



DOPADY EMISNÝCH SYSTÉMOV NA LETECKÉ SPOLOČNOSTI

Ján Velčický
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Andrej Novák
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This paper analyses the impact of emission systems on airline operations, with emphasis on EU measures (ETS, ReFuelEU) and global mechanisms (CORSIA). It compares regulatory frameworks, technological options and airline strategies in the context of reducing emissions by 2050. A combination of methods was used, including qualitative analysis of documents, scenario comparisons (LTAG), and quantitative assessment of economic effects. The findings show that EU tools alone are insufficient without additional measures. The thesis proposes a combined approach that integrates technological, operational and behavioral components, including fuel diversification, compensation schemes and innovative policies. The result is a realistic strategy for the decarbonization of European aviation, aligned with long-term targets and taking into account SAF, hydrogen, and infrastructure risks. The objective of the thesis to propose an effective decarbonization trajectory while minimizing financial impacts on carriers was achieved.

Keywords

Emission systems, EU ETS, CORSIA, SAF, ReFuelEU

1. Úvod

Toto desaťročie sa ukazuje ako kľúčové k riešeniu výzvy globálneho otepľovania ktoré sužuje celý svet. V rokoch 2023 a 2024 boli na celom svete zaznamenané extrémne teplotné rekordy, sprevádzané pokračujúcimi trendmi klimatickej zmeny, ktoré výrazne ovplyvňujú našu planétu. Letecká doprava je emisne najrýchlejšie rastúci segmentov dopravy. V čase prehľbujucej sa klimatickej krízy sa medzinárodné aj európske inštitúcie usilujú o zavedenie účinných emisných politík, ktoré by smerovali k uhlíkovej neutralite v tomto sektore do roku 2050. Dekarbonizačné opatrenia ako CORSIA, EU ETS či ReFuelEU Aviation sa postupne stávajú základnými nástrojmi na dosiahnutie týchto cieľov. Tieto systémy prinášajú nielen ekologické, ale aj výrazné ekonomické dopady na prevádzku leteckých spoločností, ktoré sú nútené adaptovať sa na nové podmienky, investovať do udržateľných palív, technológií a meniť svoje prevádzkové stratégie. Diplomová práca sa zaoberá syntézou realistické stratégie, ktoré by umožnili dekarbonizáciu letectva bez ohrozenia jeho ekonomickej udržateľnosti. Ďalším cieľom je posúdiť efektívnosť aktuálnych politík, identifikovať ich nedostatky. Práca využíva kombináciu kvalitatívnych a kvantitatívnych metód vrátane scenárov, ekonomických modelov a analýzy správania hlavných aktérov v sektore. Základným predpokladom je presvedčenie, že len systémový a integrovaný prístup môže zabezpečiť zníženie emisií v súlade s dlhodobými klimatickými cieľmi pri zachovaní konkurencieschopnosti leteckého odvetvia.

2. ANALÝZA ZNIŽOVANIA EMISIÍ V LETECKEJ DOPRAVE DO ROKU 2050 VO SVETE

Letecká doprava patrí medzi najrýchlejšie rastúce zdroje emisií skleníkových plynov, čo predstavuje vážnu výzvu v kontexte globálneho boja proti zmene klímy [1]. Medzinárodné letectvo nebolo priamo zahrnuté do Parížskej dohody z roku 2015, pričom zodpovednosť za riešenie jeho emisií bola delegovaná na

Medzinárodnú organizáciu pre civilné letectvo (ICAO) [2]. Napriek tomu celosvetové ciele vyplývajúce z Rámcového dohovoru OSN o zmene klímy (UNFCCC), najmä udržať nárast globálnej teploty pod 1,5 °C, implicitne vyžadujú dosiahnutie čistých nulových emisií do roku 2050 aj v sektore letectva [3]. Tlak na dekarbonizáciu odvetvia viedol k prijatiu viacerých iniciatív na medzinárodnej aj regionálnej úrovni. Táto kapitola preto analyzuje hlavné programy a iniciatívy zamerané na znižovanie emisií v letectve do roku 2050, vrátane globálneho systému kompenzácií CORSIA, ako aj Európskej zelenej dohody, smernice o obnoviteľnej energii (RED) a nariadenia ReFuelEU Aviation. Pre každý z týchto nástrojov sú rozobraté ich ciele k roku 2050, spôsob fungovania, dosiahnutý pokrok a význam pre znižovanie emisií v letectve na globálnej či regionálnej úrovni.

2.1. CORSIA – Globálny systém kompenzácií a znižovania emisií uhlíka pre medzinárodné letectvo

Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, známy ako CORSIA, je prvý celosvetový mechanizmus zameraný na obmedzenie emisií v medzinárodnom letectve [4]. Krátkodobým cieľom CORSIA je dosiahnuť uhlíkovo neutrálny rast od roku 2020, t. j. zabezpečiť, aby čisté emisie z medzinárodných letov neprekročili úroveň roku 2020 [2]. Tento koncept „carbon neutral growth 2020“ schválilo valné zhromaždenie ICAO už v roku 2013 ako strednodobú aspiráciu [2]. Hoci samotné CORSIA je navrhnuté ako dočasné opatrenie do roku 2035, dlhodobá vízia ICAO počíta s dosiahnutím čistých nulových emisií medzinárodného letectva do roku 2050, čo členské štáty ICAO oficiálne prijali v roku 2022 [5] [6]. CORSIA je teda vnímaná ako jeden z pilierov na ceste k cieľu 2050, dopĺňajúci iné opatrenia (technologické inovácie, udržateľné palivá atď.) kým sa dosiahne úplná dekarbonizácia [4].

2.1.1. *Spôsob fungovania:*

CORSIA funguje na báze kompenzácie emisií. Kompenzácia znamená zaplatenie za zníženie emisií inde. Letecké spoločnosti musia monitorovať svoje emisie CO₂ na medzinárodných letoch a za emisie presahujúce stanovený referenčný základ nakupovať uhlíkové kredity z projektov znižovania emisií mimo sektora letectva [7]. Referenčnou hodnotou bol pôvodne priemer emisií rokov 2019–2020, no vzhľadom na pandémiu COVID-19 bol základ upravený na 85% emisií roku 2019 [8]. To znamená, že aerolínie majú povinnosť kompenzovať rast emisií len v rozsahu, ktorý prevyšuje 85% úrovne 2019, čím sa zohľadnil bezprecedentný pokles emisií počas pandémie. Samotná implementácia CORSIA prebieha v troch fázach: pilotná fáza (2021–2023), 1. fáza (2024–2026) – obe na báze dobrovoľnej účasti štátov, a 2. fáza (2027–2035), v ktorej je účasť povinná pre všetky štáty spĺňajúce stanovené kritériá [7] [8]. V pilotnej a prvej fáze musia emisie kompenzovať len lety medzi štátmi, ktoré sa do CORSIA dobrovoľne prihlásili. Od roku 2027 sa povinnosť rozšíri na všetky medzinárodné lety, s výnimkou letov do/z najmenších a najmenej rozvinutých krajín (LDC, SIDS, atď.), pokiaľ sa tieto štáty nerozhodnú pripojiť dobrovoľne [7]. CORSIA tak vytvára jednotný celosvetový rámec namiesto mozaiky rôznych regionálnych opatrení, čím zabraňuje tzv. carbon leakage a zabezpečuje rovnaké podmienky pre aerolínie po celom svete [2].

2.1.2. *Dosiahnutý pokrok:*

Do mechanizmu CORSIA sa zapojila drvivá väčšina krajín sveta. V pilotnej fáze sa do podávania správ o emisiách zapojilo cez 100 štátov vrátane všetkých hlavných leteckých trhov [9]. Podľa údajov ICAO za rok 2023 do CORSIA reportovalo emisie 121 štátov, čo pokrýva až 99% celkových emisií medzinárodného letectva [7]. Prvé roky fungovania systému (2021–2023) nepriniesli povinnosť kompenzácií – globálne emisie zostali pod úrovňou referenčnej hodnoty v dôsledku pandémie, takže rastový faktor bol nulový [7]. Prvé obstarávacie podujatie bolo určené výhradne pre letecké spoločnosti a prebiehalo od 28. októbra do 29. novembra 2024, pričom ho podporila vláda Guyany. Na tomto podujatí bolo v ponuke 1 milión oprávnených emisných jednotiek za fixnú cenu 21.7\$ za tonu. Jedenásť leteckých spoločností zakúpilo emisné jednotky CORSIA fázy 1 od vlády Guyany. IATA prostredníctvom centralizovaného trhu pre CORSIA emisné jednotky (ACE) plánuje v roku 2025 organizovať štvrtročné obstarávacie podujatia CORSIA EEU pre letecké spoločnosti. [10] Projekcie IATA odhadujú, že v prvej fáze (2024–2026) bude dopyt po uhlíkových kreditoch v rozmedzí 107 až 161 miliónov ton CO₂ [7]. ACE funguje od roku 2020 a do roku 2025 sa na burze obchodovalo s viac ako 20 miliónmi ton uhlíkových kreditov [11]. Dôležitým prvkom pokroku je vytvorenie štandardov kvality kreditov – ICAO zaviedlo kritériá a schvaľuje spôsobilé projekty, aby zaistené kompenzácie reálne predstavovali trvalé a dodatočné zníženie emisií. V rámci CORSIA už vznikol centrálny register a metodiky monitorovania, vykazovania a verifikácie emisií aerolínií.

2.1.3. *Význam pre redukciu emisií:*

CORSIA má zásadný význam ako prvý celosvetový trhový mechanizmus pokrývajúci celý sektor jedného odvetvia [4]. Umožňuje medzinárodnému letectvu riešiť svoje emisie jednotne, v duchu spoločného ale rozlíšeného prístupu –

bohatšie štáty sa zapojili skôr, kým menej rozvinuté krajiny dostali viac času [7]. Tento globálny rozsah pomáha predchádzať nerovnováhe v reguláciách a konkurenčným skresleniam, ktoré by vznikli, ak by jednotlivé regióny zavádzali odlišné schémy. Hoci CORSIA samotná neposkytuje trvalé zníženie emisií (ide o kompenzácie mimo sektor), vytvára most k dlhodobej dekarbonizácii – má platiť, kým nové technológie, účinnejšie lietadlá a udržateľné palivá nedosiahnu masové rozšírenie (MBM FAQ1, 2016). Kritici upozorňujú, že ak by CORSIA zostala jediným opatrením, nepostačovala by k splneniu cieľov Parížskej dohody, keďže podľa odhadov by bez predĺženia pokryla len okolo 6% kumulatívnych emisií letectva do roku 2050 [12]. Avšak v kombinácii s alternatívnymi palivami či technologickými inováciami predstavuje CORSIA dôležitý „štartovací mechanizmus“ na okamžité obmedzenie rastu emisií. Je tiež symbolicky významná: ukazuje, že globálna koordinácia v letectve je možná a pripravila pôdu pre ambicióznejšie záväzky, ako napríklad deklarácia z COP26 podporujúca nulové emisie v letectve do 2050 [13]. ICAO preto priebežne hodnotí a aktualizuje zoznam akceptovaných offsetových programov [7]. CORSIA tak predstavuje významný, hoci prechodný krok smerom k dlhodobej udržateľnosti leteckej dopravy.

2.2. *Analýza leteckých spoločností*

Letecké spoločnosti po celom svete sa čoraz častejšie verejne hlásia k cieľu dosiahnuť čisté nulové emisie skleníkových plynov do roku 2050. Ich prístupy k znižovaniu emisií sa však výrazne líšia – od aktívnych lídrov investujúcich do udržateľných palív až po aerolínie, ktoré túto tému komunikujú minimálne alebo ju otvorene sponchýbujú. Na základe analýzy výročných správ, verejných vyhlásení a rebríčka SAF Observatory z roku 2024 je možné rozdeliť letecké spoločnosti do viacerých skupín podľa podobnosti ich postojov k dekarbonizácii letectva. Nasleduje prehľad hlavných skupín a ich charakteristík, vrátane konkrétnych príkladov spoločností, ich názorov, cieľov a stratégií.

2.2.1. *Aktívni lídri v oblasti dekarbonizácie*

Ide o spoločnosti, ktoré patria k najpokročilejším v prístupe k znižovaniu emisií a verejne podporujú ambiciózne ciele typu net zero 2050. Títo lídri si stanovili aj konkrétne strednodobé míľniky a výrazne investujú do udržateľných leteckých palív. Príkladom je Air France-KLM Group, ktorá deklarovala dosiahnutie čistých nulových emisií do roku 2050 a ako jedna z prvých si stanovila cieľ primiešať 10% SAF do paliva do roku 2030 [13]. Na potvrdenie tohto cieľa podpísala v roku 2022 dlhodobé zmluvy na dodávku 1,6 milióna ton SAF [14]. Vďaka týmto krokom sa Air France-KLM nachádza na prvom mieste v rebríčku SAF Observatory [14]. Podobne International Airlines Group (IAG), zastrešujúca British Airways, Iberia a ďalšie, patrí k lídrom. Nakúpila ekvivalent 12% celosvetovej produkcie SAF v roku 2023 [15]. Medzi transatlantickými dopravcami vyniká United Airlines, ktorý ako prvý ohlásil cieľ net zero do 2050 bez použitia kompenzácie emisií [16]. Spoločnosť United masívne obnovuje flotilu, podporuje vývoj elektrických a vodíkových lietadiel a najmä investuje do SAF a syntetických palív. Napríklad uzavrela zmluvy na odber najmenej 300 miliónov galónov SAF od spoločnosti Dimensional Energy, výrobcu tzv. e-kerosínu, a spustila program Eco-Skies Alliance na financovanie SAF za účasti korporátnych zákazníkov [17] [18]. K lídrom patria aj

JetBlue Airways v USA. Táto spoločnosť chce dosiahnuť uhlíkovú neutralitu už do roku 2040, teda o desať rokov skôr než väčšina odvetvi, a do roku 2030 chce nahradiť 10% paliva SAF [19]. JetBlue od roku 2020 dobrovoľne kompenzovala emisie na všetkých domácich letoch a postupne prechádza k priamejším opatreniam, vrátane zmlúv na nákup SAF, napr. od spoločnosti Neste, a zapojenia sa do pilotných projektov dodávok SAF na letiská. V Európe môžeme medzi proaktívnych lídrov zaradiť aj Norwegian Air Shuttle, ktorá ako stredne veľká aerolínia zaujala výrazný postoj. Investovala do projektu výroby syntetického paliva Norsk e-Fuel (získala v ňom majetkový podiel) a zaviazala sa k výraznému podielu SAF, 16–28% do roku 2030 [18]. Tieto spoločnosti deklarujú, že klimatická udržateľnosť je jadrom ich dlhodobej stratégie, a ich konkrétne kroky ako investície do moderných lietadiel, veľké objednávky SAF a pilotné projekty s alternatívnymi palivami nasvedčujú serióznemu prístupu k dekarbonizácii letectva.

2.2.2. *Reaktívny prístup*

Do tejto skupiny spadajú letecké spoločnosti, ktoré síce uznávajú potrebu znižovať emisie a formálne sa hlásia k cieľu net zero 2050, avšak ich iniciatívy sú menej ambiciózne a skôr vyvolané regulačnými požiadavkami, trhovými podmienkami alebo verejnou mienkou. Tieto aerolínie kladú dôraz na postupné zlepšovanie efektivity a na kompenzácie emisií skôr než na prelomové inovácie. Lufthansa Group je reprezentatívnym príkladom. Skupina zahŕňajúca Lufthansu, Austrian, Swiss a ďalšie aerolínie stanovila cieľ uhlíkovej neutrality do 2050 a redukcie emisií o 50% do roku 2030, oproti roku 2019 [20]. Na dosiahnutie týchto cieľov sa Lufthansa spolieha najmä na urýchlenú obnovu flotily, optimalizáciu letových operácií a čiastočné využívanie SAF. Zároveň však otvorene priznáva, že značnú časť nízkouhlíkových riešení premietne do cien leteniek. V roku 2024 zaviedla Lufthansa príplatok k letenkám od 1€ do 72€ ako Environmentálny poplatok, ktorým prenáša na cestujúcich časť nákladov na nové ekologické regulácie, akým je zrušenie bezplatných emisných povoleniek v EÚ. Tento krok ilustruje skôr reaktívny postoj. Spoločnosť plní nariadenia a dokonca sa pripravuje na budúce kvóty SAF 2% od 2025, 6% od 2030 v rámci EÚ, avšak náklady a zodpovednosť posúva na zákazníka [20]. Lufthansa taktiež ponúka tzv. Green Fares. Sú to tarify, kde za príplatok zabezpečí plnú kompenzáciu uhlíka pre jednotlivca na daný let. Nemusí ich využiť každý a lákajú skôr business cestujúcich pretože ponúkajú viac vernostných bodov [21]. Lufthansa má odberové zmluvy SAF na báze kukurice s výrobcom paliva Gevo. Zostáva nejasné, či Gevo skutočne dosiahne úspory emisií. Biopalivá na báze kukurice, nie sú udržateľné kvôli svojmu neefektívnemu využívaniu pôdy, konkurencii s potravinovou bezpečnosťou, negatívnym dopadom na životné prostredie a príspevku k nepriamym zmenám využívania pôdy [18]. Podľa hodnotenia SAF Observatory až 87% hodnotených spoločností nezaberá v prechode na udržateľné palivá dostatočne razantne. Mnohé z nich oficiálne deklarujú podporu klimatických cieľov, ale reálne sa spoliehajú na evolučné zlepšenia a regulačné minimum, namiesto aby samy udávali tempo.

2.2.3. *Skeptický alebo odmietavý postoj*

V leteckom priemysle existuje aj menšia, no viditeľná skupina hlasov, ktoré otvorene spochybňujú aktuálne iniciatívy na

znižovanie emisií. Reprezentujú ich najmä jednotliví vysoko postavení manažéri či majitelia aerolínií, ktorí poukazujú na ekonomické a technické limity dekarbonizácie. Napríklad zakladateľ a CEO americkej nízkonákladovej aerolínie Breeze Airways, David Neeleman, verejne označil udržateľné letecké palivá za neefektívny spôsob riešenia problému a „úplnú stratu peňazí“, pričom argumentuje, že SAF konkuruje potravinárstvu, zdraží letecké palivo a odradí cestujúcich vyššími cenami [22]. V októbri 2024 na konferencii World Aviation Festival Neeleman ostro polemizoval s riaditeľom IATA, keď odmietol globálnu stratégiu postavenú na SAF a navrhol radšej investovať do udržateľných palív pre kamióny a iné dieselové vozidlá, kde vidí priestor na redukcii emisií skôr než spoliehať sa na drahé biopalivá v letectve [22]. Tento postoj je v ostrom kontraste s mainstreamom odvetvia, no poukazuje na obavy časti trhu, že súčasné ekologické riešenia nemusia byť dlhodobo udržateľné bez negatívnych vedľajších efektov. Celkovo platí, že otvorený skepticizmus voči znižovaniu emisií je čoraz viac na ústupe, keďže odvetvie ako celok prijalo cieľ uhlíkovej neutrality. Avšak výhrady voči konkrétnym metódam, najmä voči SAF z biomasy, daniam či obmedzovaniu letov pretrvávajú v časti leteckých spoločností, ktoré varujú pred ohrozením dostupnosti leteckej dopravy a žiadajú realistickejšie tempo zmien.

3. NÁVRH A METÓDY IMPLEMENTÁCIE ZNIŽOVANIA EMISIÍ V LETECKEJ DOPRAVE DO ROKU 2050

Existuje niekoľko modelov znižovania emisií. V nasledujúcich podkapitolách sa pokúsime čitateľa oboznámiť s vybranými modelmi. uplatňujúce podľa názvu organizácie ktoré v letectve prispievajú k dosiahnutiu cieľa uhlíkovej neutrality do roku 2050.

3.1. NÁVRH NA ZNIŽOVANIE EMISIÍ PODĽA IATA

Letecké spoločnosti sa zaviazali dosiahnuť nulové emisie CO₂ do roku 2050 a splniť záväzky, ktoré s tým súvisia. V roku 2023 IATA predstavila svoju víziu hlavných faktorov nevyhnutných na dosiahnutie nulových emisií v leteckej doprave prostredníctvom súboru piatich cestovných máp. [23]

Na 79. výročnom valnom zhromaždení IATA a Svetovom summite leteckej dopravy, ktoré sa konalo v Istanbule, Turecko, v dňoch 4. – 6. júna 2023 boli predstavené tzv. Net Zero Roadmaps alebo cestovné mapy IATA. Tieto mapy podrobne stanovujú míľniky, ktoré musia byť dosiahnuté v priebehu nasledujúcich piatich rokov do roku 2030 – termínu, na ktorý Medzinárodná organizácia civilného letectva (ICAO) definovala kolektívnu víziu CAAF/3. Ďalej stanovujú kľúčové kroky, ktoré musí letecký priemysel podniknúť na dosiahnutie nulových emisií CO₂ do roku 2050. Cestovné mapy IATA zahŕňujú 5 oblastí: regulačné politiky, energia a infraštruktúra nových palív, prevádzka, technológie lietadiel a financovanie. Podľa IATA je možné dosiahnuť cieľ nulových emisií do roku 2050. Úspech závisí od včasnej a harmonizovanej politickej podpory, ktorá by mala byť technologicky neutrálna a zahŕňať ciele financovanie. Najväčšia výzva nesúvisí so žiadnym konkrétnym riešením, ale s rýchlosťou, akou musí byť dosiahnutý cieľ, a s potrebnou spoluprácou.

Tieto cestovné mapy predstavujú prvý podrobný prehľad zásadných krokov, ktoré je potrebné podniknúť na urýchlenie prechodu k nulovým emisiám do roku 2050. Spolu ponúkajú jasný smer, a budú sa postupne rozvíjať, ako sa budeme

približovať k predbežne stanoveným míľnikom. Tieto plány nie sú určené len pre letecké spoločnosti – vlády, dodávatelia aj investori musia zohrávať aktívnu úlohu v procese znižovania uhlíkovej stopy letectva. Cestovné mapy teda slúžia ako výzva k akcii pre všetky zainteresované strany leteckého priemyslu, aby poskytli potrebné nástroje a opatrenia, ktoré umožnia úspešnú transformáciu letectva prostredníctvom tvorby novej politiky a produktov prispôbených svetu s nulovými emisiami. [24]

Výzvy spojené s masovým zvýšením výroby udržateľných leteckých palív (SAF) jasne ilustrujú význam týchto cestovných máp. SAF, ako riešenie kompatibilné s existujúcimi palivovými systémami, by malo zabezpečiť približne 62% zníženia uhlíkových emisií potrebných na dosiahnutie uhlíkovej neutrality do roku 2050. Hoci sa očakáva, že SAF bude plne implementovateľný vo flotile budúcich lietadiel, úspešnosť závisí na viacerých faktoroch – regulačnej politike, energii a infraštruktúre nových palív, technológiách lietadiel, financovaní a prevádzkových opatreniach. [24]

3.2. DESTINATION 2050

Dokument DESTINATION 2050 Roadmap 2025-2050 stanovuje plán na dosiahnutie uhlíkovej neutrality európskeho leteckého sektora (tzv. región EU+, ktorý zahŕňa krajiny EÚ, Spojené kráľovstvo a krajiny EFTA) do roku 2050. Bol vydaný výskumným inštitútom Royal NLR - Netherlands Aerospace Centre a výskumným inštitútom SEO Amsterdam Economics vo februári 2025. Tento plán obsahuje detailnú emisnú trajektóriu a opatrenia potrebné na splnenie klimatických cieľov. Podľa dokumentu má európske letectvo potenciál znížiť svoje čisté emisie CO₂ o 90% do roku 2050 oproti referenčnému scenáru. Zostávajúcich približne 10% emisií (29 miliónov ton CO₂ v roku 2050) bude potrebné kompenzovať technológiami na zachytávanie CO₂. Hlavné opatrenia potrebné na dosiahnutie tohto cieľa sú rozdelené do štyroch pilierov: Technológia lietadiel a motorov, Zavedenie udržateľných palív (SAF a vodík), Optimalizácia letovej prevádzky, Kompenzačné opatrenia a odstraňovanie uhlíka. [25]

4. VLASTNÉ NÁVRHY RIEŠENIA K ZNÍŽOVANIU EMISIÍ V LETECKEJ DOPRAVE A ICH POROVNANIE

Na základe predošlých analýz boli navrhnuté tri návrhy riešenia k znižovaniu emisií v európskej leteckej doprave.

4.1. Návrh 1

Návrh si dáva za úlohu splniť cieľ uhlíkovej neutrality do roku 2050 a rozdeľuje časový horizont do troch častí podľa dekád. Inými slovami stanovuje sekundárne ciele od 2025 do roku 2030 a do 2040.

Pre rok 2030 návrh stanovuje zníženie emisií o 10% vďaka obnove flotily novými lietadlami, ktoré sú už na trhu alebo čoskoro budú. Predstavitelia sú Airbus A321XLR, Boeing 737 MAX alebo Embraer E2. Spája ich vylepšená aerodynamika a nižšia spotreba paliva, ale stále využívajú spaľovanie tradičného leteckého paliva. Ďalšie zníženia emisií o 5% predpokladáme zo zlepšenia riadenia letovej prevádzky a prevádzkových postupov. Nasledujúcim cieľom v návrhu je zníženie emisií použitím udržateľných leteckých palív. Emisie by sa mali vďaka ich využitiu znížiť v roku 2030 o 6%, čo predstavuje 12,54 Mt CO₂. Z toho

syntetické palivá sú 1,2% alebo 2,5 Mt CO₂. Náš model predpokladá 2%-né zníženie emisií vďaka zníženiu dopytu spôsobenému vyššími cenami leteniek v dôsledku drahších udržateľných palív, a 19% emisií sa bude kompenzovať ekonomickými opatreniami, konkrétne EU ETS a systémom CORSIA. Náklady spojené s kompenzáciou emisií odradia určitú časť cestujúcich a návrh predpokladá že sa vďaka tomu znížia emisie o dodatočné 2%. Celkové plánované zníženie pre rok 2030 je 44%, čo predstavuje 91,96 Mt CO₂ z 209 Mt CO₂.

Pre rok 2040 návrh určuje zníženie emisií o 80%, teda o 196,8 Mt CO₂ z pôvodne predpokladaných 246 Mt CO₂. Návrh usudzuje nasledovné opatrenia na zníženie emisií: nové konvenčné lietadlá znížia emisie o 11%, 8% emisií budú znížené novými lietadlami, ktoré budú uvedené na trh po roku 2035 a budú mať zásadné technologické inovácie. V tejto kategórii sú zahrnuté aj elektrické lietadlá a pre potreby pomenovania budeme ich nazývať lietadlá budúcnosti. 8% ATM a operácie ako optimalizované plánovanie letov, zníženie rýchlosti, využívanie ekologickejších letových trás, minimalizácia státi na letiskách, Single European Sky, projekt SESAR. SAF bude do roku 2040 znižovať emisie o 22%. Z toho syntetické palivá sú 7%. Návrh ráta so znížením emisií o 5% vďaka poklesu dopytu v dôsledku nákladov na SAF, ďalej znížením emisií o 23% kvôli ekonomickým opatreniam a 3%-né zníženie emisií CO₂ spôsobené vplyvom poklesu dopytu po leteckej doprave ako výsledok zvýšených cien leteniek následkom dodatočných nákladov na emisné povolenky.

Návrh dosiahne v roku 2050 čisté nulové emisie. Zníženie emisií CO₂ je teda 100% predpokladaných emisií v roku 2050 a je to 290 Mt CO₂. Kládie si za cieľ zníženie emisií v pomere: 12% nové konvenčné lietadlá, 15% lietadlá budúcnosti s výrazne efektívnejšími technologickými inováciami ako napríklad open-rotor, 6% ATM a operácie, 39% SAF, z toho syntetické palivá 18%, 2% vodíkové palivo, 10% pokles dopytu spôsobený cenou SAF, 13% ekonomické opatrenia a 3% vplyvom zníženého dopytu kvôli ekonomickým opatreniam.

4.2. Návrh 2

Nízko ambiciózný návrh dosiahne v rokoch 2030, 2040 a 2050 postupné zníženie emisií CO₂ na ceste k cieľu čistých nulových emisií v roku 2050.

V roku 2030 predstavuje plánované zníženie emisií 35 % oproti referenčnej hodnote 209 Mt CO₂. Návrh počíta so znížením emisií v pomere: 4 % nové konvenčné lietadlá, 3 % ATM a operácie, 6 % SAF, vrátane 1,2 % syntetických palív, 3 % pokles dopytu vplyvom ceny SAF, 17 % ekonomické opatrenia a 2 % pokles dopytu vplyvom ekonomických opatrení.

V roku 2040 je predpokladané zníženie emisií na úrovni 60 % z referenčnej hodnoty 246 Mt CO₂, v absolútnej hodnote 147,6 Mt. Prispievajú k nemu opatrenia v nasledovnom pomere: 6 % nové konvenčné lietadlá, 7 % lietadlá budúcnosti s efektívnejšími technológiami, 5 % ATM a operácie, 22 % SAF, vrátane 7 % syntetických palív, 3 % pokles dopytu vplyvom ceny SAF, 15 % ekonomické opatrenia a 2 % pokles dopytu vplyvom ekonomických opatrení.

V roku 2050 návrh predpokladá úplné dosiahnutie cieľa, teda zníženie emisií o 100 % vzhľadom na referenčnú hodnotu 290

Mt CO₂. Zníženie je rozdelené nasledovne: 11 % nové konvenčné lietadlá, 16 % lietadlá budúcnosti, 7 % ATM a operácie, 37 % SAF, pričom 18 % z nich tvoria syntetické palivá, 2 % vodíkové palivo, 10 % pokles dopytu vplyvom ceny SAF, 14 % ekonomické opatrenia a 3 % pokles dopytu vplyvom ekonomických opatrení.

4.3. Návrh 3

Najambicióznejší návrh cieľi na výraznejšie a rýchlejšie znižovanie emisií CO₂ už v medziročných cieľoch s cieľom dosiahnuť čisté nulové emisie v roku 2050.

V roku 2030 je plánované zníženie emisií na úrovni 66 % oproti referenčnej hodnote 209 Mt CO₂. Redukcia je rozdelená takto: 12 % nové konvenčné lietadlá, 9 % ATM a operácie, 9 % SAF, vrátane 1,8 % syntetických palív, 4 % pokles dopytu vplyvom ceny SAF, 30 % ekonomické opatrenia a 2 % pokles dopytu vplyvom ekonomických opatrení.

V roku 2040 sa predpokladá zníženie emisií o 233,7 Mt, teda 95 % z referenčných 246 Mt CO₂. Príspevky jednotlivých opatrení sú nasledovné: 13 % nové konvenčné lietadlá, 15 % lietadlá budúcnosti s výrazne efektívnejšími technológiami, 9 % ATM a operácie, 30 % SAF, vrátane 10 % syntetických palív, 4 % pokles dopytu vplyvom ceny SAF, 21 % ekonomické opatrenia a 3 % pokles dopytu vplyvom ekonomických opatrení.

V roku 2050 návrh predpokladá dosiahnutie zníženia emisií o 100 % voči referenčnej hodnote 290 Mt CO₂. Emisné zníženie je rozdelené: 16 % nové konvenčné lietadlá, 16 % lietadlá budúcnosti, 10 % ATM a operácie, 31 % SAF, z toho 20 % predstavujú syntetické palivá, 4 % vodíkové palivo, 9 % pokles dopytu vplyvom ceny SAF, 12 % ekonomické opatrenia a 2 % pokles dopytu vplyvom ekonomických opatrení.

5. Určenie najvhodnejšej cesty

Je lepšie investovať do vodíkových lietadiel, elektrických lietadiel, syntetických palív typu „Power-to-Liquid“ alebo udržateľných leteckých palív BIO SAF?

Najlepšou stratégiou je kombinácia všetkých vyššie uvedených ciest, s tým, že každá plní úlohu tam, kde je najefektívnejšia. Žiadna jednotlivá technológia nedokáže sama zabezpečiť dekarbonizáciu letectva. Potrebujeme synergický prístup. Porovnávané dokumenty to priamo ukazujú. Destination 2050: 83% zníženia emisií má prísť z kombinácie nových technológií a udržateľných palív a zvyšok z ekonomických opatrení – čiže jedine kombinovaný scenár vedie k cieľu.

Prečo práve kombinácia a nie jedna cesta? Každá cesta má Achillovu pätu: SAF/PtL – drahé a limit surovín; vodík – neskorý príchod a infraštruktúra; elektrina – doletové obmedzenia; offsety – environmentálne integrita a závislosť na budúcich cenách uhlíka. Kombinácia zmiernuje tieto slabiny: keď vsadíme na všetky, znižujeme riziko, že zlyhanie jednej zmarí celý plán. Toto je aj filozofia Destination 2050. V ňom sa predpokladá, že ak všetky piliere doručia, cieľ je dosiahnuteľný. Ak by niektorý zlyhal, musel by ho do istej miery zastúpiť iný. Napríklad, ak by bolo menej SAF, možno by sa muselo kúpiť viac offsetov (drahšie) alebo ak by nevyšli vodíkové lietadlá, o pár percent viac SAF a offsetov pokryje medzeru. Kombinovaný prístup je teda robustnejší voči neistotám.

Z ekonomického hľadiska, kombinácia je síce nákladná v investíciách, ale diverzifikácia môže priniesť úspory: Ak by sa po roku 2040 vodík uchytil, mohol by byť lacnejší na krátkych tratiach než PtL a ušetrilo by to náklady. Ak sa baterky zlepšia, regionálne lety by mohli byť veľmi lacné. Naopak, keby nič z toho nevyšlo, budeme platiť viac za SAF a offsety. Stále dosiahneme cieľ, len za vyššiu cenu. Najvýhodnejšie je preto neuzatvárať si dvere a investovať do viacerých smerov naraz.

6. Záver

Na záver možno konštatovať, že predložený návrh v roku 2030 výrazne presahuje účinok jednotlivých oficiálnych nástrojov EÚ aj ich kombinácie. Jeho sila spočíva v integrovaní technologických, prevádzkových a behaviorálnych zložiek spolu s mechanizmami kompenzácie. Zároveň zachováva konzistenciu s oficiálnymi plánmi v oblasti SAF a rozširuje ich dopad o realistické prvky, ktoré v aktuálnej politike EÚ nie sú samostatne kvantifikované. V porovnaní s ETS, CORSIA a ReFuelEU tak ide o návrh s vyššou celkovou ambíciou, no zároveň s oporou v dostupných technológiách a mechanizmoch.

Výsledky analýzy ukazujú, že emisné systémy majú čoraz väčší vplyv na správanie leteckých spoločností pri znižovaní emisií. Systémy ako CORSIA a EU ETS vytvárajú pravidlá, ktoré nútia spoločnosti brať ohľad na vplyv na životné prostredie pri svojich ekonomických rozhodnutiach. Reakcie leteckých spoločností sú rôzne. Niektoré investujú do ekologických palív, iné plnia len to, čo musia. Napriek rozdielom je vidieť posun smerom k zníženiu emisií. Nové opatrenia ako ReFuelEU prinášajú prvýkrát povinnosť používať udržateľné palivá. Práca ukazuje, že tlak zo strany pravidiel môže byť účinný, ale jeho úspech závisí od toho, ako dobre sa zavedie v praxi, či sú dostupné vhodné palivá a nové technológie. Emisné systémy sú teda dôležité, ale samy o sebe ešte nestačia na úplné zabezpečenie ekologickej leteckej dopravy.

Objemy na výrobu bio-SAF sú neisté a môžu konkurovať iným odvetviám. Ak sa nebudú prísne dodržiavať kritériá udržateľnosti, hrozí riziko, že pestovanie plodín na biopalivá vytlačí potravinárstvo. Dnešné SAF stoja 2–5× viac než tradičné palivá. Letecké spoločnosti a dodávatelia palív tak čelia riziku, že bez masívnej podpory nebudú rentabilní. Palivá typu PtL vyrábané z vodíka a CO₂ si vyžadujú veľké množstvo zelenej elektriny. Rizikom je, že výstavba solárnych a veterných parkov, nebude schopná pokryť tento dodatočný dopyt. V takom prípade by sa vyrábalo z elektriny obsahujúcej fosílnu zložku a e-palivo by nebolo skutočne uhlíkovo neutrálne. Hlavným obmedzením elektrických lietadiel je nízka energetická hustota batérií v porovnaní s leteckým palivom. To znamená, že lietadlo poháňané batériami bude mať aj pri optimistickom technologickom pokroku veľmi obmedzený dolet alebo kapacitu platiacej záťaže. Rizikom je, že aj o dvadsať rokov budú batérie stále príliš ťažké na to, aby dokázali poháňať stredne veľké lietadlá. Kvapalný vodík zaberá približne štyrikrát väčší objem než tradičné palivo pri rovnakom množstve energie, čo znamená, že lietadlá musia byť vybavené väčšími nádržami, ktoré sa zvyčajne umiestňujú do trupu, čím sa mení ich aerodynamika.

Autori navrhujú aby sa európske letectvo uberalo cestou silnej dekarbonizácie aj za cenu poklesu dopytu po leteckej doprave.

Predpokladaný pokles dopytu po leteckej doprave je podľa vypracovaného návrhu o 13% do roku 2050.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky KEGA 54ŽU-4/2025 "Možnosti využitia umelej inteligencie v študijnom programe letecká doprava pri výučbe pilotov a technikov údržby. (SmartSkyEdu)"

Referencie

[1] Reducing (2025) Reducing emissions from aviation - European Commission. Available at: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-aviation_en (Accessed: 18 April 2025).

[2] MBM FAQ1 (2016) FAQ 1. Why has ICAO decided to develop a global MBM scheme (GMBM) for international aviation? Available at: <https://www.icao.int/Meetings/HLM-MBM/Pages/FAQ1.aspx> (Accessed: 18 April 2025).

[3] COP 26 (2023) COP 26 declaration: International Aviation Climate Ambition Coalition, GOV.UK. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/cop-26-declaration-international-aviation-climate-ambition-coalition/cop-26-declaration-international-aviation-climate-ambition-coalition> (Accessed: 18 April 2025).

[4] ICAO Corsia (2025) Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSA). Available at: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSA/Pages/default.aspx> (Accessed: 18 April 2025).

[5] Agreement (2023) Agreement reached on aviation clean energy | ATAG. Available at: <https://atag.org/news/agreement-reached-on-aviation-clean-energy> (Accessed: 18 April 2025).

[6] ICAO Conference (2023) ICAO Conference delivers strong global framework to implement a clean energy transition for international aviation. Available at: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/ICAO-Conference-delivers-strong-global-framework-to-implement-a-clean-energy-transition-for-international-aviation.aspx> (Accessed: 18 April 2025).

[7] Fact sheet: CORSIA (2024) 'IATA Fact sheet: CORSIA'. Available at: <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-corsia/> (Accessed: 18 April 2025).

[8] CORSIA FAQs (2022) CORSIA_FAQs_Dec2022.pdf. Available at: https://www.icao.int/environmental-protection/CORSA/Documents/CORSA_FAQs_Dec2022.pdf#:~:text=%E2%80%A2%20For%20the%20pilot%20phase,covered%20by%20CORSA%20in%202019 (Accessed: 18 April 2025).

[9] VCS (2024) The VCS Under CORSIA, Verra. Available at: <https://verra.org/programs/verified-carbon-standard/vcs-under-corsia/> (Accessed: 18 April 2025).

[10] 1st EEU Procurement (2025) IATA Follows Successful Guyana CORSIA EEU Procurement Event with Second Event in Q1. Available at: <https://www.iata.org/en/pressroom/2025-releases/2025-01-22-01/> (Accessed: 18 April 2025).

[11] ACE (2025) Aviation Carbon Exchange. Available at: <https://www.iata.org/en/programs/sustainability/ace/> (Accessed: 18 April 2025).

[12] Jocelyn Timperley (2019) Corsia: The UN's plan to 'offset' growth in aviation emissions, Carbon Brief. Available at: <https://www.carbonbrief.org/corsia-un-plan-to-offset-growth-in-aviation-emissions-after-2020/> (Accessed: 18 April 2025).

[13] AIR FRANCE KLM (2025) Our commitments | AIR FRANCE KLM. Available at: <https://www.airfranceklm.com/en/our-commitments> (Accessed: 19 April 2025).

[14] AIR FRANCE KLM (2022) Air France-KLM pushes its sustainability targets forward with major multi-year Sustainable Aviation Fuel (SAF) purchase agreements | AIR FRANCE KLM. Available at: <https://www.airfranceklm.com/en/newsroom/air-france-klm-pushes-its-sustainability-targets-forward-major-multi-year-sustainable> (Accessed: 19 April 2025).

[15] Kerry Preston (2024) IAG On Track for 10% SAF by 2030 | Energy Intelligence. Available at: <https://www.energyintel.com/00000193-6351-d404-a1f3-f3715ded0000> (Accessed: 19 April 2025).

[16] United (2024) Our environmental strategy | United Airlines Corporate Impact Report 2024. Available at: <https://corporateimpact.united.com/environmental-sustainability/our-environmental-strategy/> (Accessed: 19 April 2025).

[17] United (2022) Transforming Yesterday's Emissions into Tomorrow's Sustainable Aviation Fuel: United Announces Agreement with CO2 Utilization Company Dimensional Energy. Available at: <https://www.prnewswire.com/news-releases/transforming-yesterdays-emissions-into-tomorrows-sustainable-aviation-fuel-united-announces-agreement-with-co2-utilization-company-dimensional-energy-301568237.html> (Accessed: 19 April 2025).

[18] The SAF Observatory (2024) 202410_SAF-Observatory_Briefing-2.pdf. Available at: https://www.transportenvironment.org/uploads/files/202410_SAF-Observatory_Briefing-2.pdf (Accessed: 19 April 2025).

[19] Neste (2022) Neste and JetBlue partner to make flying more sustainable, Neste. Available at: <https://www.neste.com/en-us/news-and-insights/case-story/neste-and-jetblue-partner-make-flying-more-sustainable> (Accessed: 19 April 2025).

[20] Lahey, S. (2024) Lufthansa Raises Fares to Cover Costs of New Climate Regulations, ESG Today. Available at: <https://www.esgtoday.com/lufthansa-raises-fares-to-cover-costs-of-new-climate-regulations/> (Accessed: 19 April 2025).

[21] Green Fares (2025) Green Fares: More sustainable air travel. Available at: <https://www.lufthansa.com/gr/en/green-fare> (Accessed: 19 April 2025).

[22] Amely Mizzi (2024) 'Controversy over SAF: David Neeleman opposes IATA position', Aviation.Direct, 11 October. Available at: <https://aviation.direct/en/controversy-about-saf-david-neeleman-opposes-the-iata-position> (Accessed: 19 April 2025).

[23] policy-net-zero-roadmap.pdf (2024). Available at: <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/policy-net-zero-roadmap.pdf> (Accessed: 4 April 2025).

[24] IATA Press Release No: 26 (2023). Available at: <https://www.iata.org/en/pressroom/2023-releases/2023-06-04-03/> (Accessed: 4 April 2025).

[25] Elisabeth van der Sman et al. (2025) DESTINATION-2050-Roadmap-2025.pdf. Available at: <https://www.aci-europe.org/downloads/resources/DESTINATION-2050-Roadmap-2025.pdf> (Accessed: 25 April 2025).