provoz byl efektivní. V tomto ohledu je jednodušší elektrifikace pozemních vozidel na letištích, které zajišťují odbavení letadel, protože provozní plocha vozidel na letišti je mnohem menší než v celých městech nebo státech. Společnost FedEx v této době měnila některá letadla ze své flotily a také mění pozemní vozidla za elektrická. UPS i FedEx v roce 2015 začal používat hybridní vozidla na elektřinu a alternativní paliva.

Dle Doganise [17] je nejznámější ACMI nákladní společností americký Atlas Air, který podle svého reportu [34] se zaměřují na dekarbonizaci své flotily formou provozu nových letadel a motorů. V průběhu roku 2021 zařadili do své flotily nová letadla typu B747-8F a B777-200LRF.

Dle reportu Delta Air Lines [35] také tento osobní dopravce provádí stejné úkony ke snížení emisí jako ostatní dopravci. V rámci modernizace své flotily začlenili v roce 2023 43 nových letadel, čímž zvýšili efektivitu využívání paliva o 28% na 1 sedadlo/míli oproti starým letadlům, které vyřadili z flotily. Delta si na letištích provádí pozemní odbavení ze svých zdrojů a v rámci dekarbonizace elektrifikuje svá pozemní vozidla (pásové nakladače, tahače zavazadlových vozíků a další techniku). Nákladní letecká společnost Kallita Air [36] také využívá ke své dekarbonizaci modernizování své flotily, konkrétně vyměňuje staré méně efektivní B747-400 za nové B777.

1.1.3 Efektivita provozu

Dle G.Baxtera [13] souvisí s využíváním nových letadel také tlak na výrobce letadel, aby vyráběla co nejlépejší letadla a aby tato letadla co nejefektivněji využívala palivo (tzv. fuel efficiency). Dle J.A.T.G. Fregnaniho a C. Mullera [37] s minimalizací hmotnosti letadel souvisí také zákaz tzv. tankeringu paliva, tzn. proces, při kterém si letecká společnost natankuje do letadla více paliva na letištích s nižšími cenami než potřebují na daný let, aby následně na další let ideálně netankovali žádné palivo za vyšší cenu, čímž si snižují náklady na palivo. Dle G.Baxtera [13] je další možností, jak snížit hmotnost, používání lehčích palet a kontejnerů na náklad, tzv. Unit Load Device (ULD). V roce 2013 společnost Fedex dokončila výměnu 23000



ULDs za nové a lehčí kontejnery, čímž ročně ušetřila více než 35000 tun CO₂ emisí. Nižší hmotnost kontejnerů také zefektivňuje provoz přímo na letišti, protože nižší hmotností se snižuje také spotřeba pozemních tahačů, které přepravují kontejnery po letišti. Dle Herolda a Leeho [33] zásilkoví dopravci prováděli mezi roky 2010 a 2015 i další vylepšení v oblasti efektivity provozu stejně jako v oblasti modernizace flotily. V roce 2010 v DHL optimalizovali své doručovací trasy a modifikovali vozidla, aby šetřili palivo. Fedex v roce 2015 omezil tankování paliva na pojiždění do svých letadel, tzv. taxi fuel, celkově postupně optimalizoval používání paliva a zefektivnil doručovací trasy. UPS v roce 2015 instaloval na svá letadla winglety k zefektivnění letu a stejně jako FedEx začali praktikovat intermodální způsob přepravy, zejména kombinaci přepravu zásilek kamionem a vlakem a také kombinaci letecké a pozemní dopravy. Stejný pohled na řešení udržitelnosti mají také pravidelní nákladní dopravci. Letecká společnost Cargolux ve svém reportu [38] publikuje, že ve společnosti mají vysokou prioritu na řešení emisí a efektivnosti využívání paliva na svých letech. Cargolux v rámci úspor vypíná pomocnou pohonnou jednotku (APU, ang. Auxiliary power unit) při pohybu po letišti. V tabulce 4 jsou zobrazeny hodnoty úspor paliva a CO₂, ze které je patrné, že všechny 3 sledované ukazatele (ušetřené palivo a CO₂ a také CO₂ efektivita přepočítána na 1 tunokilometr) se v roce 2022 oproti roku 2021 zvýšili.

Tabulka 4 - dekarbonizace společnosti Cargolux

(zdroj dat: [38])

Dekarbonizace Cargolux		
	2021	2022
ušetřené palivo [tuny]	6941	9610
ušetřené CO ₂ emise [tuny]	21865	30271
CO ₂ efektivita/ FTK	0,463	0,482

Cargolux [38] také využívá výhradně digitální formu manuálů potřebných k letu. Obecně v celé společnosti je snaha využívat digitální formu dokumentů, proto Cargolux vytvořil centrální místo k tisku dokumentů v jejich hubu v Lucemburku. Dle reportu společnosti SilkWay West Airline [39] se tato společnost věnuje všem 3 směrům udržitelnosti – sociální, ekonomické i enviromentální. V enviromentální složce udržitelnosti mají za cíl snížit spotřebu a zvýšit efektivitu využití paliva a zvýšit efektivnost provozu v jejich síti letišť a spojení. Obdobně jako ostatní společnosti vyměňují stará letadla, která produkují mnoho emisí, za nová nízkoemisní letadla.



Dle Afonsa a kolektivu [40] jsou dalšími možnostmi, jak zefektivnit provoz, např. let ve „formaci V“, mezipřistání k dotankování paliva nebo tankování přímo ve vzduchu za letu. Let ve „formaci V“ spočívá v použití bojových letounů, které by letěli před dopravním letadlem, čímž by se snížil indukovaný odpor. Z testů byl zjištěn potenciál ušetřit až 18% paliva a pro největší dopravní letadla je to 7-8%. Tankování přímo ve vzduchu za letu je koncept, kdy by letěla 2 letadla blízko sebe a v průběhu letu by 1 tankovalo palivo do druhého. Tento postup je velmi nebezpečný a bylo by nutné důkladné plánování, jak tankování provádět. Tankování za letu je již využíváno ve vojenském letectví a v komerční osobní/nákladní dopravě by bylo efektivní používat na letech na dlouhé vzdálenosti. Již v nákladním letectví využívanou možností zefektivnění provozu je postup, kdy letecké společnosti využívají mezipřistání k dotankování paliva. Výhodou tohoto principu je možnost na letišti odletu naložit do letadla méně paliva a zároveň více nákladu. Tento postup je využíván na letištích s dobrou lokací, kde je výhodné přistát za účelem dotankování. Takovými letišti jsou dle webu letiště Anchorage [41] a Official Alaska State Webside [42] letiště v Anchorage (ANC) na Aljašce, které slouží jako výhodné letiště k dotankování paliva při letu ze Severní Ameriky do Asie, a podle webu letiště Honolulu (HNL) [43] také letiště v Honolulu na Havajských ostrovech sloužící k mezipřistání na letech přes Tichý oceán, zejména mezi Severní Amerikou a Asií, ale také mezi Severní Amerikou a Austrálií.

Dle Afonsa a kolektivu [40] a G.Baxtera [13] lze zefektivnit provoz na straně aerolinky i ATM (Air Traffic Management). Dle reportů integrátorů [29,31,32] a L.H. Kaacka [15] je jednou z možností zvýšení efektivity přepravy minimalizací letů a pozemní přepravy s prázdnými letadly a vozidly. Cílem společností je maximalizovat load factor ve své přepravě. Dle L.H. Kaacka [15] je vhodné maximalizovat efektivitu přepravou nákladu v osobních letadlech jako tzv. belly cargo a využíváním úzkotrupých letadel dojde ke snížení emisí až o 20%. Podle NASEM studie [44] lze vývojem nových turbínových motorů dosáhnout až o 30% vyšší efektivity oproti aktuálně nejlepším vyráběným motorům a cílem Airbusu a Boeingu je změnou konfigurace letadla snížit o 70% spotřebu paliva oproti aktuálním letadlům do roku 2050. Dle Afonsa a kolektivu [39] byl v osobní přepravě vyvinut algoritmus, který minimalizuje produkci emisí CO₂ na 1 osobokilometr v závislosti na požadavcích cestujících.

V oblasti ATM se jedná o co nejefektivnější využití vzdušného prostoru. Dle Afonsa a kol. [40] jsou iniciativy na snížení zpoždění a nutnosti využívat „holding“ v průběhu letu. Optimalizaci využití vzdušného prostoru se věnují zejména v USA pomocí Next Generation Air Transportation System (NextGen) a v Evropě iniciativa Single European Sky ATM Research (SESAR).



Dle FAA [45] došlo pomocí iniciativy NextGen k modernizaci infrastruktury v Severní Americe, konkrétně v oblasti komunikace, navigace, přehledových systémů, automatizace a nakládání s informacemi s cílem zvýšit provozní bezpečnost, efektivitu, kapacitu, předvídatost a flexibilitu provozu v USA. Dle Pilmannové [46] je problémem evropského vzdušného prostoru jeho fragmentace, protože v Evropě existuje 37 spolupracujících států, 39 regulátorů (úřadů, v ČR Úřad pro civilní letectví), 40 poskytovatelů letových navigačních služeb (v ČR Řízení letového provozu) a každý stát si řídí provoz nad svým územím sám, čímž není možné efektivně reagovat na změnu poptávky. Evropský vzdušný prostor je řízen na 60 řídicích stanovištích. Zároveň vlivem fragmentace se neefektivně řídí lidské zdroje a jednotlivé procesy a využití dostupné infrastruktury. Hranice jednotlivých sektorů jsou tvořeny státními hranicemi. Jednotlivé státy používají odlišné provozní, licenční nebo personální postupy a také dodavatele ATM systémů. Fragmentací vzniká mnoho míst na hranicích 2 vzdušných prostorů při letu, kdy si 2 stanoviště řízení musí „předat“ letadlo, čímž se zvyšuje náročnost práce řídicích.

K zefektivnění provozu v Evropě vznikla již zmíněná iniciativa Single European Sky (SES), která vešla v platnost v roce 2004 po schválení Evropským Parlamentem. Dle SKYbrary [47], a SESAR [48] cílem SES je vytvořit jednotný vzdušný prostor, který bude řízen centrálně, což zvýší efektivitu, bezpečnost a kapacitu evropského vzdušného prostoru. Nevýhodou je výše zmíněný fakt, že každý stát si aktuálně řídí svůj vzdušný prostor sám a v tomto konceptu by za vzdušný prostor daného státu mohl odpovídat jiný stát, což je aktuálně vážná překážka, a také evropský geopolitický vývoj komplikuje zavedení SES. Implementace SES je rozdělena do několika legislativních balíčků:

- SES-I (2004-2009)
- SES-II (2009-2012)
- SES 2+ (2013-2018)
- Amended SES 2+ (2019- nyní)

Aktuálně Amended SES 2+ stále není schválen Evropskou Komisí. V konceptu SES bylo cílem do roku 2012 nejdříve vytvořit 9 tzv. funkčních bloků, které spojují několik vzdušných prostorů v 1, a následně těchto 9 bloků mělo být spojeno v 1 celoevropský vzdušný prostor. Tento cíl doposud nebyl splněn. Aktuálně jsou zavedeny pouze 2 z 9 funkčních bloků.

Dle SkyBrary [47] je základem SES i jemu předcházejícím funkčních bloků koncept Free Route Airspace (FRA), který umožňuje letadlům si naplánovat trasu uvnitř daného prostoru podle jejich potřeby s výjimkou vstupního a výstupního bodu do/z prostoru, které jsou přesně definované, a také nutnost obletět prostory, které nelze přeletět, např. zakázané prostory.



Výhody tohoto konceptu jsou možnost letět nejpřímější možnou tratí, čímž se sníží čas letu s tím související menší množství spotřebovaného paliva a vyprodukovaných emisí. Stejně jako všechny procesy a programy má i FRA svá negativa, např. zvýšení počtu potenciálních konfliktních míst, nutnost, aby ATC změnili koncept separací mezi letadly, nebo v případě, že letadlo letí na hranici s jinou FRA, kde letí jiné letadlo, tak je možné, že nebude dodržena dostatečná separace mezi letadly a tím se zvyšuje riziko nehody.

Dle G. Baxtera [13] se nákladní letecká společnost Cargolux v roce 2018 v rámci zefektivnění provozu podílela na iniciativách na jejich hlavním hubu v Lucemburku, aby během klesání z letové hladiny na letišti byl zaveden koncept postupného klesání (continuous descent operations (CDO)), který šetří palivo a je při něm produkováno méně emisí CO₂ a hluku. Letecká společnost Emirates k postupnému klesání přidala i postupné stoupání po vzletu. Dle EUROCONTROLu [49] v roce 2017 již 94% letů v oblasti 46 členských států ECAC (Evropská konference civilního letectví, ang. European Civil Aviation Conference) použilo postupné stoupání do letové hladiny FL100 a 74% letů až do bodu ToC (Top of Climb), kdy letadlo přechází do letu v hladině. Pokud se jedná o postupné klesání, tak pouze 41% letů v ECAC oblasti použilo tento postup pro klesání z letové hladiny FL75 a 24% z bodu ToD (Top of Descent), kdy letadlo začíná po letu v hladině klesat na přistání. Při maximální možné optimalizaci postupů postupného klesání i stoupání, která z důvodu provozní bezpečnosti, počasí a kapacity nemůže být 100%, lze ušetřit až 340 000 tun paliva ročně.

Dle G. Baxtera [13] letecká společnost Singapore Airlines (SA) začala čistit své motory od kontaminantů, např. písek a prach, které během letu nalétají do motorů, čímž snižují jejich efektivitu. Podle jejich statistik SA čištěním ušetřila 10400 tun paliva, což odpovídá ročnímu snížení o 32670 tun vyprodukovaných emisí CO₂.

Dle reportu společnosti Atlas Air [34] se tato společnost stejně jako ostatní snaží zvýšit efektivitu využívání paliva lepším plánováním letů, instruovat posádky k provádění méně emisních manévrů, méně používat APU při pohybu po letišti, více monitorovat výkonnost letadel, snižovat hmotnost letadel a odpor při letu. V oblasti údržby je zmiňováno mytí motorů pro jejich vyšší efektivitu.

Dle reportu Qatar Airways [50] jejich dceřiná nákladní společnost Qatar Airways Cargo se v rámci dekarbonizace digitalizuje svoje provozní procesy. V rámci ostatních sfér udržitelnosti darovali přes 100 000 porcí jídla lidem, kteří to potřebují.

V rámci efektivity provozu Delta Air Lines [35] snížila hmotnost svých letadel, úspěšně nainstalovala winglety na svá letadla B737-800 a na stejném letounu provedli úspěšně



testovací a certifikační lety na systém snižující odpor. Všechny tyto úkony by podle predikcí měli ušetřit ročně 3 miliony gallonů paliva. V rámci svého provozu optimalizují přistání, letové tratě, rychlosti. Delta také digitalizuje své dokumenty, aby vše bylo v elektronické podobě a minimalizoval se počet tisků jakýchkoliv dokumentů. Maximální digitalizaci upřednostňuje ve svém provozu také společnost Kallita Air [36], která ke zefektivnění svého provozu také minimalizuje používání APU, při pojíždění na letišti používat pouze 1 motor, v hangárech používat LED žárovky a mít na svých letadlech co nejméně barvy, což zvýší palivovou ekonomiku (tzv. fuel economy), a zároveň používané barvy musí být přívětivé k životnímu prostředí.

Aviation Services [51] také zmiňují výše zmíněné aktivity k zefektivnění provozu, čímž je využívání účinnějších letadel, což lze dosáhnout účinným využíváním paliva, zlepšení aerodynamiky letadel, použití lehčích materiálů, a také optimalizací letových tras, čímž se sníží spotřeba paliva a CharterSync [52] připojují mezi trendy v přepravě nákladu použití lehčích kontejnerů (ULD), používání dokumentů pouze v elektronické podobě a podpora udržitelných projektů. Dle TIACA [7] je v provozu letišť žádoucí používat odmrazovací směsi a sůl na runway, které jsou co nejméně škodlivé pro přírodu.

1.1.4 Alternativní letecké paliva

Dle G. Baxtera [13] je cílem vytvořit „zelenou aerolinku“ použitím obnovitelných zdrojů energie a produkováním méně emisí CO₂. Průběžně vznikají koncepty využití různých obnovitelných zdrojů k pohonu letadel, např. elektrické letadlo, použití SAF nebo využití vodíku jako paliva.

Jak již jsem zmínil v předchozích částech práce, elektrická vozidla v pozemní dopravě jsou již hojně a úspěšně využívána. Naopak v letectví zatím vznikají pouze jednotky prototypů elektrických letadel. Dle G. Baxtera [13] jsou v tomto směru průkopníky společnosti DHL, UPS a SAMAD Aerospace, které se pokoušejí elektrická letadla vymyslet a následně je i využívat. Zásilková společnost UPS chce využívat elektrická letadla ALIA-250c s vertikálním vzletem i přistáním (eVTOL) od společnosti Beta Technologies. Toto letadlo má dolet 402 km, je možné do něj naložit až 635 kg nákladu a má nahradit déle trvající pozemní dopravu a malá nákladní letadla, která produkují emise a oproti eVTOL letadlu potřebují runway ke vzletu a přistání. Očekávání z roku 2021 předpokládala zavedení prvních 10 kusů v roce 2024 stejně jako 12 elektrických letadel pro zásilkovou společnost DHL vyrobených společností Eviation. Toto letadlo má dolet 815 km s kapacitou 1200 kg a má být využíváno na lety v Kalifornii v USA. Třetí společností, které vyrábějí elektrická letadla, je SAMAD Aerospace se svým „Starling Cargo aircraft“. Toto letadlo má letět rychlostí 152km/h v letové hladině 10,000 stop (3,048



metrů) s doletem 217 km a kapacitou 50 kg nákladu a je opět eVTOL jako předchozí typy. Airbus [53] aktuálně má také koncept elektrického letadla z prosince 2020.

Dle G. Baxtera [13] je budoucností letectví motor na vodíkový pohon, který má potenciál neprodukovat žádné emise. Dle Aerowebu [54] jsou neaktivnějšími výrobci motorů s vodíkovým pohonem Airbus a Rolls-Royce. Rozdíl u těchto výrobců je, že Rolls-Royce plánuje používat vodík jako palivo do proudového a Airbus do turbovrtulového motoru. Na konci roku 2022 v Airbusu probíhal vývoj a testování této technologie s cílem uvedením do provozu v roce 2035. Dle Airbusu [53] aktuálně existují koncepty pro vodíkový turbovrtulový i pro turbodmychadlový motor.

Naopak jeho konkurent Boeing [55] se převážně zaměřuje na vývoj letadel s použitím SAF paliva. Dle D. Rapsona a E. Muehleggera [14] je aktuálně nejlepším nástrojem ke snižování emisí v letecké dopravě používání právě SAF paliva. Výhodou SAF paliva je jeho možné používání s využitím aktuálně používaných letadel a motorů, což je dle Aviation Services [51] klíčovým předpokladem k efektivnímu a rychlému rozšíření produkce. Dle IATA [56] a Neste [57] palivo SAF produkuje až o 80% méně emisí oproti konvenčnímu palivu. Dle U.S. Department of Energy [58] lze při tankování 100% směsi SAF snížit emise až o 94%, ale podle IATA [59] je aktuálně certifikováno použití směsi 50% SAF a 50% klasického konvenčního paliva s předpokladem certifikace 100% SAF paliva do roku 2030, což potvrzuje také Boeing [55], který publikuje cíl vytvořit právě do roku 2030 letadlo, které bude schopné spalovat 100% SAF palivo.

Dle IATA [56] je problémem SAF paliva jeho vyprodukované množství, protože v roce 2022 se vyrobilo 300 milionů litrů, v roce 2023 se množství zdvojnásobilo na 600 milionů a odhad na rok 2024 je 1,875 miliardy litrů, což ale představuje pouze 0,53% celkové globální spotřeby paliva. Dle EU Parlamentu [60] je stanoveno povinnost pro všechna letiště v EU od začátku roku 2025 tankovat minimálně 2% SAF paliva z celkového objemu natankovaného paliva. Povinné množství tankovaného SAF paliva se bude v průběhu následujících let zvyšovat, konkrétně v roce 2030 to bude 6%, v roce 2035 20%, 34% in 2040, 42% in 2045 a v roce 2050 minimálně 70% paliva.

Dalším problémem SAF paliva je jeho vysoká cena. Letecké společnosti k naplnění svého cíle používat SAF potřebují součinnost s letišti, kde by mohly SAF tankovat. Seznam 120 letišť, kde je aktuálně v únoru 2024 možné tankovat SAF, publikuje organizace ICAO Environment [61]. Letiště jsou rozdělena 2 kategorie – s dodávkami SAFu na zakázku a neustálými dodávkami. Vhodným příkladem dobré spolupráce mezi letišti a aerolinkami je podle SAF Investor [62] letiště v Bruselu [BRU], kdy na tomto letišti v roce 2023 začali tankovat SAF, ale



kvůli jeho vysoké ceně aerolinky SAF tankovat nechtěly. Bruselské letiště proto vytvořilo iniciativu, při které budou aerolinkám hradit až 80% dodatečných nákladů oproti nákladům za tankování klasického konvenčního paliva až do výše 200 000 EUR. Dle International Airport Review [63] ve Švédsku plánují od roku 2030 na domácích letech a od roku 2045 na všech mezinárodních letech ze Švédska nepoužívat žádná fosilní paliva.

Při porovnání letišť, kde je již možné tankovat SAF, a 26 nejvytíženějších letišť z pohledu počtu pohybů v letech 2019-2021 analyzovaných v mé bakalářské práci [1] je patrné, že SAF není možné tankovat na TOP10 letištích. Naopak tankovat SAF lze na 7 z 16 zbývajících, konkrétně v Kolíně nad Rýnem (CGN, 11. nejvytíženější), Los Angeles (LAX, 12.), Lutychu (LGG, 13.), Dallasu (DFW, 17.), Chicagu (ORD, 20.), Oaklandu (OAK, 22.) a Tokiu (NRT, 25.).

1.2. Metody pro analýzu konektivity

Konektivita popisuje, jak jsou jednotlivé uzly vzájemně propojeny. K zobrazení sítě letecké společnosti se využívá teorie grafů, kde jsou uzly označující letiště a hrana symbolizující existující spojení mezi dvojicí letišť. Dle Rodriguea a Ducrueta [64] se v letecké dopravě používají 2 základní modely, jak svou síť provozovat- Hub-And-Spoke a Point-To-Point. Model Hub – And – Spoke je charakterizován zpravidla 1 hub letištěm, ze/na které(-ho) létají všechny spoje dané společnosti a pro přepravu mezi 2 nonhubovými letišti je nutné vždy letět přes hub. Naopak model Point-To-Point je popisován jako síť, ve které žádné letiště není hub a letecká společnost provozuje přímé lety mezi různými dvojicemi letišť. Právě konektivita jednotlivých uzlů v síti letecké společnosti je klíčem k efektivní dekarbonizaci, protože vybráním i jediného vhodného uzlu, kde a kolik tankovat SAF(-u), lze dosáhnout velkého nárůstu objemu SAF a snížení emisí CO₂. V problematice konektivity existuje několik metod k jeho zkoumání- NetScan, IATA Index a WorldBank a metoda centrality.

1.2.1. NetScan

Dle ACI Europe [65] metodu NetScan vytvořila firma SEO Aviation Economics a používá jí ACI Europe (Mezinárodní rada letišť, ang. Airport Council International) V každoročním vydání Airport Industry connectivity reportu, zprávy o konektivě průmyslu letišť, ACI Europe analyzuje konektivitu evropských letišť, ve které zmiňují 4 typy konektivity – přímou, nepřímou, hub a letištní.

Přímá konektivita je charakterizována přímými lety mezi 2 letišti a její výsledná hodnota mezi danou dvojicí letišť je dána součinem počtu linek a jejich frekvence na této trati.



Nepřímá konektivita letiště vyjadřuje množství letů z daného letiště na jiné s přestupem na hubovém letišti. Kvalita tohoto spojení se definována dobou potřebnou na přestup a o kolik je trasa s přestupem prodloužena oproti přímému letu.

Hub konektivita identifikuje veškeré navazující lety, které letiště umožňuje. Kvalita je definována přestupní doby na letišti a času, o který je let s přestupem na hubovém letišti delší než přímý let s vynecháním hubu.

Letištní konektivita je popisována součtem přímé a nepřímé konektivity a poskytuje obraz o propojení letiště se světem.

1.2.2. Centralita

Centralita je charakterizována jako důležitost daného uzlu v celé síti. Dle Kaločayové [66] se rozlišují 4 základní typy centrality – degree (přímá), weighted (vážená), betweenness (přestupní) a closeness centrality (centralita dostupnosti).

Přímá centralita je základním typem centrality a je definována jako počet hran spojující daný uzel s ostatními. Například letiště A má přímé spojení s letišti B a C, tzn. přímá centralita letiště A je 2. Čím větší číslo přímé centrality dané letiště má, tím je v síti důležitější.

Vážená centralita je obdobou přímé centrality, ale v tomto případě je důležitým aspektem ohodnocení hran (v letectví počet letů) mezi danými uzly. Výsledná vážená centralita je součtem ohodnocení všech hran z daného uzlu. Například letiště A má 3 spojení s letištem B a 4 s letištem C, tzn. vážená centralita letiště A je 7.

Přestupní centralita je charakterizována jako počet nejkratších cest mezi libovolnými uzly, které prochází daným vrcholem a výsledná hodnota přestupní centralita je dána jejich součtem. Obdobně jako u předcházejících druhů centrality s rostoucím číslem přestupní centrality roste důležitost daného uzlu v síti.

Centralita dostupnosti je popsána jako nejkratší průměrná vzdálenost daného vrcholu ke všem a ostatním a zároveň čím je tato hodnota nižší, tím je daný vrchol centrálnější v dané síti.

1.2.3. IATA Index a World Bank

Oproti NetScan metodě IATA Index [67] určuje konektivitu celých měst, oblastí a států a zároveň jejich zapojení v celosvětové letecké síti a také počet a jak letecké spojení ovlivňuje ekonomickou stránku daného státu.

WorldBank [67] metoda zkoumá, jak je daná země propojena s ostatními státy světa. Letecká síť podle WorldBank metody je charakterizována uzly, kterými jsou státy, a hrany, což jsou existující spojení mezi danými státy.

1.3. Typy leteckých společností převážející náklad

Dle Boonekampa a Burghouwta, [68] T. Van Asche a spol. [69] a Airports Council Air Freight [70] se letecky vyplatí přepravovat náklad s vysokou cenou, krátkou dodací dobou a luxusní zboží. Zároveň je letecky převáženo pouze 1% celkového objemu nákladu, ale 35% jeho ceny.

Dle National Aviation Academy [71] existují 4 typy business modelů, jak je možné převážet náklad. Autoři Morrell a Klein [27] rozlišují 6 typů leteckých společností převážejících náklad, které jsou zobrazeny na obrázku 4, včetně příkladu aerolinek v každé kategorii.

Typy dopravců převážející náklad



Obrázek 4 - 6 typů leteckých společností

(převzato, přeloženo a upraveno z [27])

Dle National Aviation Academy [71] a Morrella a Kleina [27] prvním typem jsou **osobní dopravci**, kteří se zaměřují na přepravu nákladu v zavazadlových prostorech osobních letadel. Příkladem osobního dopravce je American Airlines. Dle Průši a kolektivu [72] je hlavním cílem osobních dopravců je naložit do zavazadlových prostorů zavazadla cestujících a poté až v případě volné kapacity doplnit náklad, tzn. přepravu nákladu mají pouze jako doplňkovou činnost k přepravě cestujících. Dle National Aviation Academy [71] převoz nákladu tvoří 5-10% příjmů osobních dopravců, což představuje problémy v případě nepředvídatelných událostí jako byla pandemie Covidu-19, kdy podle Vicherkové [73] bylo v dubnu 2020 letělo



pouze 8% předpokládaných letů, čímž se výrazně snížila kapacita i pro přepravu nákladu. Efektivním řešením může být v Aviation Maintenance Magazinu [30] uvedená možnost používat tzv. kombinovaná letadla, která se podle potřeby dají přestavět z osobního na nákladní a opačně, čímž vznikne variabilita flotily. Dle Kaščeeva [74] byl tento model leteckými společnostmi velmi často, ale po nehodě letu SA295 South African Airways se velmi zpřísnily požadavky na provoz těchto letadel, a aktuálně již je využíván velmi málo využíván. Dle Aviation Maintenance Magazinu [30] se v průběhu pandemie rozšířila možnost nakládat neobjemné a lehké krabice na sedadla cestujících, čímž se využila uzemněná osobní letadla. Celkově tedy v provozu za standardní situace je vliv nákladu na celkový provoz malý.

Dle National Aviation Academy [71] a Morrella a Kleina [27] druhým typem jsou **pravidelní nákladní dopravci**, kteří se zaměřují jen na přepravu nákladu v letadlech uzpůsobených pro jeho přepravu, např. na trupu letadla jsou nainstalovány velké cargo dveře, aby bylo možné naložit a převézt rozměrné náklady, nebo u některých typů lze ze stejného důvodu otevřít přední část trupu, tzn. dle Průši a kolektivu [72] mají přepravu nákladu jako svou hlavní činnost. Mezi pravidelné nákladní dopravce se řadí např. Cargolux. Obdobně jako u osobních dopravců může být pro pravidelné nákladní dopravce zaměření pouze na převoz nákladu hendikepem v nepředvídatelných událostech, v tomto případě, pokud se globálně přestane převážet náklad. Variantou je opět kombinované letadlo a přestavba mezi nákladní a osobní verzí podle potřeby. V případě nákladních dopravců spatřuji větší problém než u osobních, protože nákladní dopravci nemohou bez certifikované instalace sedaček převážet krátkodobě cestující jako osobní dopravci a v nákladních letadlech tedy nelze převážet nic jiného než náklad a poštu.

Dle National Aviation Academy [71] a Morrella a Kleina [27] jsou **kombinovaní dopravci** kombinací předešlých typů dopravců, protože se zaměřují zároveň na osobní i nákladní přepravu. Kombinovaní dopravci často zakládají dceřiné společnosti na přepravu nákladu. I přes oddělení osobní a nákladní přepravy obě společnosti spolupracují a v případě potřeby je volná kapacita v osobním letadle poskytnuta dceřiné nákladní společnosti. Z pohledu variability provozu a možností reagovat na nepředpokládané situace jsou kombinovaní dopravci nejlepší, protože ve své flotile mají osobní i nákladní letadla a náklad převážejí v obou typech letadel v závislosti na kapacitních možnostech letadel a na druhu převáženého zboží, protože některé zboží není možné převážet v osobních letadlech. Ideálním scénářem a velkou konkurenční výhodou může být fakt, že všechna letadla ve flotile společnosti jsou již dříve zmiňovaná kombinovaná, čímž lze při nepřekročení kapacitních možností flotily z pohledu poptávky uspokojit 100% této poptávky v oblasti osobní i nákladní přepravy. U kombinovaných dopravců je tedy za standardních podmínek 100% přítomen náklad pouze u letů nákladních letadel a pro proces efektivní dekarbonizace je důležité znát síť letišť a spojení i osobních



letadel. Při dekarbonizaci sítě pouze nákladních letadel by se její efektivita snižovala se snižujícím se podílem velikosti sítě letů nákladních letadel v celé síti kombinovaného dopravce. Dle Kaščeeva [74] je právě pro kombinované dopravce velice vhodný typ letadla tzv. Quick-Change Aircraft, které lze podle teoretických předpokladů přestavět z nákladního na osobní, případně opačně, za 30 minut. V reálném provozu je k přestavbě potřeba delší čas, ale k provozu, např. ve dne jako osobní a v noci jako nákladní letadlo, je tento typ letadlo velice vhodný.

Dle Morrella a Kleina [27] čtvrtým typem dopravců převážející náklad jsou **nepravidelní nákladní dopravci**, kteří provozují tzv. chartery, tzn. lety na objednávku zákazníka. Tito dopravci nemají žádný daný letový řád a letí pouze v případě objednávky zákazníkem. Charterovou nákladní společností je např. Antonov Airlines.

Pátým typem dopravce je **poskytovatel ACMI**, což znamená, že pronajímají (A- aircraft=letadlo, C- crew=posádka, M- maintenance= údržba, I- insurance= pojištění) jiné společnosti. Dle Doganise [17] je to pro zákazníky těchto dopravců výhodné, protože toto letadlo nevlastní, ale v případě větší poptávky po přepravě nákladu si mohou další letadlo pronajmout, krátkodobě toto letadlo využívat a po uplynutí nájmu opět letadlo vlastní ACMI poskytovatel. Letadla takto poskytuje ostatním dopravcům např. letecká společnost Atlas Air. Charterová a ACMI dopravci jsou specifickými nepravidelnostmi svého provozu a závislosti na poptávce od zákazníků. V případě zaměření pouze na osobní, nebo nákladní přepravu vznikají společnosti stejné problémy jako pravidelným osobním, nebo nákladním dopravcům. Variabilitu do nestandardních situací může zajistit již několikrát zmiňované kombinované letadlo. Náklad na provoz pravidelných nákladních, charterových a ACMI dopravců má tedy za standardních podmínek zásadní vliv.

Dle National Aviation Academy [71] a Morrella a Kleina [27] posledním a specifickým typem dopravců převážející náklad jsou tzv. **integrátoři neboli zásilkoví dopravci**, kteří zajišťují přepravu zásilky v celém logistickém řetězci, tzn. u odesílatele doma si vyzvednou zásilku a vlastními pozemními vozidly a letadly je dovezou příjemci opět až domů, poskytují tzv. dopravu z domu do domu. Dle Průši a kolektivu [72] garantují přesný čas doručení zásilky, kterou lze v průběhu přepravy sledovat. Na trhu integrátorů dominují 3 dopravci UPS, FedEx a DHL. Dle údajů z Flightradar24 [75] jsou integrátoři z pohledu velikosti své flotily největšími společnostmi zaměřující se na převoz nákladu. Dle Doganise [17] se integrátoři přepravou z domu do domu odlišují od ostatních leteckých společností, které se zabývají pouze přepravou z letiště na letiště a pozemní přeprava zásilky musí být zajištěna jinou firmou. Tato konkurenční výhoda ale zároveň zvyšuje náročnost provozu celé společnosti, protože integrátoři mají povinnost zajistit přepravu v celém logistickém řetězci. V případě výpadku



pozemní části přepravy ji lze nahradit leteckou a přepravit zásilky na nejbližší možné letiště k cílovému zákazníkovi a na následné doručení zákazníkovi si např. pronajmout doručovací firmu. Nejjednodušší variantou v případě výpadku části řetězce by nastala v případě výpadku letecké přepravy pouze nad kontinentem, kde leteckou přepravou lze nahradit silniční nákladní. Negativem je vyšší přepravní čas oproti letectví. Mnohem vyšší problém by se objevil v případě výpadku mezikontinentální letecké přepravy s nutností ji nahradit lodní, která je výrazně pomalejší než letecká. V případě dekarbonizace se zásilkoví dopravci musí oproti ostatním dopravcům zaměřit na snížení emisí také u pozemní části přepravy. Konkrétní hodnoty poměru provozu mezi pozemní a leteckou přepravou jsou zmíněny v částech o efektivitě provozu a modernizaci flotily.

Dle Kaščeeva [74] je u dopravců provozující nákladní letadla často využívaný model, kdy stará osobní letadla, která by již nebyla využívána na přepravu osob, přestaví na nákladní verzi a dále toto letadlo využívají jako nákladní (tzv. Converted Freighter (P2F) letadlo). Přibližně 50% provozovaných nákladních letadel je takto přestavených z osobních.

Pokud bychom zhodnotili obecně přepravu nákladu, tak podle Doganise [17] jsou kombinovaní dopravci nejrozšířenějším typem leteckých společností (do označení „combination carrier“ tzn. kombinovaný dopravce Doganis řadí 2 typy společností podle Morrella a Kleina, a to „osobní“ a „kombinované“ dopravce) a zároveň leteckých společností, které se zaměřují na pouze na přepravu nákladu, je velmi málo, přičemž v TOP20 společnostech za rok 2017 jsou 2 integrované, 3 pravidelní nákladní dopravci a 15 kombinovaných. V tabulce 5 jsou zobrazena data o rozložení objemu přepravy cestujících, pošty a nákladu u vybraných leteckých společností. Z tabulky je patrné, že každá z amerických společností Delta, American a United Airlines má pouze okolo 10% objemu generovaného přepravou nákladu, což je dle Doganise [17] zapříčiněno velkým vlivem zásilkových společností FedEx a UPS a ostatních zahraničních aerolinek (např. Korean Air nebo Lufthansa) na americkém trhu s přepravou nákladu. Přeprava pošty tvoří pouze velmi malý objem (0-2%). Naopak pro asijské letecké společnosti je přeprava nákladu výraznou složkou jejich objemu přepravy, konkrétně 31- 53%. Průměrná letecká společnost má 25% svého objemu tvořeno přepravou nákladu. V tabulce aerolinek je 5 osobních dopravců Delta Air Lines, Aeroflot, American Airlines, United Airlines, Aeromexico, které dle Flightradar24 [75] nemají ve své flotile žádné nákladní letadlo a zároveň nemají svojí dceřinou nebo spřátelenou nákladní společnost. Tito dopravci mají nejnižší podíl objemu z přepravy nákladu, tzn. je pro ně velmi složité v osobních letadlech přepravovat náklad v tzv. belly formě. Ostatních 14 společností má své flotile nákladní letadlo, mají svou dceřinou nákladní společnost nebo spolupracují s nějakou nákladní společností, z čehož vyplývá, že



k přepravě nákladu je mnohem výhodnější mít nákladní letadla než jej pouze přepravovat v osobních letadlech.

Tabulka 5 - rozložení % objemu přepravy cestujících, pošty a nákladu vybraných aerolinek

(zdroj dat: [17])

% poměr objemu přepravy cestujících, pošty a nákladu v různých aerlinkách (v TKM)			
Aerolinka	Cestující %	pošta %	náklad %
Delta Air Lines	91	1	8
Aeroflot	89	1	10
American Airlines	88	1	11
United Airlines	86	2	12
Aeromexico	85	<0,5	15
Air Canada	80	1	19
Qantas	80	2	18
Air France	77	1	22
British Airways	76	1	23
Turkish Airlines	73	1	26
PRŮMĚRNÁ AEROLINKA	74	1	25
China Eastern	73	<0,5	27
Emirates	68	1	31
Ethiopian Airlines	67	<0,5	33
Lufthansa	67	1	32
Air China	65	1	34
Singapore Airlines	58	1	42
Qatar Airways	54	<0,5	46
Cathay Pacific	49	2	49
Korean Air	46	1	53

Dle Doganise [17] tvořily příjmy z přepravy nákladu průměrně pouze 8% všech příjmů, ikdyž průměrný objem přepravy je 25%. Pokud porovnáme zprávy několika leteckých společností, tak např. příjmy společnosti American Airlines [76] z přepravy nákladu a pošty tvořily v roce 2023 pouze 1,6% provozních příjmů, u Delta Air Lines [35] je to 1,4%, u Emirates [77] tvoří náklad 16% provozních příjmů, u British Airways [78] 5,9% a u Qatar Airways [50] za zúčtovací období 2022/23 je to 27%. Z takto malého vzorku dat je velmi složité určit průměrnou hodnotu pro všechny společnosti, ale hodnota příjmů z roku 2023 by se neměla zásadně lišit (max o několik jednotek %) od hodnoty příjmů 8% z přepravy nákladu z roku 2017.

Z výše provedené rešerše, jak jednotlivé letecké společnosti převáží náklad, je patrné, že pravidelnou nákladní leteckou přepravu poskytují pouze pravidelní nákladní a zásilkoví dopravci, kteří zároveň dle dat z Flightradaru24 mají největší flotilu nákladních letadel. Ačkoliv i ostatní společnosti převážející kromě nákladu i cestující mají přepravu nákladu jako významný zdroj příjmů, z provedené rešerše jejich výročních zpráv nelze kromě letecké



společnosti Emirates exaktně určit, kolik % nákladu je převáženo v osobních (tzv. belly cargo) a kolik v nákladních letadlech (tzv. full cargo) uvedených v tabulce 6, a zároveň distribuce nákladu mezi osobní a nákladní letadla se odvíjí od přepravovaného druhu nákladu a kapacity v jednotlivých letadel, tzn. u stejného letu např. mezi Londýnem a New Yorkem ve dvou po sobě následujících dnech může být objem nákladu zcela odlišný, nepredikovatelný a v případě již uskutečněných letů nezjistitelný. U nepravidelných dopravců a ACMI společností se případná dekarbonizace jejich sítě analyzuje velmi složitě, protože síť letišť a počet letů mezi jednotlivými dvojicemi letišť se odvíjí od aktuální poptávky zákazníků dané společnosti. Z těchto důvodů se budu v dalších částech práce věnovat zásilkovým a pravidelným nákladním leteckým společnostem.

Tabulka 6 - rozdělení full a belly cargo v přepravě Emirates

(zdroj dat: [77])

Emirates				
	19/20	20/21	21/22	22/23
cargo celkem (tun)	2 389 000	1 873 000	2 139 000	1 849 000
full cargo (tun)	548 000	1 158 000	878 000	514 000
full cargo %	23	62	41	27
belly cargo (tun)	1 841 000	715 000	1 261 000	1 335 000
belly cargo %	77	38	59	73

1.4. Datové zdroje

K vypracování této diplomové práce jsem hledal data o jednotlivých letech leteckých společností a spotřebu typů nákladních letadel, které mají letecké společnosti ve svých flotilách. Podobná data o letech jsem využil i ke zpracování své bakalářské práce, tzn. i ke zpracování diplomové práce jsem využil stejná data z webu FlightRadar24 [75]. Jako další zdroj dat o letech leteckých společností je možné využít Flightera [79], ale na této stránce nejsou k dispozici data o letech zásilkových leteckých společností. K získání dat o spotřebě jednotlivých typů nákladních letadel jsem hledal zdroj, ideálně databázi, ve které jsou k dispozici data o co nejvíce typech letadel. Rešerší internetových stránek a různých databází jsem našel a v praktické části budu používat webovou stránku Aerocorner [80]. I přesto, že na této webové stránce jsou data o velkém množství typů letadel, některá data k dispozici nebyla, proto bylo nutné najít data ke konkrétním typům na webech ATR-Aircraft [81], Airborne Operations [82], Boeing [55], Brinkley [83] a SkyBrary [47].



1.5. Shrnutí kapitoly

Rešeršní část popisuje využívanými možnostmi dekarbonizace letecké dopravy, leteckými společnostmi převážející náklad a konektivitou sítě leteckých společností. Seznam stěžejních oblastí v dané problematice včetně použitých zdrojů a hlavních výstupů jsou uvedeny v tabulce 7. V doméně dekarbonizace nákladní letecké dopravy jsem našel 4 hlavní směry. Prvním jsou kompenzační programy, pomocí kterých jsou letecké společnosti pokutovány za produkování emisí skleníkových plynů. Druhou metodou ke snižování emisí je modernizace flotil, kde všechny typy společností využívají výměnu starých vysoce emisních letadel za nové nízkoemisní a při využívání služeb na letištích při odbavování svých letadel a u zásilkových dopravců doprava v rámci silniční dopravy mimo letiště využívají elektrifikaci vozidel. Elektrifikace se objevuje také jako jedno z možných řešení v oblasti používání nových alternativních nízkoemisních paliv. Z tohoto pohledu se jeví a v budoucnu velmi pravděpodobně bude nejlepším řešením používání vodíku jako paliva, ale aktuálně jsou ve fázi vývoje. Aktuálně nejrealističtějším palivem, které je již certifikováno pro používání v komerčním letectví a v určitých objemech se již používá, je SAF. Dekarbonizace zásilkových dopravců díky již aktuálně používaným elektrickým vozidlům probíhá, a tak se v letecké divizi své přepravy nemusí zaměřovat na maximalizaci objemu SAF ve své síti. Posledním směrem ke snižování emisí skleníkových plynů v letectví je zvýšení efektivity provozu. I v tomto případě se skrz celé odvětví letectví iniciativy opakují. Využívanou možností snížení emisí je efektivnější využívání paliva nebo plánování letů. Existují již úspěšné iniciativy jako je proces postupného stoupání po vzletu a klesání před přistáním nebo koncept SES v evropském vzdušném prostoru, v rámci kterého je určitých částech Evropy úspěšně používán koncept FRA. Samotný koncept SES lze jeho obsahem považovat za efektivní a potřebný, ale jeho implementace zatím úspěšná není. Dle IATA [56] lze nulové uhlíkové stopy dosáhnout kombinací 4 aktivit, které jsou uvedeny s vyjádřením v % jejich vlivu- 65% SAF, 13% nové technologie, elektřina a vodík, 3% infrastruktura a provozní efektivita a 19% offsety. Dále jsem se zabýval rozdělením leteckých společností, které převládá náklad, definicí možností určení konektivity sítě letecké společnosti a datové zdroje, které budu využívat v praktické části.



Tabulka 7 - shrnutí hlavních témat teoretické části

(zdroj: vlastní)

Problematika	Zdroje	Hlavní sdělení
Kompenzační programy	[14,16,18-20, 22-26]	Aerolinky platí za vypuštěné emise
Modernizace flotil	[13, 28-35]	Výměna starých letadel za nové, elektrifikace pozemních vozidel
Efektivita provozu	[13,15,33-51]	Efektivnější provoz ze strany aerolinky a ATM
Alternativní palivo	[1,13,14,51,53-63]	Elektrické letadlo, SAF a vodík
Konektivita	[64-67]	Centralita, ACI metoda, konektivita podle IATA
Letecké společnosti	[17,27,28,50,71-78]	6 druhů společností převážející náklad

V praktické části z používaných metod dekarbonizace letecké dopravy budu zkoumat implementaci SAF paliva do sítě letišť leteckých společností jako v dnešní době nejvíce využívaného zdroje, z typů leteckých společností převážejících náklad se budu zabývat zásilkovými a pravidelnými nákladními dopravci a z možností určení konektivity sítě využiji váženou centralitu z daného uzlu (weighted degree out), tzn. množství paliva tankovaného na jednotlivých letištích.

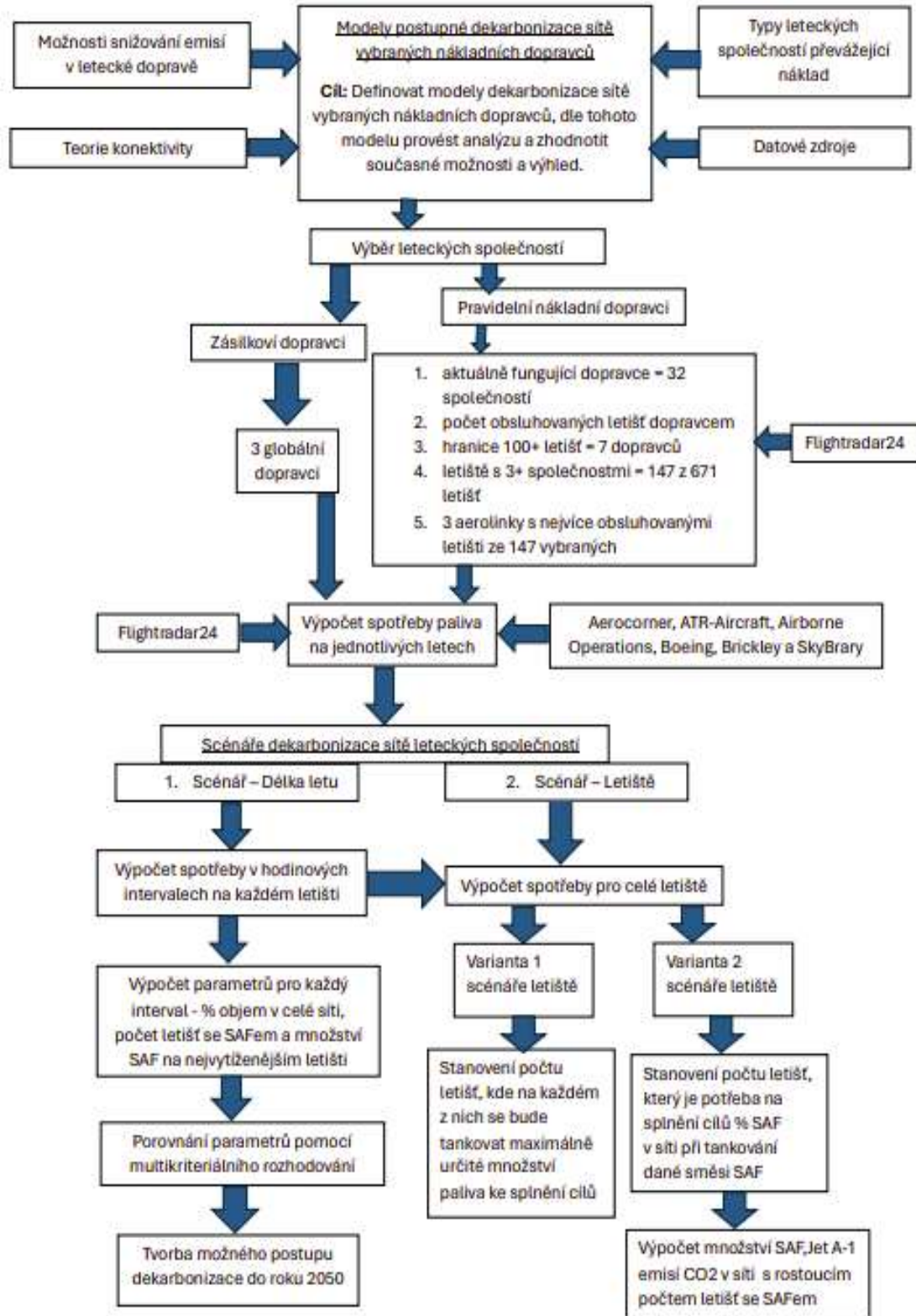


2. Metodika

V druhé části této práce se zabývám popisem metodického postupu následné analýzy scénářů postupné dekarbonizace sítě leteckých společností. Nejdříve je obecně popsán metodický model se zmíněním jednotlivých kroků, jaké jsou v postupu použity, a v následujících částech této kapitoly jsou jednotlivé kroky metodiky detailně popsány.

2.1. Metodický model

Na obrázku 5 je uveden metodický postup práce. K naplnění cíle práce definovat modely dekarbonizace sítě vybraných nákladních dopravců, dle tohoto modelu provést analýzu a zhodnotit současné možnosti a výhled byla nejdříve provedena potřebná literární rešerše, kde stěžejní částí jsou způsoby snižování emisí v letecké dopravě. Dále jsou zmíněny metody analýzy konektivity, typy leteckých společností převážející náklad a využití datové zdroje. Na úvod tvorby modelu dekarbonizace bylo nutné definovat konkrétní letecké společnosti, které budou analyzovány, konkrétně to jsou zásilkoví a pravidelní nákladní dopravci. V nákladní letecké dopravě existují 3 hlavní zásilkoví dopravci, pravidelných dopravců existuje více, a tak musel být proveden výběr. Společnosti byly vybrány na základě počtu letišť, na která létají. Dalším krokem je výpočet spotřeby paliva na jednotlivých letech vybraných 6 společností. Následně byly definovány 2 scénáře možné dekarbonizace, konkrétně scénář letiště (1), u kterého byla důležitá celková spotřeba paliva na letišti. Tento scénář byl rozdělen na 2 varianty, kdy 1. zkoumá, na kolik letišť je potřeba zavést SAF při dané maximální % směsi SAF ke splnění určeného cíle 10%, což deklaruje mimo jiné aliance OneWorld [84] jako cíl do roku 2030 resp. 12,5% SAF v celé síti, což je cíl společnosti Ryanair také do roku 2030 [85]. Druhá varianta zkoumá, kolik je potřeba letišť ke splnění cíle % množství SAF v celé síti při tankování zadané směsi (15%-40%) SAF na každém z těchto letišť. Na závěr bylo spočítáno množství SAF, Jet A-1 a emisí CO₂ v síti společnosti za předpokladu přidávání letišť do sítě, kde je možné tankovat 40% směs SAF. Druhým scénářem je implementace SAF na letiště podle délky letu, ve kterém byla nejdříve data o spotřebě paliva na jednotlivých letištích rozdělena do hodinových intervalů a následně byly spočítány parametry pro jednotlivé intervaly % podíl SAF v síti, počet letišť se SAFem a maximální množství tankované na nejvytíženějším letišti podle spotřeby. Parametry byly následně porovnány podle multikriteriálního rozhodování a pro ideální interval v každé aerolince byl vytvořen možný scénář dekarbonizace do roku 2050. Dále jsou výše zmíněné kroky metodiky detailně popsány.



Obrázek 5 – metodický postup

(zdroj: vlastní)



2.2. Výběr leteckých společností

V následných scénářích dekarbonizace budou porovnávány zásilkové letecké společnosti a pravidelné nákladní dopravce. Dle Doganise [17] jsou v globálním měřítku významní pouze 3 integrátoři – velké společnosti UPS a FedEx a středně velká společnost DHL. Ostatní dopravci jsou pouze regionální a nedosahují takového významu jako tito tři dopravci. Porovnávat tedy budu 3 zásilkové a 3 pravidelné nákladní dopravce. Z analýzy dostupných dat o letech nákladních letadel již použitých v mé bakalářské práci, ověření na webu Flightradar24 [75], zda-li alespoň 1 letadlo dané společnosti aktuálně (březen 2024) aktivně létá, a filtrace leteckých společností, které jsou plně nákladní, jsem identifikoval 32 leteckých společností. Pro každou z těchto společností jsem vytvořil seznam letišť, kam v zadaném období létali, tzn. všechna letiště, odkud byl proveden minimálně 1 let. Počet takto nalezených letišť byl mezi 4 u Compass Cargo Airline a 282 u Kallita Air. Z těchto 32 společností jsem vybral 7 z nich, které letěly na minimálně 100 letišť:

- Cargojet Airways- 102
- Kallita- 282
- Cargolux – 167
- West Atlantic 158
- Lynden Air Cargo - 213
- MNG Airlines- 132
- Silkway west -177

Následně jsem vytvořil seznam všech 671 letišť, kam létá minimálně 1 z těchto 7 společností. Pro každé letiště jsem ověřil, zda-li daná společnost na toto letiště létá. Vznikly tedy množiny letišť, kam létá určitý počet společností (1-6), na žádné neletěly všechny společnosti. Dále jsem vyfiltroval 147 letišť, kam létají minimálně 3 společnosti (vybírám 3 společnosti pro analýzu). Pro každou ze 7 společností jsem určil, na kolik ze 147 letišť létají. Získal jsem tato data:

- Kallita Air- 116
- Cargojet Airways- 59
- Cargolux- 96
- West Atlantic- 62
- Lynden Air Cargo – 53
- MNG Airlines- 81
- Silkway West- 104

Z těchto hodnot jsem vybral společnosti se 3 nejvyššími hodnotami, tzn. Kallita Air, Cargolux a Silkway West, které následně budu analyzovat. Celý postup výběru pravidelných nákladních dopravců je dostupný v příloženém dokumentu „Výběr full cargo aerolinek“.

2.3. Datové zdroje a úprava dat

K analýze používám data o uskutečněných letech 6 vybraných leteckých společností (Cargolux, Kallita Air, Silkway West, DHL, UPS a FedEx) v období březen 2019 až 23.2.2022, která jsem sesbíral z webové stránky FlightRadar24 [75]. Druhým zdrojem jsou data potřebná pro výpočet spotřeby paliva jednotlivých typů letadel používaných vybranými leteckými společnostmi.

Lety leteckých společností

Data o letech vybraných leteckých společností za vybrané období jsem získal z webové stránky FlightRadar24 [75], kde je možné získat informace o veškerých uskutečněných letech všech letadel dané letecké společnosti. Ukázka dostupných dat je na obrázku 6.

DATE	FROM	TO	FLIGHT	FLIGHT TIME	STD	ATD	STA	STATUS
22 Mar 2024	Indianapolis (IND)	Nashville (BNA)	FX1715	0:47	04:57	05:11	04:41	Landed 04:58
21 Mar 2024	Allentown (ABE)	Indianapolis (IND)	FX1664	1:37	22:17	21:59	23:54	Landed 23:36
21 Mar 2024	New York (SWF)	Allentown (ABE)	FX1780	0:28	07:47	07:44	08:19	Landed 08:12
21 Mar 2024	Indianapolis (IND)	New York (SWF)	FX1780	1:27	04:37	04:57	06:03	Landed 06:24
20 Mar 2024	Montreal (YMX)	Indianapolis (IND)	FX153	1:53	22:29	22:29	00:31	Landed 00:22
20 Mar 2024	Indianapolis (IND)	Montreal (YMX)	FX152	1:34	04:38	04:55	06:10	Landed 06:30

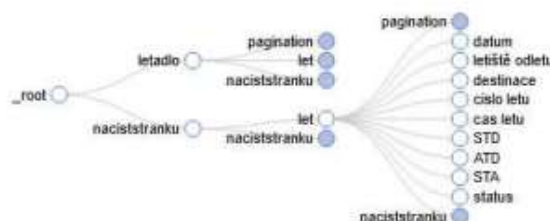
Obrázek 6 - ukázka dat na FL24

(zdroj: [75])

Data jsem sbíral metodou webscraper [86], což je přídavná funkce do webového prohlížeče, pomocí kterého lze stahovat data z webové stránky. K úspěšnému stažení dat bylo nutné vytvořit algoritmus, který bude „číst“ a zaznamenávat požadovaná data. Grafická podoba algoritmu je zobrazena na obrázku 7. Algoritmus jsem vytvořil tak, aby provedl sběr dat o všech letech letadel vybrané letecké společnosti případně jednoho typu letadla v závislosti na velikosti flotily dané společnosti. Vykonáním části algoritmu „letadlo“ se načtou všechna letadla z flotily společnosti a u každého letu (řádku excel souboru) je uveden registrační značka letadla, které daný let letělo. Zaznamenání registrační značky letadla je důležité pro následnou identifikaci letadel k výpočtu spotřeby paliva na jednotlivých letech. Pomocí části algoritmu „let“ se zaznamenávají informace o každém letu (např. datum letu, čas letu a další). Při otevření historie letů daného letadla na webu FL24 se zobrazí jen omezené množství letů a pro načtení dalších letů je nutné manuálně „kliknout“ na políčko „load earlier flights“ neboli „načíst dřívější



lety“, což v algoritmu provádí část „naciststranku“, která po uložení všech viditelných dat o letech vždy načte několik dalších letů více do historie do té doby než jsou načteny všechny dostupné lety z posledních 3 let, nebo všech dostupných letů daného letadla, pokud je letadlo provozované méně než 3 roky.



Obrázek 7 - grafické zpracování algoritmu ve wescraperu

(zdroj: vlastní)

Podle výše popsaného algoritmu jsem stáhl všechna dostupná data, která lze následně stáhnout ve formátu .xls a .csv a dále upravovat. Ukázka stažených a naformátovaných dat je zobrazena na obrázku 8.

web-scraper	web-scraper	pa	letadlo	letadlo-hrei	datum	letiště odletu	destinace	cislo letu	cas letu	STD	ATD	STA	status
164797230	https://www	N709CK	https://www	28 Jul 2019	Hong Kong (HKG)	Delhi (DEL)	K4250	4:48	08:55	04:06	08:54	Landed 08:54	
164797026	https://www	N742CK	https://www	28 Sep 2021	Cincinnati (CVG)	Seoul (ICN)	K4945	14:07	09:55	10:40	00:15	Landed 00:47	
164797026	https://www	N742CK	https://www	31 Aug 2019	Fairfield (SUU)	Honolulu (HNL)	K4426	5:03	20:00	20:10	01:22	Landed 01:13	
164797035	https://www	N741CK	https://www	20 Dec 2019	Memphis (MEM)	Los Angeles (LAX)	K4564	3:16	21:00	20:09	23:24	Landed 23:25	
164797064	https://www	N716CK	https://www	11 Nov 2021	Leipzig (LEJ)	East Midlands (EMA)	K4330	1:26	14:13	12:47	14:13	Landed 14:13	
164797035	https://www	N741CK	https://www	09 Nov 2019	Orlando (MCO)	Los Angeles (LAX)	K4363	5:05	00:38	19:33	00:38	Landed 00:38	
164797308	https://www	N700CK	https://www	14 May 2021	Amsterdam (AMS)	New York (JFK)	K4204	6:52	06:15	07:24	20:30	Landed 14:16	
164797300	https://www	N701CK	https://www	17 May 2020	Seoul (ICN)	Zhengzhou (CGO)	K4816	2:04	07:40	05:36	07:40	Landed 07:40	
164797035	https://www	N741CK	https://www	09 Sep 2020	Cincinnati (CVG)	Brussels (BRU)	K4977	7:00	09:00	09:18	16:13	Landed 16:18	
164797190	https://www	N715CK	https://www	23 Jul 2021	Anchorage (ANC)	Seoul (ICN)	K4828	7:43	22:05	22:20	06:45	Landed 06:03	
164797300	https://www	N701CK	https://www	01 Feb 2020	Cincinnati (CVG)	Bahrain (BAH)	K42342	12:49	00:35	00:33	13:25	Landed 13:22	
164797300	https://www	N701CK	https://www	10 Sep 2020	Bahrain (BAH)	Leipzig (LEJ)	K4244	6:13	03:36	21:22	03:36	Landed 03:36	
164797308	https://www	N700CK	https://www	24 Nov 2020	Seoul (ICN)	Hong Kong (HKG)	K4247	3:10	07:06	03:57	07:06	Landed 07:06	
164796988	https://www	N761CK	https://www	20 Apr 2021	Seattle (SEA)	Los Angeles (LAX)	K41817	2:05	03:47	04:09	06:32	Landed 06:15	
164797249	https://www	N707CK	https://www	27 Sep 2021	Seoul (ICN)	Anchorage (ANC)	K4875	7:39	08:57	08:04	15:42	Landed 15:43	
164797290	https://www	N702CK	https://www	30 Nov 2019	Miami (MIA)	Anchorage (ANC)	K4962	7:43	22:15	22:04	05:46	Landed 05:46	
164796978	https://www	N764CK	https://www	06 Aug 2020	Los Angeles (LAX)	Seattle (SEA)	K41917	2:06	11:50	12:02	14:06	Landed 14:08	

Obrázek 8 - Ukázka stažených dat pomocí webscraperu

(zdroj: vlastní)

Získaná data nebyla kompletní, proto jsem musel následně vyfiltrovat nekompletní data. K následné analýze jsem potřeboval data o datu, kdy byl let proveden, letišti odletu a příletu a době letu. Pokud minimálně 1 z těchto informací u daného letu chyběla, celý let jsem vyfiltroval a smazal. Ukázka nekompletních dat jsou na obrázku 9.



datum	letišťe o	destinac	cislo let	cas letu	STD	ATD	STA	status
12 Dec 2021	—	—	QT4023	-	—	—	—	Unknown
01 Sep 2020	—	Medellin (M)	0000	3:06	—	—	17:03	Landed 17:03
15 Jul 2020	—	Miami (MI)	QT4034	-	—	—	18:41	Landed 18:41
15 Jul 2019	—	Medellin (M)	QT4060	-	—	—	05:36	Landed 05:36
07 Dec 2019	—	—	QT4041	-	—	—	—	Unknown
18 Mar 2021	—	Miami (MI)	QT4032	4:06	—	—	21:26	Landed 21:26
13 Mar 2020	—	—	TP4033	-	—	—	—	Landed 20:20
18 Feb 2021	—	—	(TEST)	-	—	—	—	Unknown
26 Sep 2019	—	Quito (UIO)	QT4058	-	—	—	17:41	Landed 17:41
19 Sep 2020	—	—	QT4046	-	—	—	—	Unknown
12 Dec 2021	—	—	QT4023	-	—	—	—	Unknown
07 May 2019	—	Miami (MI)	QT4034	3:39	—	—	20:54	Landed 20:54
05 Jan 2022	—	Manaus (M)	QT4023	-	—	—	00:25	Landed 00:25
28 Aug 2019	—	—	(TPA4014)	-	—	—	—	Unknown
23 Jul 2020	—	—	QT4012	-	—	—	—	Unknown

Obrázek 9 - Ukázka nekompletních dat

(zdroj: vlastní)

Data o době letu byla ve formátu hodiny a minuty (hh:min) a k následnému výpočtu spotřeby paliva jsem čas pře počítal na minuty vzorcem:

$$T_{\min} = T_{\text{hh:min}} * 1440, \quad (1)$$

kde T_{\min} je výsledný čas v minutách, $T_{\text{hh:min}}$ čas letu v hodinách a minutách a hodnota 1440 je počet minut v 1 dni (24 hodin krát 60 minut).

2.4. Výpočet spotřeby paliva

K výpočtu spotřeby paliva jednotlivých typů letadel jsem použil několik zdrojů. Primárním zdrojem byla webová stránka Aerocorner [80], ze které jsem pro daný typ letadla získal informaci o maximální rychlosti při letu v hladině (ang. max cruise speed) a počtu kilometrů, kolik uletí na 1 litr paliva. K výpočtu spotřeby jsem použil vzorec

$$S_{l/\min} = \text{MCS} / 60 / \text{Km}, \quad (2)$$

kde $S_{l/\min}$ je spotřeba paliva (l/min), MCS maximální rychlost při letu v hladině (km/h), hodnota 60 je pře počítání na minuty a Km hodnota, kolik kilometrů uletí letadlo na 1 litr paliva (km/l). Jelikož u několika typů letadel nebyla k dispozici informace o hodnotě Km ze vzorce, získal jsem hodnoty množství spáleného paliva za hodinu (kg/h) z jiných zdrojů (ATR Aircraft [81], Airborne Operations [82], Boeing [55], Brinkley [83], Skybrary [47]). Tyto hodnoty byly nutné pře počítat na množství spáleného paliva v kg za minutu podle vzorce:

$$S_{\text{kg}/\min} = S_{\text{kg}/h} / 60 * 1,2, \quad (3)$$



kde $S_{/min}$ je spotřeba v litrech za minutu, $S_{kg/h}$ je spotřeba v kg za hodinu a hodnota 60 přepočítá hodiny na minuty a 1,2 je přepočítá kg na litry. Pomocí těchto 2 vzorců jsem získal hodnoty spotřeby jednotlivých typů letadel za minutu, které jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8 - Spotřeba jednotlivých typů letadel

(zdroj: vlastní)

Typ letadla	Spotřeba [l/min]	Typ letadla	Spotřeba [l/min]
A306	177,99	B734	45
A321	76,06	B738	67,9
A332	281,79	B744	244
A333	144,17	B747	419,66
AT43	11,6	B748	419,65
AT72	15,6	B752	175,93
AT73	10,4	B762	75
AT75	12,7	B763	220,59
AT76	13,38	B77L	321,77
MD11	172,22	C208	4,21
F406	6,5	C408	11,1



V další fázi výpočtů jsem využil data o době letu mezi jednotlivými dvojicemi letišť v minutách a spotřebu každého typu letadla provozovaného vybranými leteckými společnostmi. Pomocí těchto hodnot jsem vypočítal celkovou spotřebu na daném letu podle vzorce

$$S_{\text{celková}} = T_{\text{min}} * S_{\text{l/min}}, \quad (4)$$

kde $S_{\text{celková}}$ je celková spotřeba na daném letu, T_{min} doba letu v minutách a $S_{\text{l/min}}$ spotřeba v litrech za minutu. Pro výpočet jsem předpokládal 100% využití natankovaného paliva, tzn. na jednotlivých letech po přistání a zaparkování letadla na stání nezbylo v nádržích žádné palivo. Z výsledné celkové spotřeby paliva jsem následně podle vzorce spočítal spotřeby SAF paliva s předpokladem, že na každý let bude natankováno 40% SAF paliva.

$$S_{40\% \text{ SAF}} = S_{\text{celková}} * 0,4, \quad (5)$$

kde $S_{40\% \text{ SAF}}$ je spotřeba SAF paliva, $S_{\text{celková}}$ celková spotřeba na daném letu.

Na obrázku č.10 je zobrazen výše popsany postup výpočtu použitý na reálných datech, kde ve 2. řádku je zobrazeno, co v dané buňce počítám a ve 3. řádku výsledky pro let mezi Baku (GYD) a Amsterdamem (AMS) z 29. března 2021. Výpočty spotřeby pro každou ze 6 analyzovaných leteckých společností je dostupný v příloženém dokumentu pojmenovaný vždy „Název aerolinky – výpočty spotřeby na jednotlivých letech“.

datum	letišť odletu	destinace	cas letu	čas v minutách	Spotřeba [l] =čas v minutách*244	40% SAF [l] =spotřeba*0,4
29 Mar 2021	Baku (GYD)	Amsterdam (AMS)	4:52	292		
29 Mar 2021	Baku (GYD)	Amsterdam (AMS)	4:52	292	71248,00	28499,2

Obrázek 10 - Ukázka výpočtu spotřeby na reálných datech

(zdroj: vlastní)

2.5. Scénáře dekarbonizace

Dalším krokem metodiky práce byla volba scénářů pro následnou dekarbonizaci sítě 6 společností. K analýze byly zvoleny 2 scénáře – podle délky letu a podle letišť. Scénář letišť

Prvním scénářem možné dekarbonizace je zavedení SAF podle spotřeby na jednotlivých letištích. K jejímu výpočtu byla využita výsledná data výpočtu pro jednotlivé časové intervaly délky letu, který je popsán v následující podkapitole 2.5.2., kdy celková spotřeba na jednotlivých letištích byla vypočítána jako součet hodnot spotřeby pro jednotlivé časové intervaly. K další analýze bylo nutné tyto hodnoty seřadit podle velikosti od největšího po nejmenší. Ukázka výsledných hodnot je v tabulce 9.

Tabulka 9 – ukázka hodnot spotřeby pro Cargolux

(zdroj: vlastní)

Letiště	Spotřeba [L]
Luxembourg (LUX)	1 718 062 199
Novosibirsk (OVB)	541 690 948
Hong Kong (HKG)	435 790 044
Anchorage (ANC)	378 643 360
Dubai (DWC)	325 653 669
Chicago (ORD)	299 439 786

2.5.1. Scénář délka letu

K analýze dekarbonizace podle délky letu bylo potřeba data dále upravit. K této úpravě byl využit skript v programu Matlab [87] (obrázek 11). Jako vstupy do skriptu, odpovídající řádkům 3 a 4 ve skriptu, byly použity soubory v Excelu s lety jednotlivých aerolinek (proměnná „aerolinka“ a seznamem letišť a hodnotami spotřeby v hodinových intervalech (proměnná „letiste“), které byly před spuštěním skriptu nulové. První cyklus „for“ (řádek 6) prochází postupně všechny lety dané letecké společnosti a druhý cyklus (řádek 7) prochází všechna letiště, kam daná letecká společnost létá. Řádek 8 skriptu porovnává názvy letišť z obou databází a v případě shody jsou následně porovnány časové hodnoty délky letu s hraničními hodnotami v jednotlivých časových intervalech. Až skript najde příslušný časový interval, proběhne součet již uloženého množství paliva s novou hodnotou spotřebovaného paliva na aktuálně zkoumaném letu a zapsání výsledné hodnoty do příslušné buňky v souboru s letišti a celkový počet letů v daném časovém intervalu se zvýší o 1. Celý skript je k dispozici v přiloženém dokumentu pod názvem „Matlab- spotřeba“.

```

1   close all, clear all, clc
2
3   letiste = readtable("spotreba_hodiny.xlsx");
4   aerolinka= readtable("DHLdiploafka.xlsx");
5
6   for i=1:343651 %počet letů aerolinky
7       for j=1:673 %seznam letišť
8           if table2array(aerolinka(i,7))==table2array(letiste(j,1))
9               if table2array(aerolinka(i,16))<=60
10                  letiste(j,3)=letiste(j,3)+aerolinka(i,17);
11                  letiste(675,3)=letiste(675,3)+1;
12              elseif table2array(aerolinka(i,16))>60 && table2array(aerolinka(i,16))<=120
13                  letiste(j,4)=letiste(j,4)+aerolinka(i,18);
14                  letiste(675,4)=letiste(675,4)+1;

```

Obrázek 11 - ukázka programu na výpočet spotřeby v časových intervalech

(zdroj: vlastní)



Výstup tohoto skriptu je zobrazen v tabulce 10. Jednotlivá políčka znamenají spotřebu paliva v litrech na jednotlivých letištích a v daném časovém intervalu, tzn. například na letech z letiště Lucemburk (LUX) bylo na všech letech do 1 hodiny natankováno 11 284 714 litrů paliva.

Tabulka 10 - ukázka vypočtených hodnot spotřeby na letištích a v časových intervalech pro Cargolux (zdroj: vlastní)

Source	0-1	1-2	2-3
Luxembourg (LUX)	11 284 714	6 564 073	762 693
Novosibirsk (OVB)	3 416	95 635	37 088
Hong Kong (HKG)	22 241	-	504 190
Anchorage (ANC)	-	29 795	-
Dubai (DWC)	399 131	40 504	121 024
Chicago (ORD)	2 356 831	6 883 280	433 088

2.6. Provedené výpočty

Dalším krokem metodiky byly výpočty v jednotlivých scénářích, konkrétně ve scénáři podle délky letu výpočet 3 kritérií pro jednotlivé hodinové intervaly délky letu, která byla následně porovnána podle principu multikriteriálního rozhodování. **Všechny následující vypočítané hodnoty byly převedeny na tuny paliva.** Ve scénáři podle letišť výpočet potřebného procentuálního množství paliva a výpočtech potřebného počtu letišť s možností tankovat SAF. Nejdříve bylo potřeba rozlišit státy EU, mezi které dle gov.uk [88] patří státy zobrazené v tabulce 11, a ostatní.

Tabulka 11- státy EU

(zdroj: vlastní)

Státy EU		
Belgie	Itálie	Polsko
Bulharsko	Kypr	Portugalsko
Česká republika	litva	Rakousko
Dánsko	Lotyšsko	Rumunsko
Estonsko	Lucembursko	Řecko
Finsko	Maďarsko	Slovensko
Francie	Malta	Slovinsko
Chorvatsko	Německo	Španělsko
Irsko	Nizozemsko	Švédsko

Následně ke každému letišti v síti společnosti byla přiřazena hodnota 0, tzn. není v EU, nebo 1, tzn. je v EU. Následně byly z celkového množství tankovaného paliva na letištích v EU vypočítány hodnoty odpovídající 2% jako povinné tankované množství SAF od roku 2025,



resp. 6% pro rok 2030, a také celková spotřeba paliva v celé síti dané společnosti. Všechny tyto hodnoty pro jednotlivé společnosti jsou zobrazeny v tabulce 12.

Tabulka 12- vypočítané hodnoty pro jednotlivé společnosti

(zdroj: vlastní)

Aerolinka	2% SAF v EU [tuny]	6% SAF v EU [tuny]	Celková spotřeba v síti [tuny]
Silkway	3 752	11 257	1 650 554
Kallita	3 148	9 443	2 781 759
Cargolux	30 862	92 585	5 075 744
DHL	51 890	155 669	8 585 972
FedEx	39 604	118 812	17 334 214
UPS	34 643	103 928	18 748 976

2.6.1. Výpočet počtu % SAF v celé síti

K prvotnímu výpočtu počtu % SAF v celé síti jsou využita zpracovaná data o spotřebě paliva v jednotlivých časových intervalech délky letu, hodnoty paliva odpovídající 2% SAF v EU a celková spotřeba paliva v síti.

Pro každý hodinový interval bylo spočítáno množství palivo, které se bude na těchto dohromady tankovat v případě tankování 40% směsi SAF paliva. K výpočtu byl využit následující vzorec:

$$M_{\text{SAF40}} = M_{\text{SAF2\%}} + 0,38 * M_{\text{EU}} + 0,4 * M_{\text{nonEU}}, \quad (6)$$

kde M_{SAF40} znamená vypočítané množství se 40% směsí SAF, $M_{\text{SAF2\%}}$ je množství odpovídající povinným 2% SAF tankovaného na letištích v EU, koeficienty 0,38 a 0,40 jsou hodnoty, jaká část spotřeby na daném letišti (38%, nebo 40%) bude nově tankována a veličiny M_{EU} a M_{nonEU} znamenají spotřebu v daném hodinovém intervalu na daném letišti v EU, resp. mimo EU.

Následně byly zjištěny 3 hodnoty potřebné pro další výpočet. První je hodnota, kolik % z celkové spotřeby paliva v síti představuje tankování 40% směsi SAF paliva v daném hodinovém intervalu, vypočítaná podle následující vzorce:

$$M_{\%} = M_{\text{SAF40}} / M_{\text{celkové}} * 100, \quad (7)$$



Kde $M_{\%}$ znamená počet % SAF v celé síti, M_{SAF40} je množství 40% SAF, $M_{celkové}$ je celková spotřeba v celé síti a hodnota 100 přepočítává výslednou hodnotu na %.

Druhou hodnotu je počet letišť, na kterém by bylo v daném hodinovém intervalu tankován SAF. Jedná se o součet všech letišť v EU z celé sítě společnosti a nových letišť mimo EU, kde by bylo nutné SAF zavést. Třetí hodnotou je maximální množství SAF paliva, které by bylo nutné na nejvytíženějším letišti v daném hodinovém intervalu tankovat. Ukázka výsledných hodnot je v tabulce 13. Kompletní výsledky pro danou analyzovanou leteckou společnost jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - Název společnosti“

Tabulka 13 - ukázka vypočítaných hodnot

(zdroj: vlastní)

	0-1h	1-2h	2-3h
40% SAF paliva- % z celkové spotřeby	0,39	1,01	1,39
Počet letišť se SAFem	97	125	100
MAX nasmlouvané množství	756	6 118	7 885

2.6.2. Multikriteriální rozhodování

Aktuálně jsou k dispozici vypočítané hodnoty počtu % z celkové spotřeby, počtu letišť v daném hodinovém intervalu a maximální množství paliva na nejvytíženějším letišti. Následně bylo nutné tyto hodnoty vzájemně porovnat a nalézt nejefektivnější variantu. Po konzultaci s doc. Ing. Bc. Vladimírem Sochou, Ph.D. bylo k vyhodnocení vybráno multikriteriální rozhodování, které dle M. Honců [89] porovnává více kritérií, která závisí na preferencích rozhodovatele. K určení preferencí jednotlivých kritérií jsou použity váhy.

V případě porovnání intervalů délky letu byla zvolena výše uvedená 3 kritéria a následně bylo nutné subjektivně určit váhy pro jednotlivá kritéria a jejich součet musí být 100. Jednotlivé hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 14 a byly zvoleny odlišně pro jednotlivé typy aerolinky z důvodu odlišného počtu obsluhovaných letišť v daných hodinových intervalech a celkového počtu letišť v síti (full cargo 156–266 letišť a integrátoři 243--673 letišť). Pro full cargo společnosti je nejdůležitější zajistit co největší celkový objem v síti, následně minimalizovat počet letišť se SAFem v síti a nejmenší prioritu má nutnost zajistit adekvátní množství paliva na jednotlivá letiště. Důležitost % objemu SAF v síti je z důvodu jejich plného zaměření se na leteckou přepravu, tzn. nemají žádnou pozemní složku přepravy jako integrátoři, kteří mohou dekarbonizaci rozložit do více úseků své přepravy. Integrátoři mají také rozsáhlé sítě letišť a velký počet krátkých letů do 3 hodin a pro ně je nejdůležitější zajistit dodávky SAF paliva na



tento velký počet letišť, následuje maximální potřebné dodávané množstvím SAF paliva na nejvytíženější z nich. Nejméně důležité je pro ně počet % SAF z celé sítě společnosti.

Tabulka 14 - hodnoty vah pro jednotlivá kritéria a typ aerolinky

(zdroj: vlastní)

Kritérium/ typ aerolinky	Full cargo	Integrátor
% z celkové spotřeby	45	16
jaká část sítě?	30	55
množství paliva na nejvytíženějším letišti	25	29

Následuje určení hodnot vah kritérií v každém časovém intervalu délky letu. K tomu bylo potřeba určit maximální, pokud je požadováno „čím větší číslo, tím lépe“ (přímá úměrnost), nebo minimální hodnotu, pokud je požadováno „čím menší číslo, tím lépe“ (nepřímá úměrnost) pro každé kritérium. Samotný výpočet vah pro jednotlivá kritéria je z toho důvodu odlišný. Pokud požadujeme přímou úměrnost je výpočet následující:

$$\text{Výsledná váha} = \text{váha} * H_{\text{aktuální}} / H_{\text{maximální}}, \quad (8)$$

kde „výsledná váha“ je konkrétní vypočítaná váha, „váha“ je subjektivně určená váha daného kritéria, $H_{\text{aktuální}}$ je aktuálně počítaná hodnota a $H_{\text{maximální}}$ je maximální hodnota pro dané kritérium. Tento postup byl použit pro kritéria % z celkové spotřeby u obou typů dopravců a počtu letišť u integrátorů. Pro ostatní kritéria byl použit následující vzorec:

$$\text{Výsledná váha} = \text{váha} * H_{\text{minimální}} / H_{\text{aktuální}}, \quad (9)$$

kde „výsledná váha“ je konkrétní vypočítaná váha, „váha“ je subjektivně určená váha daného kritéria, $H_{\text{aktuální}}$ je aktuálně počítaná hodnota a $H_{\text{minimální}}$ je maximální hodnota pro dané kritérium.

Takto byly získány váhy jednotlivých kritérií pro jednotlivé délky letů a k určení nejlepší délky letu pro dekarbonizaci byl použit průměr vah těchto 3 kritérií a délka letu s největším průměrem byla zvolena jako nejlepší pro dekarbonizaci. Ukázka hodnot je v tabulce 15. Pro lepší vizualizaci bylo použito barevné rozlišení, tzn. zelená nejlepší, žlutá střední a červená nejhorší varianta a jednotlivé hodnoty jsou v rámci každé barvy rozlišeny také sytostí barev. Z těchto zobrazených intervalů délky letu by byl vybrán interval 0-1h. Kompletní výsledky pro danou analyzovanou leteckou společnost jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - Název společnosti“.



Tabulka 15 - ukázka výsledných hodnot po aplikaci multikriteriálního rozhodování

(zdroj: vlastní)

	VÁHA	0-1h	1-2h	2-3h
% z celkové spotřeby	45	1,03	2,20	9,27
jaká část sítě?	30	19,67	14,63	13,79
množství paliva na nejvytiženějším letišti	25	25,00	2,30	0,09
Výsledný koeficient		15,24	6,38	7,72

Posledním krokem je výpočet, jak by pro zvolený nejlepší interval mohla probíhat postupná dekarbonizace. Hodnoty jsou zaznamenány/vypočítány pro několik postupných kroků. Výchozím krokem jsou povinná 2% na letištích EU odpovídající roku 2025, tzn. tato možnost ještě nepočítá se zavedením SAF podle délky letu. Následují možnosti, že na letištích v EU by se tankovalo konstantně 6% všech letech (odpovídá nařízení pro rok 2030) a postupně by se přidávalo 5%, 10%, 20%, 30% a 40% na vybrané délce letu. Zaznamenávaný bude % vývoj spotřeby SAF v síti s narůstajícím množstvím SAF. K výpočtu jsou použity již výše zmíněné vzorce:

$$M_{SAF} = M_{SAF2\%/6\%} + X * M_{EU} + Y * M_{nonEU}, \quad (10)$$

kde M_{SAF} znamená vypočítané množství se danou směsí SAF, $M_{SAF2\%/6\%}$ konstanta odpovídající povinným 2% a 6% SAF tankovaného na letištích v EU, parametry X a Y jsou proměnné hodnoty v závislosti na variantě směsi SAF, která je aktuálně počítána a veličiny M_{EU} a M_{nonEU} znamenají spotřebu v daném hodinovém intervalu na daném letišti v EU, resp. mimo EU. Následně je opět spočítáno, kolik % paliva ze sítě představuje daná směs SAF.

$$M_{\%} = M_{SAF40} / M_{celkové} * 100, \quad (11)$$

Kde $M_{\%}$ znamená počet % SAF v celé síti, M_{SAF40} je množství 40% SAF, $M_{celkové}$ je celková spotřeba v celé síti a hodnota 100 přepočítává výslednou hodnotu na %.

2.6.3. Výpočet potřebného procentuálního množství paliva

Scénář letišť a spotřeby paliva na nich je zejména určen pro pravidelné nákladní dopravce, protože byl navržen podle teorie centrality, tzn. porovnávat letiště podle spotřeby paliva a určovat nejefektivnější varianty k co největšímu % objemu SAF v síti s tankováním SAF na hlavních letištích společnosti (cíl pravidelných dopravců). Integrátoři mají také ve své síti velké huby důležitější než ostatní letiště, tzn. v případě snahy maximalizovat objem SAF ve své síti je tento scénář vhodný. Vzhledem k cílům integrátorů, tzn. určitý objem SAF v síti rozložit na co největší počet letišť s minimálním objemem paliva na každém z nich, je i s touto variantou počítáno. Pro scénář letišť jsou obecně zvoleny 2 přístupy. Prvním přístupem je varianta, kdy



je definované základní povinné množství v EU, tzn. 2% resp. 6% a požadované množství SAF paliva v síti definované na 10%, což prezentuje jako svůj cíl do roku 2030 většina leteckých společností, resp. 12,5%, což má za cíl do roku 2030 společnost Ryanair, jak bylo uvedeno v předešlé části práce. V tomto scénáři jsou tedy definovány cíle a následně jsou do sítě přidávána letiště, kde je možné tankovat SAF a podle následujícího vzorce je vypočítáno, kolika % směs SAF musí být tankována na každém letišti, aby byl splněn zadaný cíl:

$$SAF_{\text{plánované}} = SAF_{\text{aktuální}} + X * SAF_{1\%}, \quad (12)$$

který je následně upraven do finální podoby:

$$X = \frac{SAF_{\text{plánované}} - SAF_{\text{aktuální}}}{SAF_{1\%}}, \quad (13)$$

Kde $SAF_{\text{plánované}}$ je množství, které odpovídá požadovanému počtu % paliva v rámci celé sítě společnosti, $SAF_{\text{aktuální}}$ je množství SAF paliva, které již je v síti společnosti tankováno (odpovídá povinnosti tankovat 2%, resp. 6% v EU), X představuje počet % SAF paliva, které je nutné tankovat na jednotlivých letištích pro splnění požadovaného množství % SAF paliva v celé síti a $SAF_{1\%}$ znamená množství SAF paliva, které odpovídá vždy součtu 1% natankovaného paliva na všech letištích zařazených do sítě letišť se SAF palivem. Ukázka výpočtů je zobrazena v tabulce 16. Sloupec „nařízení 2%“ obsahuje konstantní povinné množství SAF při tankování 2% v EU, které se s narůstajícím počtem zařazených letišť nemění. Sloupec „přidání 1%“ představuje množství SAFu, které by bylo přidáno ke 2% SAF z EU v případě tankování 1% SAF na všech zařazených letištích. „Potřebné množství (10%)“ je cílové množství SAF v celé síti, v tomto případě 10%, kterého chce aerolinka dosáhnout a „Potřebný % objem na každém letišti“ znamená, kolika % směs SAF je nutné tankovat na každém zařazeném letišti ke splnění 10% SAF v celé síti. Například v případě zavedení/zvýšení objemu SAF na 5 letišť(-tích) by muselo být ke splnění podmínky 10% SAF v celé síti tankováno minimálně 18,86% SAF na každém z nich, tzn. pro případ zařazení letiště v EU by se tento objem zvýšil na 20,86% (2% povinná + 18,86% nově). Kompletní výsledky pro danou analyzovanou leteckou společnost jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - Název společnosti“.



Tabulka 16 - výpočty potřebného % objemu SAF

(zdroj: vlastní)

Zařazená letiště	nařízení 2% [t]	Přidání 1% [t]	Potřebné množství (10%) [t]	Potřebný % objem
1	3 148	5 796	278 176	47,46
2	3 148	8 682	278 176	31,68
3	3 148	11 547	278 176	23,82
4	3 148	13 240	278 176	20,77
5	3 148	14 582	278 176	18,86

2.6.4. Výpočet objemu paliva přidáváním nových letišť se SAF

Druhou variantou scénáře letišť je případ, kdy je opět bráno v potaz povinné nařízení 2% v rámci EU a dále je definována směs SAF, která se bude přidávat na jednotlivých letištích. Tato letiště budou opět přidávána postupně. Sledován bude vývoj objemu SAF v rámci celé sítě a počet letišť, který je potřebný pro splnění konkrétního objemu SAF v síti za předpokladu tankování dané směsi SAF. V tabulce 17 je zobrazen příklad pro leteckou společnost Kallita, u které je na každé letiště postupně přidáváno množství SAF odpovídající celkové směsi 40%, která na daném letišti bude tankována, tzn. v případě letiště v EU to jsou 2% povinně + 38% nově a u letišť mimo EU se poměr směsi SAF zvýší z 0% na 40%. Například aktuálně se přidává 3. letiště, tzn. Los Angeles (LAX), před zařazením se v síti společnosti Kallita tankovalo 350 422 tun SAF a v případě přidání letiště v Los Angeles se objem SAF zvýší o 115 tisíc tun a celkový % objem SAF o více než 4% z 12,60 na 16,72%. Kompletní výsledky pro danou analyzovanou leteckou společnost jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - Název společnosti“

Tabulka 17 - postupné přidávání letišť do sítě

(zdroj: vlastní)

	Spotřeba letiště [t]	Kolik se přidá SAF [t]	Přidaných letišť	SAF [t]	CAF [t]	% SAF v síti
2% SAF EU	3 148	3 147,53	0	3 147,53	2 778 611,55	0,11
Anchorage (ANC)	579 553	231 821,32	1	234 968,85	2 546 790,24	8,45
Cincinnati (CVG)	288 633	115 453,38	2	350 422,23	2 431 336,86	12,60
Los Angeles (LAX)	286 541	114 616,60	3	465 038,83	2 316 720,26	16,72
Hong Kong (HKG)	169 268	67 707,23	4	532 746,06	2 249 013,03	19,15

2.6.5. Výpočet emisí

Výpočet emisí skleníkových plynů bude proveden pro předcházející případ tzn. Sledování celkového objemu SAF v síti společnosti za předpokladu postupného přidávání dalších letišť, kde je možné tankovat SAF. Z rešerše je známé, že aktuálně používané směsi SAF produkují



minimálně 20% emisí skleníkových plynů, z čehož vyplývá, že pro analýzu bylo nutné nalézt emisní faktor pro konvenční palivo Jet A1 i pro SAF. Aktuálně jsou používány emisní faktory v programech EU ETS i CORSIA 3,16 kg CO₂/kg paliva, tzn. k výpočtům bude použita tato hodnota.

Co se týče emisního faktoru pro SAF, byl stanoven na hodnotu 2,55 kg CO₂/ kg paliva. Tato hodnota byla převzata z diplomové práce Elišky Makovcové [90], které byla tato hodnota poskytnuta poskytovatelem paliva SAF na letišti v Amsterdamu (AMS), a odpovídá 40% směsi SAF. Celkové vyprodukované emise CO₂ byly vypočítány podle vzorce:

$$CO_{2,celkové} = M_{SAF} * 2,55 + M_{CAF} * 3,16, \quad (14)$$

kde CO_{2,celkové} jsou celkové emise oxidu uhličitého v kg, M_{SAF} množství SAF v síti, koeficienty 2,55 a 3,16 jsou emisní faktory pro SAF, resp. konvenční JET A-1 a M_{CAF} je množství Jet A-1 v síti.



3. Prezentace výsledků

V této části práce budou prezentovány výsledky navržených scénářů dekarbonizace podle délky letu a podle letišť pro jednotlivé analyzované letecké společnosti.

3.1. Scénář letišť

Prvním scénářem možné dekarbonizace je analýza podle spotřeby paliva na jednotlivých letištích. Tento scénář má pro každou společnost 3 dílčí výstupy. Prvním výstupem je analýza, kdy je zvoleno výchozí povinné % množství SAF v EU (2% a 6%), cílové % množství SAF v síti (10% a 12,5%), definované potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti (30%, 25%, 20%, 15%, 12,5% a 10%) a je sledováno, kolik je potřeba minimálně letišť, na kterých bude přidáno dané množství paliva ke splnění cílového množství paliva (varianta 1). V tomto případě se směs přidává k již tankovanému množství na daném letišti, což se týká letišť v EU, tzn. v případě, že výsledek analýzy je např. 20% a je analyzován scénář s výchozími povinnými 2% SAF v EU, tak nově se na daném letišti bude tankovat 22% směs pro splnění daného cílového množství. Druhým řešením je přístup, kdy je definováno povinné množství 2%, % směsi SAF, které se budou tankovat na letištích (15%, 20%, 25%, 30%, 35% a 40%), cílový počet % SAF v celé síti a je sledováno, kolik je potřeba letišť, kde se tankuje určité množství SAF ke splnění daného % množství SAF v celé síti (varianta 2). V posledním výstupu je počítáno množství SAF paliva, konvenčního Jet A-1 a emisí CO₂ v celé síti, pokud by byla postupně přidávána 40% směs SAF na letiště podle množství paliva, které se na daném letišti tankuje. Jednotlivé výstupy jsou opět rozděleny podle leteckých společností.

3.1.1. Cargolux

V tabulce 18 jsou zobrazeny výsledky analýzy 1. varianty scénáře letišť pro společnost Cargolux. Z tabulky je patrné, že v případě cílového množství 10% a 12,5% SAF v síti se počet letišť liší až pravidla přidání maximálně 15% směsi SAF na každé letiště. Pro variantu 2% povinně a maximálně 15% na každém z nich by se tankování dalších 15% týkalo letišť Lucemburk (LUX), Novosibirsk (OVB), Hong Kong (HKG), Anchorage (ANC), Dubaj (DWC), Chicago (ORD), Baku (GYD), Milan (MXP), tzn. v Baku a Miláně by ve verzi s 10% cílovou směsí museli tankovat 15% a ve verzi 12,5% byli by zapojeni do tankování až 12,5% směsi.



Tabulka 18 – scénář letišť pro Cargolux – varianta 1

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť	Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť
EU ETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti		EU ETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti	
2%	10	30	2	6%	12,5	30	2
2%	10	25	3	6%	12,5	25	3
2%	10	20	4	6%	12,5	20	4
2%	10	15	8	6%	12,5	15	6
2%	10	10	36	6%	12,5	12,5	22

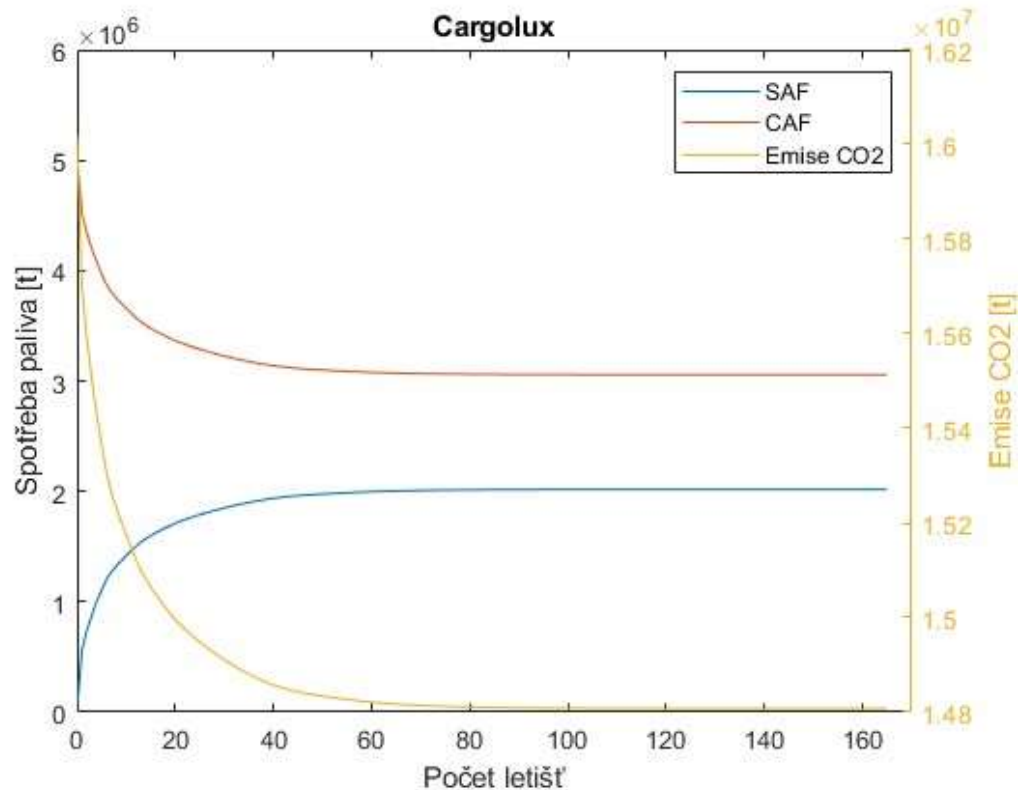
V tabulce 19 je zobrazena varianta 2 scénáře letišť pro společnost Cargolux, tzn. počet potřebných letišť, kde se bude tankovat určitá směs SAF ke splnění určitého % množství SAF v celé síti. Zde je patrné, že se zmenšujícím se objemem SAF na každém letišti při konstantním celkovém objemu v síti se zvyšuje počet potřebných letišť ke splnění daného cíle a zároveň při stejné hodnotě tankované směsi a cílového množství v síti se se snižující se hodnotou těchto veličin potřebný počet letišť snižuje, z čehož vyplývá, že pro začátek dekarbonizace je výhodnější si stanovit nižší cílové množství v síti s menším objemem na každém letišti. Zajímavým faktem je, že ke splnění 10% směsi SAF v celé síti stačí tankovat 40% směs pouze v hlavním hubu sítě Cargoluxu, tzn. v Lucemburku, z čehož vyplývá, že Lucemburk je výrazně důležitější letiště pro síť Cargolux než všechna ostatní letiště, tzn. má vysokou hodnotu centrality. Zároveň v případě dostupnosti maximálně 15% směsi a cílu tankovat 10% v celé síti je potřeba 9 letišť, kde se bude tankovat zmíněná 15% směs, což by mohl být realistický 1. krok dekarbonizace společnosti Cargolux.

Tabulka 19 - scénář letišť pro Cargolux- varianta 2

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty			potřebný počet letišť	Zadané hodnoty			potřebný počet letišť
EU ETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti		EU ETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti	
2%	40	10	1	2%	35	10	2
2%	40	15	3	2%	35	15	4
2%	40	20	5	2%	35	20	6
2%	40	25	8	2%	35	25	11
2%	40	30	13	2%	35	30	22
2%	40	35	25	2%	35	35	135
2%	40	40	138				
2%	30	10	2	2%	25	10	3
2%	30	15	5	2%	25	15	7
2%	30	20	9	2%	25	20	17
2%	30	25	20	2%	25	25	129
2%	30	30	132				
2%	20	10	5	2%	15	10	9
2%	20	15	13	2%	15	15	118

Obrázek 12 zobrazuje vývoj množství SAF, Jet A-1 a emisí CO₂ v síti společnosti Cargolux za předpokladu, že se do sítě postupně přidávají letiště, kde je možné tankovat SAF. Z grafu je patrné, že největší vliv na všechny sledované veličiny mají největší huby společnosti Cargolux, kterými jsou již výše zmiňovaná letiště např. Lucemburk, Novosibirsk atd. Z grafu lze vyčíst, že tankováním 40% směsi SAF na všech letištích Cargolux sníží celkové emise o 7,68%, přičemž 80% z nich je zredukováno na 20 největších letištích, tzn. Cargolux by se měl zaměřit na dodávky největšího objemu SAFu právě na tato letiště.



Obrázek 12 - vývoj množství SAF, Jet A-1 a emisí CO₂ s měnícím se počtem letišť pro Cargolux

(zdroj: vlastní)

Kompletní datové zpracování pro všechny 3 uvedené analýzy jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - Cargolux“.

3.1.2. Kallita

V tabulce 20 je zobrazena první varianta scénáře letišť pro dekarbonizaci společnosti Kallita. Z výsledků je patrné, že počty letišť se liší již od 2. hodnoty tzn. přidání 25% směsi SAF na každé letišť. Tato odlišnost se týká následujících letišť Anchorage (ANC), Cincinnati (CVG), Los Angeles (LAX), Hong Kong (HKG), Seoul (ICN), tzn. na letištích v Hong Kongu a Soulu by museli ve verzi 10% tankovat pouze 20% směs, naopak ve verzi 12,5% již 25% směs.



Tabulka 20 - scénář letiště pro Kallitu – varianta 1

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť	Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť
EUETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti		EUETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti	
2%	10	30	3	6%	12,5	30	3
2%	10	25	3	6%	12,5	25	5
2%	10	20	7	6%	12,5	20	8
2%	10	15	10	6%	12,5	15	18
2%	10	10	93	6%	12,5	12,5	60

V tabulce 21 jsou zobrazeny výsledky 2. varianty scénáře letiště pro společnost Kallitu, tzn. analýza na kolika letištích je potřeba tankovat danou směs paliva k naplnění cíle mít určitou % směs SAF v celé síti. Z výsledků je patrné, že na všechny kombinace směsi SAF a cílového množství SAF jsou potřeba minimálně 2 letiště, kde se daná směs bude muset tankovat. Oproti výsledkům pro společnost Cargolux jsou výsledky posledního řádku pro každou směs, tzn. stejná směs i stejné cílové množství SAF, bez viditelné posloupnosti. Zajímavým zjištěním je, že ke splnění cíle 10% směsi v celé síti jsou při tankování 35 i 40% směsi potřeba pouze 2 největší huby, tzn. v síti Kallity není žádný dominantní hub s výrazně vyšší centralitou než ostatní letiště.

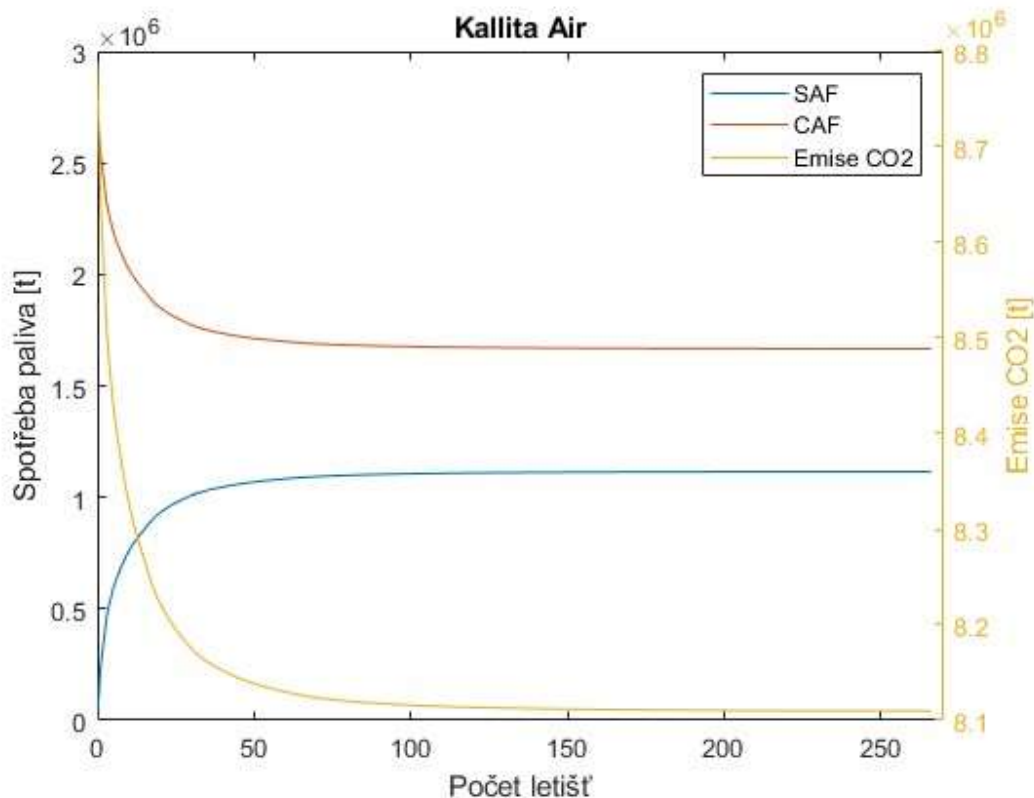
Tabulka 21 - scénář letiště pro Kallitu – varianta 2

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty			potřebný počet letišť	Zadané hodnoty			potřebný počet letišť
EUETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti		EUETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti	
2%	40	10	2	2%	35	10	2
2%	40	15	3	2%	35	15	4
2%	40	20	5	2%	35	20	7
2%	40	25	8	2%	35	25	12
2%	40	30	14	2%	35	30	23
2%	40	35	26	2%	35	35	230
2%	40	40	235				
2%	30	10	3	2%	25	10	3
2%	30	15	5	2%	25	15	7
2%	30	20	10	2%	25	20	18
2%	30	25	20	2%	25	25	261
2%	30	30	224				
2%	20	10	5	2%	15	10	10
2%	20	15	14	2%	15	15	239
2%	20	20	251				

Na obrázku 13 je zobrazen vývoj množství SAF, Jet A-1 a emisí CO₂ s narůstajícím počtem letišť, kde je možné tankovat 40% směs SAF. V grafu je vidět, že Kallita Air tankováním 40%

směsi SAF na všech letištích ve své síti sníží emise o 7,74%, přičemž přibližně 85% emisí je zredukováno na 30 největších letištích, tzn. Kallita by se měla zaměřit na dodávky SAFu právě na tato letiště.



Obrázek 13 - vývoj SAF, Jet A-1 a emisí s narůstajícím počtem letišť se SAFem pro společnost Kallita

(zdroj: vlastní)

Kompletní datové zpracování pro všechny 3 uvedené analýzy jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - Kallita“.

3.1.3. Silkway

V tabulce 22 je zobrazena varianta 1 scénáře letiště pro společnost Silkway. V tabulce je zajímavé, že k naplnění cílového množství 10% směsi v případě pravidla tankovat maximálně 30% i 25% směs SAF na každém zařazeném letišti lze k tomu využít jediné letiště, kterým je zároveň největší hub této společnosti letiště v Baku (GYD). Na tomto letišti je celkově tankováno přes 40% veškerého paliva v síti společnosti Silkway. K naplnění scénáře s cílovými 10% v síti pro případ tankování 15% i 10% stačí polovina letišť oproti scénáři s cílovými 12,5% a tankováním 15% nebo 12,5% SAF.



Tabulka 22 - scénář letišť pro Silkway – varianta 1

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť	Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť
EU ETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti		EU ETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti	
2%	10	30	1	6%	12,5	30	1
2%	10	25	1	6%	12,5	25	2
2%	10	20	2	6%	12,5	20	3
2%	10	15	4	6%	12,5	15	8
2%	10	10	40	6%	12,5	12,5	20

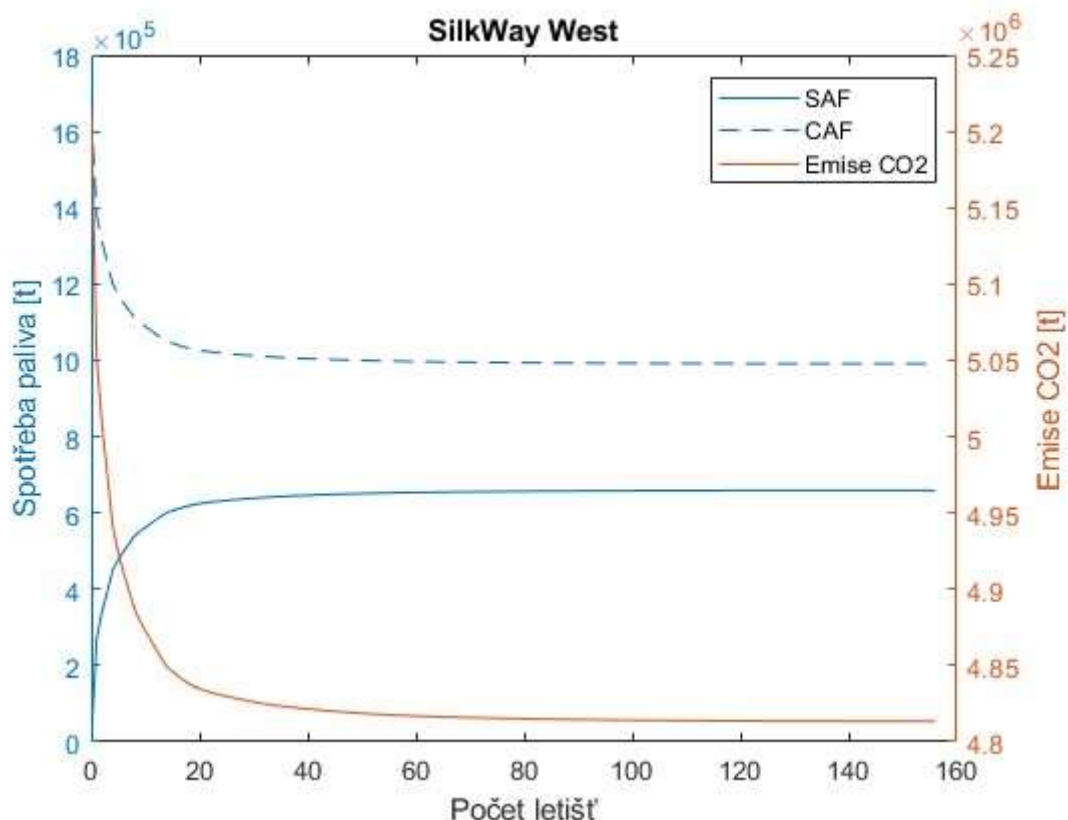
V tabulce 23 je zobrazen výsledek 2. varianty scénáře letišť pro společnost Silkway. I v této variantě se projevuje specifikum letišť v Baku, kdy v případě tankování 40% směsi a požadavku mít 10%, případně 15% SAF v celé síti, stačí 40% směs tankovat pouze právě v Baku a oba požadavky na cílové množství v síti budou splněny. Samotné Baku obsluží 10% požadované množství v síti i v případě tankování 35%, 30% a 25% směsi SAF na tomto letišti. V případě tankování 20% směsi a požadavku mít celkem 10% v síti je potřeba 20% směs tankovat i v Šanghaji (PVG). Pokud by společnost SilkWay chtěla splnit cíl 10% SAF v celé své síti a zároveň tankovat maximálně 15% směs na každém letišti, stačí jim k tomu zavést SAF na 4 letišti, konkrétně Baku (GYD), Šanghaj (PVG), Hong Kong (HKG) a Chicago (ORD).

Tabulka 23 - scénář letišť pro Silkway- varianta 2

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty			potřebný počet letišť	Zadané hodnoty			potřebný počet letišť
EU ETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti		EU ETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti	
2%	40	10	1	2%	35	10	1
2%	40	15	1	2%	35	15	2
2%	40	20	2	2%	35	20	3
2%	40	25	4	2%	35	25	5
2%	40	30	6	2%	35	30	11
2%	40	35	12	2%	35	35	139
2%	40	40	151				
2%	30	10	1	2%	25	10	1
2%	30	15	2	2%	25	15	3
2%	30	20	4	2%	25	20	8
2%	30	25	9	2%	25	25	133
2%	30	30	147				
2%	20	10	2	2%	15	10	4
2%	20	15	6	2%	15	15	124
2%	20	20	141				

Na obrázku 14 je zobrazen vývoj množství SAF, Jet A-1 a emisí CO₂ s narůstajícím počtem letišť, kde je možné tankovat 40% směs SAF. Z grafu je patrné, že Silkway West při tankování 40% směsi SAF na všech letištích sníží emise o 7,71%, přičemž přibližně 85% emisí z nich je zredukováno na 15 největších letištích společnosti.



Obrázek 14 - vývoj SAF, Jet A-1 a emisí CO₂ s narůstajícím počtem letišť se SAFem pro společnost Silkway

(zdroj: vlastní)

Kompletní datové zpracování pro všechny 3 uvedené analýzy jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - SilkWay“.

3.1.4. DHL

V tabulce 24 je zobrazen výsledek varianty 1 scénáře letišť pro společnost DHL. Z tabulky je patrné, že počet letišť v obou sledovaných variantách se liší pro všechny hodnoty potřebného počtu % SAF přidaného na každé letiště. Zároveň na každou variantu jsou potřeba minimálně 3 letiště, kde by se tankovalo např. 30% směs ke splnění cíle mít 10% směs v celé síti v případě, že by společnost DHL preferovala velký objem SAF na malém počtu letišť. Z obecné strategie integrátorů mít SAF na velkém počtu letišť, je pro ně nejzajímavější poslední řádek



tabulky a konkrétně počítat s 2% základem v EU a poté přidávat 10% směs na 78 letištích ke splnění objemu 10% SAF v celé síti.

Tabulka 24 - scénář letiště pro DHL – varianta 1

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť	Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť
EU ETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti		EU ETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti	
2%	10	30	3	6%	12,5	30	4
2%	10	25	4	6%	12,5	25	5
2%	10	20	6	6%	12,5	20	8
2%	10	15	11	6%	12,5	15	16
2%	10	10	78	6%	12,5	12,5	40

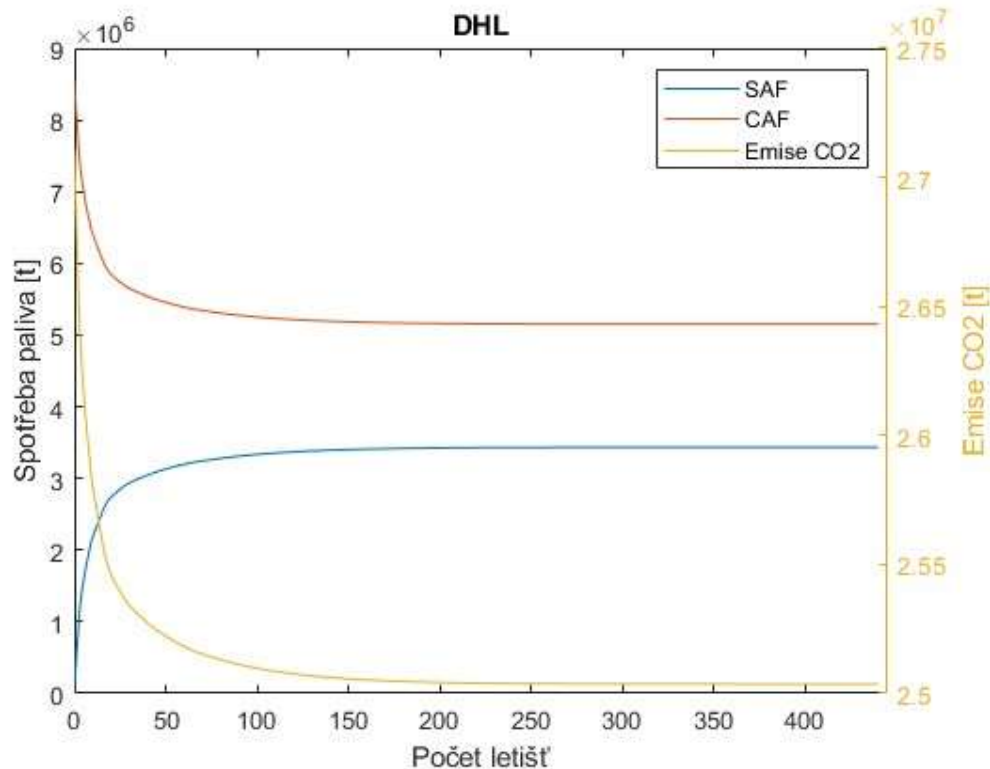
V tabulce 25 je zobrazen výsledek varianty 2 scénáře letiště pro společnost DHL. Z tabulky je patrné, že ke splnění všech kombinací cílů % směsi SAF v celé síti s tankovanou % směsí SAF jsou potřeba minimálně 3 letiště, kde se daná směs bude tankovat, a to konkrétně Cincinnati (CVG), Lipsko (LEJ) a Hong Kong (HKG). Pro společnost DHL platí sestupná posloupnost potřebného počtu letišť při shodných hodnotách tankované směsi SAF a cílů % množství SAF v celé síti. Z pohledu maximalizace počtu letišť by pro DHL byla ideální varianta tankovat 40% směs na 341 letištích a celkově by měli v síti 40% SAF, ale zároveň toto může být problém z pohledu nutnosti zajistit obrovský objem SAF na velký počet letišť. S přihlédnutím na aktuální malé množství SAF ve světě se nabízí postupovat od malých objemů na každém letišti i celkově v síti (tzn. 303 letišť, 15% SAF tankovat na každém z nich a mít 15% v celé síti) a s narůstající výrobou SAF ve světě objemy zvětšovat.

Tabulka 25 - scénář letišť – varianta 2

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty			potřebný počet letišť	DHL			potřebný počet letišť
EU ETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti		EU ETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti	
2%	40	10	3	2%	35	10	3
2%	40	15	4	2%	35	15	5
2%	40	20	6	2%	35	20	8
2%	40	25	10	2%	35	25	15
2%	40	30	17	2%	35	30	31
2%	40	35	36	2%	35	35	336
2%	40	40	341				
2%	30	10	3	2%	25	10	4
2%	30	15	6	2%	25	15	9
2%	30	20	12	2%	25	20	21
2%	30	25	26	2%	25	25	323
2%	30	30	330				
2%	20	10	6	2%	15	10	12
2%	20	15	16	2%	15	15	303
2%	20	20	315				

Obrázek 15 zobrazuje vývoj množství SAF, Jet A-1 a emisí CO₂ s rostoucím počtem letišť, kde je možné tankovat 40% směs SAF. Z grafu je patrné, že při tankování na všech letištích DHL sníží emise o 7,72%, přičemž až 140 největších letišť v síti DHL má viditelný vliv na změnu hodnot sledovaných veličin a zároveň přibližně 75% z redukovaných emisí CO₂ je sníženo zavedením SAFu na 30 největších letištích společnosti DHL, tzn. dekarbonizace dává největší smysl a je nejefektivnější právě na těchto letištích.



Obrázek 15 - vývoj SAF, CAF a emisí se rostoucím počtem letišť s možností tankovat SAF pro společnost DHL

(zdroj: vlastní)

Kompletní datové zpracování pro všechny 3 uvedené analýzy jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - DHL“.

3.1.5. UPS

V tabulce 26 je zobrazen výsledek varianty 1 scénáře letišť pro společnost UPS. Z tabulky lze vidět, že již hodnota počtu potřebných letišť pro nejvyšší zkoumané potřebné přidané % množství SAF na každé z nich se pro obě varianty liší. Varianta s 30% přidaného paliva se konkrétně týká letišť v Louisville (SDF), Anchorage (ANC) a Kolíně nad Rýnem (CGN). Z pohledu záměru tankovat SAF na co nejvíce letišťích se jeví varianta s přidáváním 10% směsi ke 2% výchozí hodnotě v EU a zavést tak SAF na 133 letišť.

Tabulka 26 - scénář letiště pro UPS – varianta 1

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť	Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť
EU ETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti		EU ETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti	
2%	10	30	3	6%	12,5	30	2
2%	10	25	4	6%	12,5	25	3
2%	10	20	6	6%	12,5	20	6
2%	10	15	13	6%	12,5	15	12
2%	10	10	133	6%	12,5	12,5	95

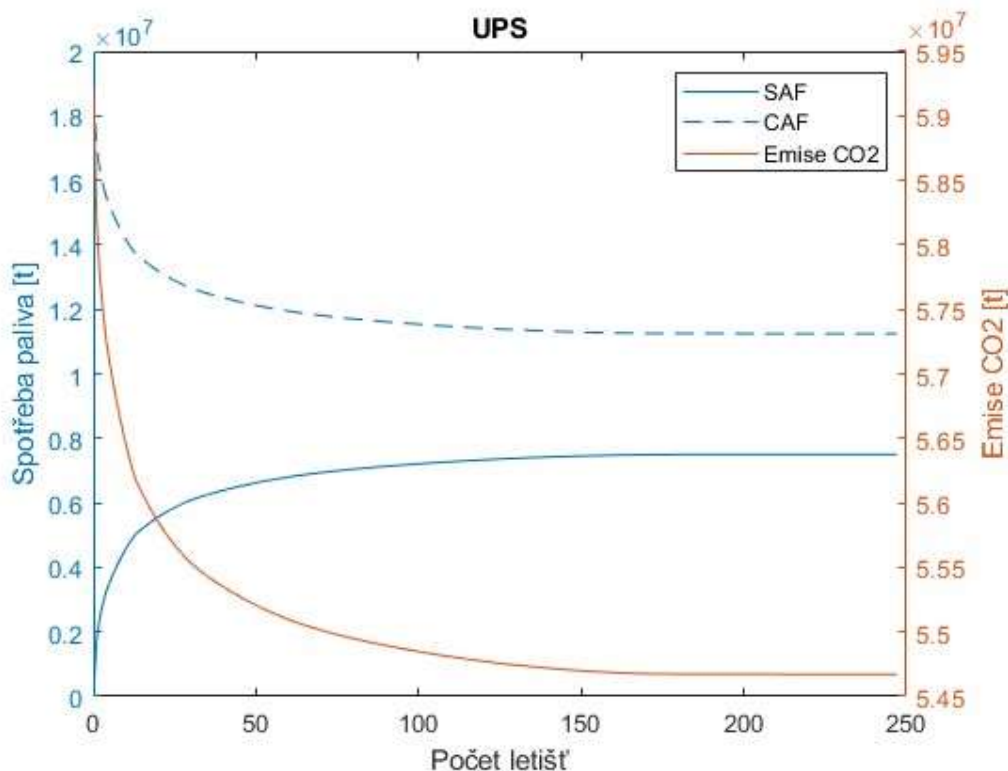
V tabulce 27 jsou vidět výsledné hodnoty analýzy 2. varianty scénáře letiště u letecké společnosti UPS. Z tabulky je vidět, že ke splnění jednotlivých cílových hodnot % SAF v síti společnosti se zadaným množstvím SAF paliva, jaké se bude tankovat na každém z těchto letišť, jsou potřeba vždy minimálně 2 letiště, tzn. Louisville a Anchorage. I pro leteckou společnost UPS je vidět klesající posloupnost počtu potřebných letišť při shodném celkovém cílovém množství a % SAF tankovaném na každém z těchto letišť. Z pohledu počtu letišť se SAFem je ideální varianta pro UPS tankovat 40% směs, ale vzhledem k náročnosti tohoto cíle dosáhnout se nabízí obdobně jako u společnosti DHL tankovat 15% na 182 letištích a v dalších letech objem zvyšovat.

Tabulka 27 - scénář letiště pro UPS – varianta 2

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty			potřebný počet letišť	UPS			potřebný počet letišť
EU ETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti		EU ETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti	
2%	40	10	2	2%	35	10	2
2%	40	15	3	2%	35	15	4
2%	40	20	6	2%	35	20	9
2%	40	25	11	2%	35	25	18
2%	40	30	21	2%	35	30	42
2%	40	35	48	2%	35	35	192
2%	40	40	194				
2%	30	10	3	2%	25	10	4
2%	30	15	6	2%	25	15	10
2%	30	20	13	2%	25	20	28
2%	30	25	35	2%	25	25	188
2%	30	30	191				
2%	20	10	6	2%	15	10	13
2%	20	15	21	2%	15	15	182
2%	20	20	187				

Obrázku 16 je zobrazen vývoj množství SAF, Jet A-1 a emisí CO₂ s rostoucím počtem letišť, kde lze tankovat 40% směs SAF. Z grafu je vidět, že UPS sníží celkové emise o 7,72%, přičemž na největších 60 letištích v síti je redukováno 90% z nich, tzn. na tato letiště by měl být kladen důraz při dekarbonizaci sítě společnosti UPS.



Obrázek 16 - vývoj SAF, Jet A-1 a emise s rostoucím počtem letišť s možností tankovat SAF pro společnost UPS

(zdroj: vlastní)

Kompletní datové zpracování pro všechny 3 uvedené analýzy jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - UPS“.

3.1.6. Fedex

V tabulce 28 je zobrazen výsledek 1. varianty scénáře letišť pro společnost FedEx. Zde je patrné, že počet letišť se liší od hodnot potřebné maximálně 20% směsi tankované na každém letišti. Potřeba tankovat maximálně 20% směs paliva se týká letišť Memphis (MEM), Anchorage (ANC), Osaka (KIX), Indianapolis (IND), Paříž (CDG), Guangzhou (CAN), Oakland (OAK). V případě rozšíření tankování SAF na co největší počet letišť je nejlepší přidat 10% směs k základu v EU a tankovat SAF na 144 letištích.



Tabulka 28 - scénář letiště pro FedEx – varianta 1

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť	Zadané hodnoty			Počet zařazených letišť
EU ETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti		EU ETS	Cílové množství v síti (%)	Potřebný počet % SAF přidaných na každém letišti	
2%	10	30	3	6%	12,5	30	3
2%	10	25	4	6%	12,5	25	4
2%	10	20	7	6%	12,5	20	6
2%	10	15	15	6%	12,5	15	13
2%	10	10	144	6%	12,5	12,5	96

V tabulce 29 je zobrazen výsledek 2. varianty scénáře letiště pro společnost FedEx. Z tabulky je patrné, že ke všem kombinacím tankované směsi SAF a % množství SAF v celé síti jsou potřeba minimálně 2 letiště a to konkrétně Memphis (MEM) a Anchorage (ANC). Pro společnost FedEx platí sestupná posloupnost potřebných letišť se snižující se hodnotou směsi SAF a % SAF v celé síti, která je pro obě tyto veličiny shodná v těchto zmíněném případech. Z pohledu počtu letišť je nejlepší 40% směs, ale vzhledem k potřebnému množství SAF se nabízí tankovat 15% na 373 letištích a celkem mít v síti 15% SAF.

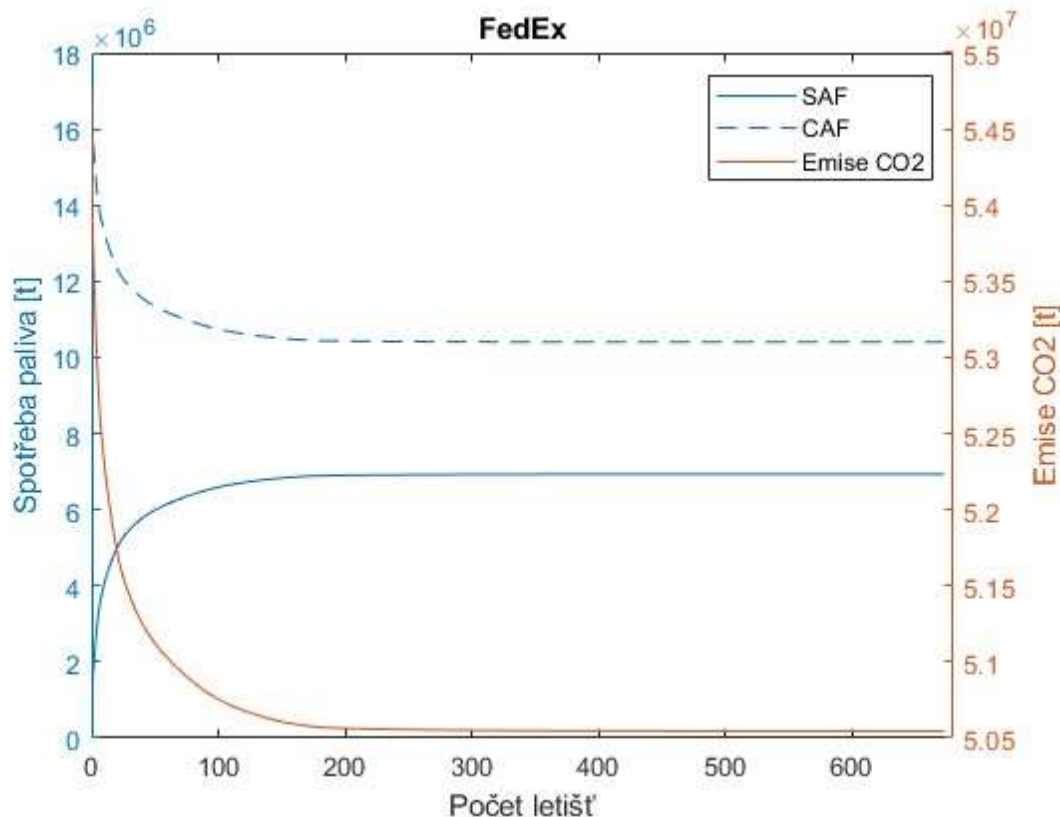
Tabulka 29 - scénář letiště pro FedEx – varianta 2

(zdroj: vlastní)

Zadané hodnoty				potřebný počet letišť	Fedex				potřebný počet letišť
EU ETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti			EU ETS	Směs SAF (%)	% SAF v celkové síti		
2%	40	10		2	2%	35	10	2	
2%	40	15		4	2%	35	15	5	
2%	40	20		7	2%	35	20	10	
2%	40	25		13	2%	35	25	20	
2%	40	30		24	2%	35	30	48	
2%	40	35		55	2%	35	35	410	
2%	40	40		415					
2%	30	10		3	2%	25	10	4	
2%	30	15		7	2%	25	15	11	
2%	30	20		16	2%	25	20	32	
2%	30	25		40	2%	25	25	397	
2%	30	30		404					
2%	20	10		7	2%	15	10	16	
2%	20	15		24	2%	15	15	373	
2%	20	20		387					

Obrázek 17 je zobrazen vývoj hodnot množství SAF, Jet A-1 a emisí CO₂ s rostoucím počtem letišť, kde lze tankovat 40% směs SAF. Z grafu je patrné, že FedEx tankováním 40% směsi SAF na všech letištích sníží celkové emise o 7,72%, přičemž 67% z nich je redukováno na 30

největších z celkového počtu 673 letišť v síti FedExu, tzn. v rámci dekarbonizace by se měla společnost FedEx věnovat právě těmto letišťům. Zároveň největších 180 letišť v síti společnosti FedEx má viditelný vliv na změnu sledovaných veličin.



Obrázek 17 - vývoj množství SAF, Jet A-1 a emisí s rostoucím počtem letišť se SAFem pro společnost FedEx

(zdroj: vlastní)

Kompletní datové zpracování pro všechny 3 uvedené analýzy jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - FedEx“.

3.2. Scénář délka letu

K vyhodnocení tohoto scénáře byly pro každou aerolinku na každém letišti rozděleny hodnoty spotřeby paliva podle délky letu z daného letiště a vypočítáno, kolik % z celkové spotřeby v celé síti by představovalo tankování 40% směsi paliva na daných letištích. Dále bylo zjištěno, na kolika letištích by se po implementaci SAFu nově SAF tankoval a kolik paliva by bylo nutné tankovat na nejvytíženějším letišti. Tyto 3 parametry byly následně porovnány podle teorie multikriteriálního rozhodování a pro nejlepší hodinový interval byl vytvořen možný plán



dekarbonizace do roku 2050 s přihlédnutím na požadavky EU pro dané roky a reálné možnosti implementace SAFu na letiště mimo EU. Nalezené výsledky jsou rozděleny podle leteckých společností.

3.2.1. Silkway

V tabulce 30 jsou zaznamenány 3 intervaly, které jsou nejvhodnější k dekarbonizaci pro společnost Silkway, přičemž jako nejvhodnější vyšel interval 8-9h délky letu následovaný intervaly 7-8h a 0-1h (porovnávají se hodnoty v posledním řádku „výsledný koeficient“ a nejefektivnější je koeficient s nejvyšší hodnotou). Z tabulky je patrné, že celkově nejvhodnější interval 8-9h je ze všech analyzovaných intervalů také nejvhodnější z pohledu % objemu SAFu v celé síti, kdy tankování na všech 8 až 9-hodinových letech a zároveň na všech letištích v EU by znamenalo objem 9,08% SAF v síti společnosti Silkway, což konkrétně znamená 187,28 tisíc tun paliva v celé síti. Zároveň by se SAF nově tankoval na 25 letištích, která by se přidala k výchozímu počtu 37 letišť v EU, a zároveň na nejvytíženější letiště, na kterém by se nově tankoval SAF a jejím Šanghaj (PVG), by se muselo k uspokojení poptávky dodávat 54,96 tisíc tun SAF za 3 roky, tzn. průměrně 18,32 tisíc tun SAF ročně. Kompletní výsledky jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - SilkWay“

Tabulka 30 - vyhodnocení scénáře délka letu pro Silkway

(zdroj: vlastní)

	Vyhodnocení scénáře délka letu pro Silkway			
	VÁHA	0-1h	7-8h	8-9h
% z celkové spotřeby	45	1,03	34,98	45,00
jaká část sítě?	30	19,67	19,35	19,35
množství paliva na nejvytíženějším letišti	25	25,00	0,02	0,03
Výsledný koeficient		15,24	18,12	21,46

Následně byl pro nalezený nejvhodnější interval délky letu 8-9h navržen možný scénář dekarbonizace do roku 2050. Postup dekarbonizace včetně celkového množství SAF paliva v síti společnosti Silkway je zobrazen v tabulce 31, ze které je patrné, že aerolinkami publikovaný cíl 10% i cíl společnosti Ryanair 12,5% by při tomto schématu tankování SAFu splnili až v roce 2045. V celé síti by měli ročně 69,6 tisíc tun SAFu.



Tabulka 31 - možný postup dekarbonizace pro Silkway na letech dlouhých 8-9h

(zdroj: vlastní)

Možný postup dekarbonizace pro Silkway 8-9h letu			
Rok	% objem SAF na letištích	Množství SAF v síti společnosti [t]	% objem SAF v síti
2025	2% EU	3 752	0,23
2030	6% EU	11 257	0,68
2030+	6% EU + 5% mimo EU	33 007	2,00
2035	20% EU+ 10% mimo EU	81 023	4,91
2040	34% EU + 20% mimo EU	150 789	9,14
2045	42% EU + 30% mimo EU	209 298	12,68
2050	70% EU + 40% mimo EU	305 330	18,50

3.2.2 Kallita

Pro společnost Kallita analýza dekarbonizace podle délky letu vyšla jako nevhodnější varianta interval 8-9h následovaný intervaly 7-8h a 4-5h (tabulka 32). Stejně jako u společnosti Silkway i u aerolinky Kallita vyšel interval 8-9h letu celkově nejlépe i z pohledu kritéria % objemu SAF v síti, kdy tankování SAFu na letech této délky by znamenalo objem 7,45% a 207 tisíc tun SAF v celé síti společnosti Kallita. Implementací SAF na tyto lety by se počet letišť se SAFem zvýšil z 24 v EU na celkem 85 letišť v celé síti společnosti Kallita a zároveň by to znamenalo potřebu dopravovat ročně 21,48 tisíc tun SAF na letiště v Anchorage (ANC) jako na nejvytíženější letiště, kde by se nově tankoval SAF. Kompletní výsledky jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - Kallita“

Tabulka 32 – vyhodnocení scénáře délka letu pro Kallitu

(zdroj: vlastní)

Vyhodnocení scénáře délka letu pro Kallita					
	VÁHA		4-5h	7-8h	8-9h
% z celkové spotřeby	45		34,48	36,73	45,00
jaká část sítě?	30		10,00	10,41	12,00
MAX množství	25		0,36	0,65	0,29
Výsledný koeficient			14,94	15,93	19,10

V tabulce 33 je vytvořen možný postup dekarbonizace pro lety s délkou 8-9h společnosti Kallita. Z ní je patrné, že cíl 10% SAF v síti by podle tohoto scénáře splnili až v roce 2050, což by znamenalo celkový objem 287 tisíc SAF a průměrný roční objem 95,6 tisíc tun. Na 12,5% deklarovaných společností Ryanair by se v analyzovaném časovém horizontu nedostali vůbec.



Tabulka 33 - možný postup dekarbonizace pro Kallitu na délce letu 8-9h

(zdroj: vlastní)

Možný postup dekarbonizace pro Kallita 8-9h letu			
Rok	% objem SAF na letištích	Množství SAF v síti společnosti [t]	% objem SAF vsíti
2025	2% EU	3 148	0,11
2030	6% EU	9 443	0,34
2030+	6% EU + 5% mimo EU	31 594	1,14
2035	20% EU+ 10% mimo EU	75 777	2,72
2040	34% EU + 20% mimo EU	142 112	5,11
2045	42% EU + 30% mimo EU	199 004	7,15
2050	70% EU + 40% mimo EU	287 371	10,33

3.2.3. Cargolux

V tabulce 34 je zobrazen výstup analýzy dekarbonizace podle délky letu společnosti Cargolux, ze které plyne, že nejefektivnější by pro Cargolux bylo zavést tankování na lety o délce 6-7h následované 5-6 a 15 a více hodinovými lety. Interval délky letu je ze všech intervalů nejvhodnější i z pohledu % objemu spotřeby SAF v celé síti, kdy zavedení SAFu na lety o této délce by znamenalo objem 6,81% a 345,87 tisíc tun SAF v celé síti. Nově by se SAF tankoval na 55 letištích mimo EU, které by se připojili ke 30 dalším v EU, kde je již SAF možné tankovat. Znamenalo by to také nutnost zajistit roční přísun 32,5 tisíc tun SAF na nejvytíženější letiště do Novosibirsku (OVB). Kompletní výsledky jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - Cargolux“.

Tabulka 34 - vyhodnocení scénáře délka letu pro Cargolux

(zdroj: vlastní)

Vyhodnocení scénáře délka letu pro Cargolux					
	VÁHA		5-6h	6-7h	15h a více
% z celkové spotřeby	45		41,75	45,00	4,86
jaká část sítě?	30		14,05	13,06	25,81
MAX množství	25		0,66	0,77	25,00
Výsledný koeficient			18,82	19,61	18,56

V tabulce 35 je zobrazen možný postup dekarbonizace na letech společnosti Cargolux o délce 6-7h a z té je patrné, že cíl 10% v celé síti by splnili v roce by splnili v roce 2040 a znamenalo by to objem 673 tisíc tun SAF v síti, tzn. 224,3 tisíc tun ročně.



Tabulka 35 - možný postup dekarbonizace pro lety o délce 6-7h společnosti Cargolux

(zdroj: vlastní)

Možný postup dekarbonizace pro Cargolux 6-7h letu			
Rok	% objem SAF na letištích	Množství SAF v síti společnosti [t]	% objem SAF v síti
2025	2% EU	30 862	0,61
2030	6% EU	92 585	1,82
2030+	6% EU + 5% mimo EU	129 704	2,56
2035	20% EU+ 10% mimo EU	382 855	7,54
2040	34% EU + 20% mimo EU	673 126	13,26
2045	42% EU + 30% mimo EU	870 811	17,16
2050	70% EU + 40% mimo EU	1 377 113	27,13

3.2.4. DHL

Pro společnost DHL je nejefektivnější tankovat SAF na letech o délce 1-2h následované intervaly 0-1h a 2-3h (tabulka 36). Tímto scénářem by se zajistilo průměrně 155,6 tisíc tun SAF ročně, což odpovídá 5,44% SAF v celé síti, s dodávkami na celkem 300 letišť, kdy největší objem by se nově tankoval na letišti v East Midlands (EMA) a to konkrétně 26,7 tisíc tun. Kompletní výsledky jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - DHL“

Tabulka 36 - vyhodnocení scénáře podle délky letu pro DHL

(zdroj: vlastní)

Vyhodnocení scénáře délka letu pro DHL					
	VÁHA	0-1h	1-2h	2-3h	
% z celkové spotřeby	16	7,13	16,00	13,11	
jaká část sítě? - hlavní pro integrátory	55	53,72	55,00	46,57	
MAX požadované množství	29	7,78	3,26	3,86	
Výsledný koeficient		22,88	24,75	21,18	

Pokud by letecká společnost DHL zvyšovala objem SAF v EU podle nařízení a postupně navyšovala na letech o délce mezi 1 a 2h, požadovaných 10% v celé síti by dosáhli v roce 2045, kdy by ročně museli tankovat průměrně 342,3 tisíc tun SAFu (tabulka 37).

Tabulka 37 - možný postup dekarbonizace pro DHL s délkou letu 1-2h

(zdroj: vlastní)

Možný postup dekarbonizace pro DHL - 1-2h letu			
Rok	% objem SAF na letištích	Množství SAF v síti společnosti [t]	% objem SAF v síti
2025	2% EU	41 511,8	0,48
2030	6% EU	124 535,4	1,45
2030+	6% EU + 5% mimo EU	150 527,5	1,75
2035	20% EU+ 10% mimo EU	467 102,1	5,44
2040	34% EU + 20% mimo EU	809 668,9	9,43
2045	42% EU + 30% mimo EU	1 027 700,3	11,97
2050	70% EU + 40% mimo EU	1 660 849,6	19,34



3.2.5. Fedex

V případě letecké společnosti FedEx je nejefektivnější tankovat SAF na nejkratších letech do 1 hodiny a obecně na letech do 3 hodin letu (tabulka 38). Zavedením tankování SAFu by se v síti společnosti FedEx ročně tankovalo průměrně 124,6 tisíc tun SAF, tzn. objem 2,16% SAFu v celé síti. SAF by se celkově tankoval na 542 letištích s největším objemem 17,5 tisíc tun SAF ročně na letišti v Memphisu (MEM). Kompletní výsledky jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů - Fedex“

Tabulka 38 - vyhodnocení scénáře délka letu pro FedEx

(zdroj: vlastní)

Vyhodnocení scénáře délka letu pro FedEx					
	VÁHA		0-1h	1-2h	2-3h
% z celkové spotřeby	16		4,61	16,00	10,97
jaká část sítě?	55		55,00	47,08	38,76
MAX množství	29		4,96	0,68	1,33
Výsledný koeficient			21,53	21,26	17,02

V případě navrženého postupu dekarbonizace by se společnost FedEx v roce 2050 dostala na 8,08% SAF v síti, což odpovídá 1,4 milionů tun SAF v celé síti, tzn. implementací tohoto postupu by nesplnila požadavek na minimální 10% objem SAFu v síti (tabulka 39)

Tabulka 39 - možný postup dekarbonizace pro Fedex na letech do 1 hodiny

(zdroj: vlastní)

Možný postup dekarbonizace pro Fedex - 0-1h letu			
Rok	% objem SAF na letištích	Množství SAF v síti společnosti [t]	% objem SAF v síti
2025	2% EU	31 683	0,18
2030	6% EU	95 050	0,55
2030+	6% EU + 5% mimo EU	131 573	0,76
2035	20% EU+ 10% mimo EU	389 879	2,25
2040	34% EU + 20% mimo EU	684 707	3,95
2045	42% EU + 30% mimo EU	884 486	5,10
2050	70% EU + 40% mimo EU	1 401 098	8,08

3.2.6. UPS

Pro UPS je ideální variantou k dekarbonizaci tankovat na letech s délkou 1-2 hodiny (tabulka 40). Po aplikaci tohoto scénáře by měli celkový průměrný roční objem 444 tisíc tun SAF, což je 7,1% v celé síti. SAF by byl celkově tankován na 187 letištích s nejvyšším podílem 124,82 tisíc tun na letišti v Louisville (SDF). Kompletní výsledky jsou v dokumentu s názvem „Výpočty scénářů – UPS“.



Tabulka 40 - vyhodnocení scénáře délka letu pro UPS

(zdroj: vlastní)

Vyhodnocení scénáře délka letu pro UPS					
	VÁHA		0-1h	1-2h	3-4h
% z celkové spotřeby	16		5,28	16,00	15,31
jaká část sítě?	55		55,00	53,57	46,98
MAX množství	29		0,20	0,00	0,00
Výsledný koeficient			20,16	23,19	20,76

V tabulce 41 je vidět, že tankováním SAFu na všech letech s délkou 1-2 hodiny s následujícím postupným navyšováním % SAFu by se požadovaných 10% v celé síti tankovalo v roce 2050 s nutností zajistit průměrně 810,3 milionu kg SAF ročně.

Tabulka 41 - možný postup dekarbonizace pro UPS na letech s délkou 1-2h

(zdroj: vlastní)

Možný postup dekarbonizace pro UPS - 1-2h letu			
Rok	% objem SAF na letištích	Množství SAF v síti společnosti [kg]	% objem SAF v síti
2025	2% EU	34 643	0,18
2030	6% EU	103 928	0,55
2030+	6% EU + 5% mimo EU	256 282	1,37
2035	20% EU+ 10% mimo EU	651 135	3,47
2040	34% EU + 20% mimo EU	1 198 341	6,39
2045	42% EU + 30% mimo EU	1 641 620	8,76
2050	70% EU + 40% mimo EU	2 431 326	12,97



4. Diskuze výsledků

Tato část práce se věnuje diskuzi nad získanými výsledky v předcházející části práce.

Z provedené rešerše bylo zjištěno, že implementace SAF do provozu je stále na začátku, tzn. pro nejefektivnější distribuci SAF je důležité se zaměřit na největší huby společnosti, případně světové huby, kde se dle teorie o konektivitě a centralitě, což zmiňuje Kaločayová [67], soustředí největší podíl letecké dopravy. V nákladní letecké dopravě je 26 světových hubů, což je 1 z výsledků mé bakalářské práce [1], a aktuálně v roce 2024 je možné tankovat SAF pouze na 7 z těchto letišť, konkrétně v Kolíně nad Rýnem (CGN), Los Angeles (LAX), Lutychu (LGG), Dallasu (DFW), Chicagu (ORD), Oaklandu (OAK) a Tokiu (NRT). K těmto 7 letištím se na začátku roku 2025 jistě přidají letiště v Lipsku (LEJ) a Paříži (CDG), kde bude povinnost tankovat minimálně 2% směs SAF. Tato letiště mají samozřejmě výhodu oproti ostatním, protože je velmi pravděpodobně jednodušší zvyšovat podíl SAF tam, kde již se tankuje, než nově zavádět SAF na další letiště. Tuto výhodu má dalších 113 letišť, kde je dle ICAO [61] také aktuálně možné tankovat SAF.

Ve scénáři podle letišť a spotřeby na nich je SAF implementován na největší letiště v dané síti a v seznamu TOP10 letišť každé aerolinky se minimálně u jedné nachází 18 z 26 světových letišť, tzn. implementace SAFu na nová letiště, resp. zvyšování množství na letištích, kde je již SAF používán, by nemusela být v případě těchto velkých světových letišť složitá.

Z výsledků scénáře podle délky letu je patrné, že v případě zavedení SAF na letiště právě podle výsledků scénáře by SAF analyzované společnosti měly k dispozici SAF na 62 u společnosti Silkway až 542 letištích u FedExu. Distribuce SAF na co největší počet letišť samozřejmě trhu se SAFem samozřejmě pomůže za předpokladu, že bude od výrobců k dispozici odpovídající množství, které by uspokojilo poptávku leteckých společností.

Dalším poznatkem z výsledků scénáře podle délky letu je, že jako nejvhodnější časové intervaly pro zásilkové společnosti vyšly lety do 4 hodin své délky, což naznačuje, že zásilkoví dopravci používají k distribuci zásilek svým zákazníkům právě zejména krátké lety. Když se podíváme na seznam letišť, ze kterých tyto krátké lety provozují, tak to jsou zejména výše zmiňované největší huby, i ty evropské zejména u společnosti DHL, která velká množství krátkých letů provádí i z „menších“ letišť, které nejsou světovými huby, jako je Brusel (BRU), Frankfurt (FRA) nebo Milán (MXP). K dekarbonizaci v evropském prostoru zejména právě u společnosti DHL pomůže iniciativa, která cílí právě na tyto krátké evropské lety, které by měly být nahrazovány méně emisním typem dopravy, např. po železnici. K tomu pomáhá také emisní systém EU ETS zaměřující se právě na vnitroeuropejské lety, na kterých se musí platit



vysoké poplatky za vypuštěné emise. Integrovači tedy mají shodné portfolio nejvhodnějších intervalů délek letů napříč společností, což neplatí u pravidelných nákladních dopravců, kteří mají interval mezi 4 a 9 hodinami lety s dalšími výjimkami, kdy se mezi TOP3 intervaly u společnosti Silkway dostaly nejkratší lety do 1 hodiny a naopak pro společnost Cargolux mohou být výhodné k dekarbonizaci také nejdelší lety nad 15 hodin. Obecně ale se dá říct, že pravidelní nákladní dopravci se zaměřují na delší lety mezi velkými huby.

V tabulce 42 je zobrazena předpokládaná produkce SAF pro následující roky, kde je vidět rostoucí trend směrem do budoucnosti.

Tabulka 42 – předpokládaná produkce SAF v následujících letech

(zdroj: vlastní, zdroj dat: [91])

ROK	Předpokládaná produkce SAF [mld litrů]
2025	8
2030	23
2035	90
2040	229
2045	346
2050	449

Tyto hodnoty jsou z obrázku jsou porovnány s výsledky scénáře podle délky letu a predikcí možného postupu dekarbonizace sítí jednotlivých zkoumaných společností. Hodnoty množství SAF z tabulky 42 jsou uvedeny v litrech, tzn. pro porovnání byly tyto hodnoty vynásobeny koeficientem 0,8 a přepočteny na tuny paliva. V tabulce 43 je zobrazeno porovnání výsledků scénáře podle délky letu a předpokládané produkce SAF v následujících letech. Dle Statisty [92] bylo za analyzované období celosvětově spáleno 782,5 milionů tun paliva. Ze součtu spotřeb 6 analyzovaných společností vypočítaných v této práci těchto 6 společností spálilo celkem 8,63% celosvětové produkce paliva. Z tabulky je patrné, že v případě stejných poměrů spotřeby paliva mezi aerolinkami i v následujících letech, splnění cílů produkce deklarovaného množství SAF je navržený scénář tankování SAF paliva velice pesimistický a v reálném provozu realizovatelný. Jelikož v práci jsou analyzovány 3 roky, tak tento odhad je tvořen pro trojnásobný objem přepravy v tabulce analyzovaných letech.



Tabulka 43 - porovnání výsledků scénáře podle délky letu s předpokládanou produkcí
SAF

(zdroj: vlastní)

Porovnání výsledků scénáře podle délky letu a předpokládané produkce SAF				
Rok	Navržený % objem	součet objemů u aerolinek [t]	Předikovaná výroba [t]	vypočtené množství / produkované [%]
2025	2% EU	145 599	6 400 000	2,27
2030	6% EU	436 798	18 400 000	2,37
2030+	6% EU + 5% mimo EU	732 687	18 400 000	3,98
2035	20% EU + 10% mimo EU	2 047 771	72 000 000	2,84
2040	34% EU + 20% mimo EU	3 658 744	183 200 000	2,00
2045	42% EU + 30% mimo EU	4 832 920	276 800 000	1,75
2050	70% EU + 40% mimo EU	7 463 088	359 200 000	2,08

V případě scénáře podle letišť a spotřeby na nich podle zadaných podmínek ve většině případů začínala dekarbonizace zavedením SAFu na 2-3 největší huby v síti dané společnosti. Výjimkou je společnost DHL, která k naplnění cíle 12,5% SAF v síti a maximálně 30% SAF na každém zařazeném letišti, respektive k naplnění cíle 10% v celé síti a tankování 20% na každém letišti potřebovala 4 největší huby ze své sítě, z čehož vyplývá, že největší huby společnosti DHL nemají tak výhradní postavení v síti jako největší huby u jiných společností, tzn. centralita těchto hubů není tak vysoká. Naopak ke splnění některých variant směsí SAF a cílového množství SAF stačí u společností Cargolux a Silkway největší huby, tzn. letiště v Lucemburku (LUX), resp. v Baku (GYD). Lucemburk je vhodný pro tankování 40% směsi ke splnění 10% SAF v celé síti. Letiště v Baku je v síti společnosti Silkway ještě dominantnější, protože samotné stačí ke splnění celkem 8 variant tankování určitých směsí SAF a celkového % objemu v síti, tzn. Baku je z pohledu centrality sítě výrazně důležitější než všechna ostatní letiště v síti, což potvrzuje i % objem tankovaného paliva v Baku, který dosahuje hodnot více než 40% v rámci celé sítě společnosti Silkway.

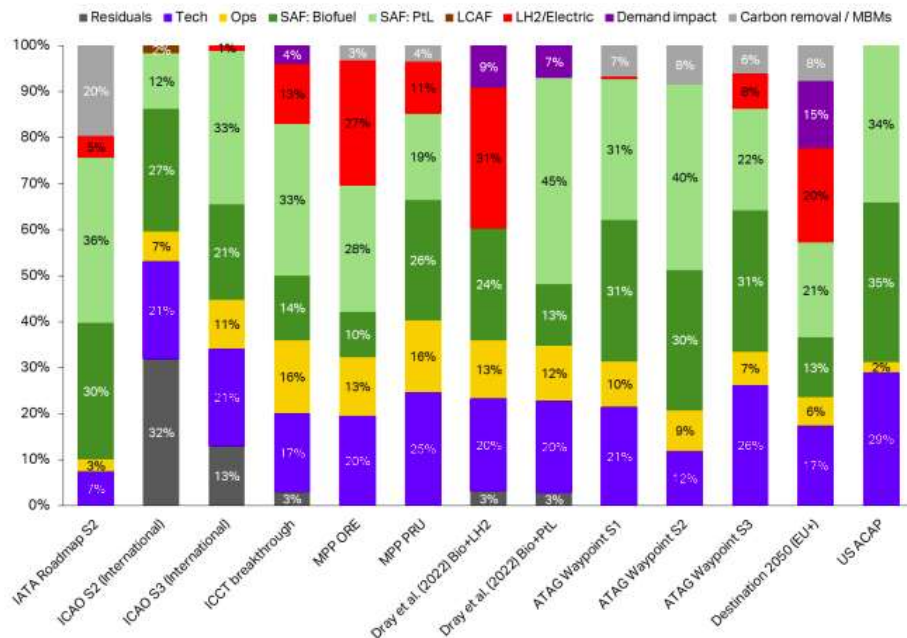
Při zhodnocení obou variant scénáře podle letišť platí u všech 3 zásilkových dopravců stejné schéma. Ve variantě 1 je pro všechny 3 společnosti z pohledu co největšího počtu letišť se SAFem nejlepší přidávat ke 2% v EU 10% směs na pro každou společnost specifickém počtu letišť ke splnění cíle 10% v celé síti. Když se podíváme na variantu 2, tak z pohledu počtu letišť by pro všechny 3 společnosti byla nejlepší varianta tankovat všude 40% směs, ale vzhledem k náročnosti si nasmlouvat takové množství SAF na obrovský počet letišť a zároveň výrobní objemy SAF jsou stále v porovnání s potřebným množstvím velmi malé, tak reálný scénář by



pro všechny integrátory byl tankovat 15% směs na menším počtu letišť a postupně s narůstajícím objemem SAF, který se bude vyrábět, směs SAF zvyšovat.

Důležitým aspektem, zda-li bude SAF na dané letiště zaveden, může být jeho množství, které letecká společnost bude po letišti, případně výrobci/dodavateli SAF požadovat. Ke zvýšení požadovaného objemu může pomoci spolupráce mezi leteckými společnostmi a pokud bychom se podívali na společná letiště všech 3 pravidelných nákladních společností a integrátorů, tak pravidelní dopravci jich mají 53 a integrátoři 150 a k tomu lze přidat další společná letiště, která mají pouze 2 ze 3 společností, tzn. nabízí se zde velký prostor ke spolupráci a další nástroj přesvědčit dodavatele, že dodávat SAF právě na toto letiště má smysl.

Pokud se podíváme na výsledky analýzy redukce emisí CO₂ postupným přidáváním letišť, kde je možné tankovat 40%, tak v případě tankování 40% směsi na všech letištích v síti dané společnosti se celkové emise jednotlivých společností sníží u Cargoluxu o 7,68%, u Silkway West o 7,71%, u UPS, FedExu a DHL shodně o 7,72% a u Kallity o 7,74%. Z vypočtených hodnot jsou vidět téměř shodné hodnoty u všech leteckých společností, ale rozdíly jsou patrné mezi pravidelnými dopravci a integrátory v rozvržení redukce emisí mezi jednotlivá letiště. V síti pravidelných dopravců stačí ke snížení o 80 a 85% z celkové redukce emisí nižší počet největších letišť v síti (15 - 30), naopak integrátoři potřebují minimálně 30 letišť ke snížení většiny emisí v jejich síti, konkrétně např. Fedex ke snížení o 67% možné redukce potřebují 30 letišť. Z těchto výsledků lze usoudit, že pravidelní dopravci mají největší letiště výrazně důležitější pro svou síť než integrátoři, což mimo jiné potvrzuje tezi, že pravidelní nákladní dopravci by se měli zaměřit na dekarbonizaci (tankování SAF) největších letišť, kdežto integrátoři by se měli snažit zavést SAF na co největší počet letišť ze své sítě. Na obrázku 18 jsou zobrazeny scénáře k uhlíkové neutralitě do roku 2050 podle různých dokumentů a jak je vidět, SAF vyrobený z biopaliv má tvořit 10 až 35% ušetřených emisí, ale dle výsledků této práce 40% SAF ušetří 7,7%, tzn. k naplnění těchto scénářů bude potřeba větší směs SAF. Dle International Trade Administration [60] by měla být minimálně na všech letištích v EU povinnost tankovat 70% směs SAF.



Obrázek 18 - různé scénáře k uhlíkové neutralitě v roce 2050 dle vyjmenovaných dokumentů

(zdroj: [93])

Dle CSR reportu [94] Cargolux ve zkoumaném období spálil 4 150 597 tun paliva a v této práci bylo vypočítáno množství 5 075 744 tun, což znamená rozdíl 925 147 tun a při počtu 57 871 letů je to průměrná odchylka 15,98 tun na 1 let. Dle Flightradar24 [75] má Cargolux ve své flotile typy B744 a B748, což při letu na nejefektivnější délce letu k dekarbonizaci 6-7h (scénář 2 v této práci) znamená rozdíl mezi daty od Cargoluxu a vypočítanými v této práci znamená odchylku 12%, resp. 21%. Vzhledem k funkčnosti modelu a možnosti pomocí tohoto modelu zkoumat scénáře dekarbonizace a odhadovat její vývoj, takto velká odchylka nemusí představovat velký problém. V případě vložení dat o spotřebě přímo z provozu dané letecké společnosti do tohoto modelu, výsledkem budou přesné informace pro danou společnost.



5. Závěr

Tato diplomová práce se zabývala návrhem modelů (scénářů) dekarbonizace v nákladní letecké dopravě. Cílem práce je definovat modely dekarbonizace sítě vybraných nákladních dopravců, dle tohoto modelu provést analýzu a zhodnotit současné možnosti a výhled. K následné analýze byl vybrán proces implementace SAF paliva do sítě 6 vybraných nákladních leteckých společností – 3 integrátorů a 3 pravidelných nákladních dopravců. V průběhu práce byly navrženy 2 scénáře možné dekarbonizace podle letišť, u kterých byla analyzována spotřeba paliva, a podle délky letu. Z vypočítaných hodnot byly určeny teoretické nejlepší varianty a nejlepší varianty s přihlédnutím na aktuální situaci s produkcí SAF paliva, na kolika letištích je nutné tankovat určitou % směs SAF paliva, aby bylo splněno požadované % množství SAF v celé síti společnosti, kdy v úvahu byla brána charakteristika provozu společností, tzn. full cargo aerolinky chtějí tankovat co největší % směs SAF na co nejmenším počtu letišť a integrátoři opačně – velký počet letišť a malou směs SAF). Z analýzy scénáře podle letišť vzešlo, že u většiny navržených variant dekarbonizace začíná na 2-3 letištích s výjimkou několika případů u společnosti DHL, kde byla k zahájení dekarbonizace potřeba 4 letišť, respektive u společností Cargolux a Silkway pouze 1 letiště. Výsledkem scénáře dekarbonizace podle délky letu je, že pro integrátory jsou ideální variantou k dekarbonizaci krátké lety do 4 hodin a pro pravidelné nákladní dopravce delší lety mezi 4 a 9 hodinami.

V průběhu zpracování dat se vyskytly limity, které do výsledků práce přinesly nepřesnosti. U některých letů leteckých společností chyběla data o letišti odletu nebo příletu. Tyto lety jsem při filtraci dat vymazal stejně tak jako lety s chybějící hodnotou délky letu, což bylo způsobeno samotnou absencí této hodnoty, nebo daný let měl odlišné reálné letiště příletu od plánovaného, tzv. divert. Další limitace v této práci nastala při výpočtu spáleného paliva na jednotlivých letech, kdy jsem předpokládal 100% spálení natankovaného paliva během letu, tzn. žádné palivo v palivových nádržích po přistání nezbylo a nebylo možné ho použít na další let. Tento předpoklad jsem vytvořil z důvodu toho, že jsem analyzoval velké množství letadel, u kterého nebylo možné vysledovat, jaké konkrétní linky na sebe navazovaly a zároveň nelze určit, kolik přesně paliva bylo na jednotlivý let natankováno. Nepřesnost se vyskytla také u celkového vypočítaného paliva, protože si lišila vypočítaná hodnota v této práci a publikovaná hodnota od společnosti Cargolux. Odchylka byla 11 a 21% v závislosti na typu letadla, pro které je odchylka počítána.

Tato práce přináší možnost určit na základě centrality (v případě tohoto modelu na základě množství paliva tankovaného na jednotlivých letištích), na kterých z nich je nejefektivnější tankovat SAF. Dále přináší východiska pro určení atributů dekarbonizace, jako jsou % směs SAF paliva a úspora CO₂, konkrétně možnosti určit počet letišť, na kterých je nutné tankovat



40% SAF, aby se celková úspora oxidu uhličitého snížila o požadovaný počet %, případně určit počet letišť, kde je nutné tankovat určitou % směs paliva, aby letecká společnost naplnila cíl určitého % množství SAF v celé své síti. Další pozitivní vlastností tohoto postupu je jeho aplikovatelnost na všechny typy leteckých společností, protože k úspěšnému použití tohoto modelu je potřeba seznam letů leteckých společností, u kterých je uvedeno letiště odletu, destinace a čas, a také spotřeba jednotlivých typů letadel ve flotile dané společnosti.



Seznam použité literatury

- [1] M. Zázvorka, Změny konektivity nákladní letecké dopravy v letech 2019-2021, Praha 2022, Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/103834/F6-BP-2022-Zazvorka-Martin-Zmeny%20konektivity%20v%20nakladni%20letecke%20doprave.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>, Bakalářská práce, České vysoké učení technické, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy, Vedoucí práce Peter Vittek
- [2] Acronym Finder, [online], cit.13.3.2024 Dostupné také z: <https://www.acronymfinder.com/>
- [3] Evropská Rada, [online], cit.18.2.2024, Dostupné také z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/sanctions-against-russia/sanctions-against-russia-explained/>
- [4] E15, [online], cit.12.4.2024, Dostupné také z: <https://www.e15.cz/valka-na-ukrajine/rusko-uzavrelo-aeroliniim-z-ceska-svuj-vzdušny-prostor-praha-v-reakci-zprisni-opatreni-1388028>
- [5] M. Ingaldi, Sustainability as an element of environmental management in companies, 2015, [online], cit. 18.1.2024 Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/324766379_Sustainability_as_an_element_of_environmental_management_in_companies
- [6] OSN, Organizace Spojených Národů, [online], cit.23.3.2024 Dostupné také z: <https://osn.cz/osn/hlavni-temata/cile-udrzitelneho-rozvoje-sdgs/#:~:text=17%20C%C3%ADI%C5%AF%20udr%C5%BEitIn%C3%A9ho%20rozvoje%20%28SDGs%29%20p%C5%99edstavuje%20program%20rozvoje,rozvoji%20v%20roce%202012%20v%20Riu%20de%20Janeiro.>
- [7] TIACA, The International Air Cargo Association, [online], cit.28.3.2024 Dostupné také z: <https://tiaca.org/wp-content/uploads/2021/11/TIACA-Air-Cargo-Sustainability-Roadmap-FINAL04November2021.pdf>
- [8] Akademie věd ČR, [online], cit.2.3.2024 Dostupné také z: <https://www.avcr.cz/export/sites/avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/avex/files/2020-04-Klimaticka-zmena.pdf>
- [9] EU Parlament, [online], cit.10.3.2024 Dostupné také z: <https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20230316STO77629/zmena-klimatu-ktere-sklenikove-plyny-zpusobujici-globalni-oteplvani>
- [10] E.G. Hertwich a R. Wood, The growing importance of scope 3 green house emissions from industry, [online], Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/327661205_The_growing_importance_of_scope_3_greenhouse_gas_emissions_from_industry
- [11] Y.A. Huang, Ch. L. Weber a H.S. Matthews, Categorization of Scope 3 Emissions for Streamlined Enterprise Carbon Footprinting, [online], Dostupné také z:



https://www.academia.edu/2721820/Categorization_of_scope_3_emissions_for_streamlined_enterprise_carbon_footprinting

[12] Climate Portal, [online], cit.24.3.2024 Dostupné také z:
<https://climate.mit.edu/explainers/scope-1-2-and-3-emissions>

[13] G. Baxter, Decarbonizing International Air Cargo Transportation's Carbon Footprint: A Review of the World Air Cargo Carrying Airlines Current and Potential Environment Related Measures and Strategies, Dostupné také z
https://www.researchgate.net/publication/357285522_Decarbonizing_International_Air_Cargo_Transportation%27s_Carbon_Footprint_A_Review_of_the_World_Air_Cargo_Carrying_Airlines_Current_and_Potential_Environment_Related_Measures_and_Strategies

[14] D.Rapson a E. Muehlegger, Global Transportation Decarbonization,
<https://www.nber.org/papers/w31513>

[15] L.Kaack a spol, Decarbonizing intraregional freight systems with a focus on modal shift, [online], Dostupné také z:
https://www.researchgate.net/publication/326581875_Decarbonizing_intraregional_freight_systems_with_a_focus_on_modal_shift

[16] Our World In Data, [online], cit.11.2.2024 Dostupné také z:
<https://ourworldindata.org/annual-co2-emissions>

[17] R.Doganis, Flying Off Course: Airline Economics and Marketing, 5. Vydání, 2019, New York: Routledge, 2019 cit.20.2.2024, ISBN 9781315402987.

[18] Evropská Komise, [online], Dostupné také z:
<https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20170213STO62208/evropsky-system-pro-obchodovani-s-emisemi-ets-a-jeho-reforma>

[19] AZEC, Asia Zero Emission Community, [online], cit.25.2.2024 Dostupné také z:
<https://asiazeroemission.com/>

[20] Clean Air Asia, [online], cit.11.4.2024 Dostupné také z: <https://cleanairasia.org/>

[21] ADB, Asian Development Bank [online], cit.22.3.2024 Dostupné také z:
<https://www.adb.org/climatebank>

[22] Směrnice Evropského parlamentu a Rady č.2023/958, [online], Dostupné také z:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L0958>

[23] ICAO, International Civil Aviation Organization, [online], cit.25.3.2024 Dostupné také z:
<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/pages/default.aspx>

[24] Trading Economics, [online], 20.2.2024 Dostupné také z:
<https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>

[25] Carbon Credits, [online], 18.2.2024, Dostupné také z: <https://carboncredits.com/what-is-corsia-all-the-important-things-you-must-know/>



- [26] Transport & Environment, [online], cit.13.3.2024 Dostupné také z: <https://te-cdn.ams3.digitaloceanspaces.com/files/20220523-Environmental-and-economic-impacts-of-EU-ETS-and-CORSIA-policy-scenarios-for-European-aviation-Final-report-1.pdf>
- [27] P.S. Morrell a T. Klein, Moving Boxes by Air – The Economics of international air cargo, Second Edition. New York: Routledge, 2019. ISBN 978-1-315-18063-2
- [28] First Movers Coalition, [online], cit.14.4.2024 Dostupné také z: <https://initiatives.weforum.org/first-movers-coalition/home>
- [29] Fedex report, [online], Dostupné také z: <https://investors.fedex.com/financial-information/annual-reports/default.aspx>
- [30] Aviation Maintenance Magazine, [online], cit.20.3.2024 Dostupné také z: <https://www.avm-mag.com/p2f-conversions-surge-through-pandemic>
- [31] DHL report, [online], Dostupné také z: <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/dhl-supply-chain/documents/pdf/glo-dsc-annual-report-2022.pdf>
- [32] UPS report, [online], Dostupné také z: <https://investors.ups.com/company-profile/annual-reports>
- [33] D.M. Herold a K-H. Lee, The Influence of the Sustainability Logic on Carbon Disclosure in the Global Logistics Industry: The Case of DHL, FDX and UPS, [online], Dostupné také z: <https://www.researchgate.net/publication/316986930> The Influence of the Sustainability Logic on Carbon Disclosure in the Global Logistics Industry The Case of DHL FDX and UPS
- [34] Atlas Air report, [online], Dostupné také z: https://www.atlasairworldwide.com/wp-content/uploads/2022/04/AAWW_AR_2021.pdf
- [35] Delta report, [online], Dostupné také z: <https://ir.delta.com/financials/default.aspx>
- [36] Kallita report, [online], Dostupné také z: <https://www.kalittaair.com/environmental-strategy>
- [37] J.A.T.G. Fregnani a C. Muller, A fuel tankering model applied to a domestic airline network, [online], Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/atr.162>
- [38] Cargolux report, [online], Dostupné také z: <https://www.cargolux.com/media/media-releases/2022/record-results-for-cargolux-in-2021/>
- [39] Silkway report, [online], Dostupné také z: <https://www.silkwaygroup.com/financial-report-2021>
- [40] Afonso a kolektiv, Strategies towards a more sustainable aviation: A systematic review, [online], Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376042122000707#:~:text=Strategies%20towards%20a%20more%20sustainable%20aviation%3A%20A%20systematic,and%20manufacturing%20processes%20...%207%20Final%20remark%20>



- [41] Letiště Anchorage, [online], 21.2.2024 Dostupné také z: <https://anchorage-airport.com/>
- [42] Official Alaska State Webside, [online], 21.2.2024 Dostupné také z: <https://dot.alaska.gov/>
- [43] Letiště Honolulu, [online], 21.2.2024 Dostupné také z: <http://airports.hawaii.gov/hnl>
- [44] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016, Commercial Aircraft Propulsion and Energy Systems, Research: Reducing Global Carbon Emissions, Washington, DC: National Academies Press
- [45] FAA, Federal Aviation Administration, [online], cit.15.3.2024, Dostupné také z: <https://www.faa.gov/nextgen>
- [46] T. Pilmannová, ČVUT FD v Praze, Prezentace z předmětu 21AFM, 2023
- [47] Skybrary, [online], cit.1.3.2024 Dostupné také z: <https://skybrary.aero/>
- [48] SESAR, [online], cit.22.3.2024 Dostupné také z: <https://sesar.eu/sesar>
- [49] EUROCONTROL, [online], cit.6.3.2024 Dostupné také z: <https://www.eurocontrol.int/concept/continuous-climb-and-descent-operations>
- [50] Qatar Airways, [online], Dostupné také z: <https://www.qatarairways.com/press-releases/en-WW/228541-qatar-airways-group-annual-report-and-consolidated-financial-statement-2022-2023>
- [51] Aviation Services, [online], cit.13.4.2024 Dostupné také z: <https://an.aero/sustainable-air-cargo-industry/>
- [52] CharterSYNC, [online], cit.12.2.2024 Dostupné také z: <https://chartersync.com/emerging-trends/5-air-cargo-sustainability-trends-in-2022/>
- [53] Airbus, [online], cit.10.2.2024, Dostupné také z: <https://www.airbus.com/en>
- [54] Aeroweb, [online], cit.27.3.2024 Dostupné také z: <https://www.aeroweb.cz/>
- [55] Boeing, [online], 27.3.2024 Dostupné také z: <https://www.boeing.com/>
- [56] IATA, International Air Transport Association, [online], cit.5.3.2024 Dostupné také z: <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet---alternative-fuels/>
- [57] Neste, [online], cit.5.3.2024 Dostupné také z: <https://www.neste.com/products-and-innovation/sustainable-aviation/sustainable-aviation-fuel>
- [58] U.S. Department of Energy, [online], cit.25.3.2024 Dostupné také z: <https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel>
- [59] IATA, International Air Transport Association, [online], cit.8.4.2024 Dostupné také z: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-technical-certifications.pdf>



- [60] EU Parliament, [online], cit.2.3.2024 Dostupné také z: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230911IPR04913/70-of-jet-fuels-at-eu-airports-will-have-to-be-green-by-2050>
- [61] ICAO Environment, [online], cit.11.2..2024 Dostupné také z: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Airports.aspx>
- [62] SAF Investor, [online], cit.12.2.2024 Dostupné také z: <https://www.safinvestor.com/news/143961/brussels-airport-to-incentivise-saf-usage/>
- [63] International Airport Review, [online], cit.13.4.2024 Dostupné také z: <https://www.internationalairportreview.com/>
- [64] J-P Rodrigue a C. Ducruet, The Geography of Transport Systems, New York, 2020, 5. vydání, [online], Dostupné také z: <https://transportgeography.org/contents/chapter2/geography-oftr>
- [65] ACI Europe, [online], cit.2.2.2024 Dostupné také z: <https://www.aci-europe.org/air-connectivity.html>
- [66] M. Kaločayová, Metodologie hodnocení stavu letecké sítě, Praha, 2020. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/88303/F6-DP-2020-Kalocayova-MichaelaDP%20Kaloc%3fayova%3f.pdf?sequence=-1&isAllowed=y> . Diplomová práce. České vysoké učení technické, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy, Vedoucí práce Helena Bínová
- [67] Air Connectivity: Measuring connections that drive economic growth, [online], Dostupné také z: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-connectivity-measuring-the-connections-that-drive-economic-growth/>
- [68] Thijs Boonekamp a Guillaume Burghouwt, Measuring connectivity in air freight industry, 2015, [online] Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699715301526>
casa_token=aOy5E_UtS
R8AAAAA:yLvbWEEHI_eGuA_e0M8dnbBOQ6DGsnMnUOJfV94XD2hVZ94gmTKc1KINOqX
2N AdhM_J7SHfSQ
- [69] Thomas Van Asch, Wouter Dewulf, Franziska Kupfer, Hilde Meersman, Evy Onghena, Eddy Van de Voorde, Air Cargo and airport competitiveness, [online] [cit. 2.5.2022] Dostupné také z: <https://www.researchgate.net/publication/343990135> Air cargo and airport competitiveness
- [70] Airports Council Air Freight- historical perspective, industry background and key trends , [online] Dostupné také z: <https://airportscouncil.org/wp-content/uploads/2020/03/CHAPTER-1- AIR-FREIGHT-%E2%80%93-HISTORICAL-PERSPECTIVE-INDUSTRY-BACKGROUND-ANDKEY-TRENDS.pdf>



- [71] National Aviation Academy, [online], cit.18.3.2024 Dostupné také z: <https://www.naa.edu/cargo-aircraft-carrier-business-models/#:~:text=Understanding%20Cargo%20Aircraft%20Carrier%20Business%20Models%201%20Passenger,Express%20Carriers%20...%204%20Combination%20Aircraft%20Carriers%20>
- [72] J. Průša, Svět letecké dopravy. Praha: Galileo CEE Service ČR, 2007.
- [73] Nela Vicherková, Mezinárodní letecká doprava za časů covidu-19, Brno,2021, Dostupné také z: https://is.muni.cz/th/n0war/BP_Vicherkova.pdf . Bakalářská práce,Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav, Vedoucí práce Daniel Seidenglanz
- [74] A. Kaščeev, Konverze osobních letadel na nákladní v souvislosti s přepravní kapacitou, Praha, 2021, Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/97451> , Bakalářská práce, České vysoké učení technické, Fakulta Dopravní, Ústav letecké dopravy, Vedoucí práce Peter Vittek
- [75] Flightradar24, [online], 11.1.2024 Dostupné také z: <https://www.flightradar24.com/>
- [76] American Airlines Sustainability report, [online], Dostupné také z: <https://news.aa.com/news/news-details/2023/American-Airlines-releases-2022-sustainability-report-GEN-OTH-07/default.aspx>
- [77] Emirates report, [online], Dostupné také z: <https://www.emirates.com/english/about-us/financial-transparency/annual-reports/>
- [78] British Airways Sustainability report, [online], Dostupné také z: <https://www.britishairways.com/cms/global/pdfs/information/sustainability-report-2021.pdf>
- [79] Flightera,[online], 12.1.2024 Dostupné také z: <https://www.flightera.net/en/>
- [80] Aerocorner, [online], 11.2.2024 Dostupné také z: <https://aerocorner.com/>
- [81] ATR- Aircraft, [online],11.2.2024, Dostupné také z<https://www.atr-aircraft.com/>
- [82] Airborne Operations, [online], 11.2.2024, Dostupné také z: <https://airborneops.com/>
- [83] Brinkley, [online], 11.2.2024, Dostupné také z: <http://www.brinkley.cc/>
- [84] OneWorld, [online], Dostupné také z: <https://www.oneworld.com/news/2021-10-04-oneworld-aspires-to-reach-10percent-sustainable-aviation-fuel-target-by-2030>
- [85] Ryanair Sustainable Aviation Research Centre, [online], 11.4.2024, Dostupné také z: <https://corporate.ryanair.com/sustainability/ryanair-sustainable-aviation-research-centre/>
- [86] Web Scraper, [online], 11.1.2024, Dostupné také z: <https://www.webscraper.io/>
- [87] Matlab, [online], 20.2.2024 , Dostupné také z: <https://www.mathworks.com/>
- [88] Gov.uk, [online], 26.2.2024, Dostupné také z: <https://www.gov.uk/eu-eea>



[89] M. Honců, ČVUT FD v Praze, Prezentace Manažerské rozhodování

[90] E. Makovcová, Proveditelnost SAF provozu v podmínkách českého business aviation, Praha, 2023, Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/113219> , Diplomová práce, České vysoké učení technické, Ústav letecké dopravy, Vedoucí práce Peter Vittek

[91] IATA. Carbon offsetting for international aviation. [online], 2021, 15.2.2024 Dostupné také z: <https://www.iata.org/contentassets/fb745460050c48089597a3ef1b9fe7a8/paper-offsetting-for-aviation.pdf>

[92] Statista, [online], 18.4.2024 Dostupné také z: <https://www.statista.com/statistics/655057/fuel-consumption-of-airlines-worldwide/>

[93] IATA Aviation Net Zero CO₂ Transition Pathways: Comparative Review, [online], 12.4..2024 Dostupné také z: <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/nz-roadmaps.pdf>

[94] Cargolux CSR report 2021, [online], Dostupné také z: <https://www.cargolux.com/media/xogebwih/csrreport2021.pdf>