
EDITORIAL BOARD

Head of the editorial board

prof. Ing. Antonín Kazda, PhD.
University of Žilina,
The Slovak Republic

Editor in chief

doc. Ing. Martin Bugaj, PhD.
University of Žilina,
The Slovak Republic

Members of editorial board

prof. Ing. Dušan Kevický, PhD.
University of Žilina,
The Slovak Republic

prof. Ing. Ján Pila, PhD.
Silesian University of Technology,
Poland

prof. dr. sc. Ivica Smojver
University of Zagreb,
Croatia

prof. Ing. Andrej Novák, PhD.
University of Žilina,
The Slovak Republic

doc. Ing. Jaroslav Juračka, PhD.
Institute of Aerospace Engineering,
Brno, The Czech Republic

assoc. prof. Jacek Buko, PhD.
University of Szczecin,
Poland

prof. Dr. Obrad Babic
University of Belgrade,
Serbia

prof. Dr. Johan Wideberg
University of Sevilla,
Spain

assoc. prof. Ing. Anna Stelmach Warsaw
University of Technology,
Poland

prof. dr. sc. Sanja Steiner
University of Zagreb,
Croatia

Richard Moxon
Cranfield University,
United Kingdom

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
Czech Technical University in Prague,
The Czech Republic

prof. Dr. habil. Jonas Stankunas
Gediminas Technical University Vilnius,
Lithuania

Dr. Francisco García Benítez
University of Seville,
Spain

prof. Dr. Romana Sliwa
Rzeszow University of Technology,
Poland

doc. Ing. Jakub Kraus, PhD.
Czech Technical University in Prague,
The Czech Republic

Dr.h.c. doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD.
MBA, LL.M
Technical University of Košice,
The Slovak Republic

doc. JUDr. Ing. Alena Novák Sedláčková,
PhD.
University of Žilina,
The Slovak Republic

assoc. Prof. Dr. Radosav Jovanović
University of Belgrade,
Serbia

prof. Ing. Anna Tomová, CSc.
University of Žilina,
The Slovak Republic

REGISTER

UPLATNENIE PILOTOV V PRAXI MEDZI ROKMI 2019-2022

APPLICATION OF PILOTS IN PRACTICE BETWEEN YEARS 2019-2022

3

Švancár D., Chodelka F.,

DETEKCIA RUŠENIA SIGNÁLU GNSS NA LETISKÁCH

DETECTION OF GNSS SIGNAL INTERFERENCE IN AIRDROME PROXIMITY

9

Velčický J., Novák, A.

VPLYV PANDÉMIE NA KVALITU SLUŽIEB POSKYTOVANÝCH NA LETISKU

THE IMPACT OF PANDEMIC ON AIRPORT SERVICE QUALITY

14

Kováčiková, K., Baláž M., Kováčiková, M., Vaculík, J.

IDENTIFIKÁCIA MOŽNOSTÍ VYUŽÍVANIA ALTERNATÍVNYCH PALÍV V LETECTVE

IDENTIFICATION OF OPPORTUNITIES FOR THE USE OF ALTERNATIVE FUELS IN AVIATION

18

Lehocká, P., Rostáš, J.



UPLATNENIE PILOTOV V PRAXI MEDZI ROKMI 2019-2022

APPLICATION OF PILOTS IN PRACTICE BETWEEN YEARS 2019-2022

Denis Švancár

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
svancar5@stud.uniza.sk

Frederik Chodelka

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
chodelka10@stud.uniza.sk

Abstract

The article about application of pilots in practice between years 2019 – 2022 deals with issue of the employment of pilots in these years. It examines the beginning of the problems with employment of pilots, which started with the Boeing 737 MAX crisis and the subsequently crisis of Covid-19 pandemic. The article is further supported by research on the application of the participating respondents in the field during crises and their application after the lifting of security measures and resumption of air transport. Finally, the article is aimed at visions of employment opportunities of students/pilots in 2023.

Keywords

Boeing 737 MAX, covid-19, application of pilots, job offers for pilots

1. Úvod

Letecký priemysel zažil v posledných rokoch niekoľko kríz, vrátane krízy Boeingu 737 MAX, pandémie Covid-19 a zmien v dopyte po pilotoch. Kríza Boeingu 737 MAX sa začala v roku 2019 po tragických nehodách dvoch lietadiel MAX, ktoré si vyžiadali stovky životov. Kríza viedla ku globálnemu uzemneniu flotily MAX a zdôraznila obavy o bezpečnosť moderných komerčných lietadiel. Pandémia Covid-19, ktorá sa začala v roku 2020, mala hlboký vplyv na letecký priemysel a spôsobila rozsiahle rušenie letov a zmeny v cestovaní. To viedlo k výraznému zníženiu dopytu po pilotoch, pričom mnohé letecké spoločnosti znížili svoju pracovnú silu alebo prepustili pilotov.

Ako sa letecký priemysel začína znovu zotavovať, objavujú sa náznaky rastúceho dopytu po pilotoch. Aj toto odvetvie prešlo významnými zmenami vrátane nových bezpečnostných protokolov a obnoveného zamerania na udržateľnosť. To má pozitívne následky pre začínajúcich pilotov a tých, ktorí hľadajú pracovné príležitosti v leteckom priemysle.

2. Kríza Boeing 737 MAX

Kríza lietadiel Boeing začala po uzemnení lietadiel Boeing MAX 8 a MAX 9. Toto rozhodnutie predchádzali dve nehody, ktoré sa stali v krátkom časovom rozpätí, ktorých priebeh zapríčinil rovnaký dôvod

2.1. Pád lietadla spoločnosti Lion Air

Lion Air Flight 610 bolo lietadlo Boeing 737 MAX, ktoré sa zrútilo 29. októbra 2018 v Jávskom mori krátko po štarte z medzinárodného letiska Soekarno-Hatta v Jakarte v Indonézii.

Pri nehode zahynulo všetkých 189 cestujúcich a členov posádky na palube lietadla.

Presná príčina havárie bola stanovená ako kombinácia faktorov vrátane technických porúch, chyby pilota a neadekvátnych postupov údržby. Vyšetrenie zistilo, že lietadlo malo chybný snímač uhla nábehu (AOA), ktorý meral polohu lietadla voči vetru. Senzor poskytoval nesprávne údaje do systému riadenia letu lietadla, čo spôsobilo, že sa systém domnieval, že lietadlo je uvádzané do pádu. To spustilo automatický systém vyvažovania, tzv. systém zvyšovania manévrovacích charakteristík (MCAS). Systém MCAS potom opakovane tlačil nos lietadla nadol, čo pilotom sťažovalo udržiavanie výšky. Zistilo sa tiež, že piloti neboli dostatočne vyškolení na zvládnutie situácie a nedodrжали správne postupy na deaktiváciu systému MCAS. Záznamy o údržbe navyše ukázali, že chybný snímač AOA nebol pred letom správne opravený (Preliminary KNKT.18.10.35.04, 2018).

2.2. Pád lietadla spoločnosti Ethiopian Airlines

Let Ethiopian Airlines 302 bolo lietadlo Boeing 737 MAX, ktoré sa zrútilo 10. marca 2019 krátko po štarte z medzinárodného letiska Addis Abeba v Etiópii. Pri nehode zahynulo všetkých 157 cestujúcich a členov posádky na palube.

Presná príčina havárie bola určená ako kombinácia faktorov, podobne ako pri havárii letu Lion Air 610. Vyšetrenie zistilo, že lietadlo malo chybný snímač uhla nábehu (AOA), ktorý poskytoval nesprávne údaje do systému riadenia letu lietadla. To spôsobilo, že systém MCAS opakovane tlačil nos lietadla nadol, čo pilotom sťažovalo udržiavanie výšky. Havária lietadla Boeing 737 MAX skončila tragicky kedy pri rýchlosti 500 kt lietadlo s náklon presahujúcim 40° smerom k zemi (Obrázok 1).

Vertikálna rýchlosť 33 000 ft/min spôsobila, že nikto z cestujúcich neprežil a lietadlo vytvorilo 10m hlboký kráter (Accident to the B737-8, 2020).



Obrázok 1: Kráter po lietadle Boeing 737 MAX spoločnosti Ethiopian Airlines. Zdroj: *The Final Minutes of Ethiopian Airlines*, 2023.

2.3. Sumarizácia nehôd Boeing 737 MAX

- **Nedostatočná komunikácia:** Po vyhotovení finálnych vyšetrovacích správ o nehodách prišli vyšetrovatelia s tým, že príčinou leteckých nehôd bol MCAS. Pri počiatočných skúšobných letoch bolo zistené, že pokiaľ nepríde k deaktivácii systému MCAS do 10 sekúnd, je vysoká pravdepodobnosť fatálnych následkov. Táto informácia však bola zatajená a tak ani piloti ani FAA a ani ďalšie celosvetové organizácie nemohli vedieť o tejto skutočnosti.
- **Nedostatočný výcvik pilotov:** Zistilo sa, že piloti počas letu nie sú dostatočne vyškolení na ovládanie systému MCAS a situáciu, ktorá vznikla v dôsledku chybného snímača. Vyšetrovanie odhalilo, že piloti absolvovali iba dvojhodinový výcvikový kurz na simulátore 737 MAX, ktorý neobsahoval žiadne informácie o systéme MCAS.
- **Organizačné faktory:** Vyšetrovanie tiež identifikovalo organizačné faktory, ktoré prispeli k havárii, vrátane nedostatočného dohľadu zo strany regulačných orgánov ako je FAA a EASA na spoločnosť Boeing a nedostatočnej kultúry bezpečnosti v rámci celej spoločnosti Boeing.

Prvé ustanovenie o uzemnení lietadla Boeing 737 MAX bolo vytvorené práve v štáte, poslednej nehody, Etiópii. Ešte v rovnaký deň sa pridali štáty ako Nemecko, Kanada, Čína, Veľká Británia a celá Európska Únia. Na ďalší deň sa pridali aj ostatné štáty napr. Singapur, Egypt, Austrália... Ako jeden z posledných štátov sa pridala štát, ktorý potvrdil certifikáciu a spôsobilosť týchto lietadiel, Spojené štáty Americké, kde FAA (Federal Aviation Administration) rozhodla o globálnom uzemnení lietadla Boeing 737 MAX 8,9. Modely Boeing 737 MAX 7 a 10 neboli uzemnené z dôvodu aktuálneho nenasadenia do prevádzky.

2.4. Dopad na pilotov

Počas priebehu uzemňovania bolo z prevádzky stiahnutých 271 kusov lietadiel typu Boeing 737 MAX. Keď sa na to pozrieme z bližšieho zistíme že na priemerné úzko-trupe lietadlo akým je aj Boeing 737 MAX potrebujeme v priemere 12 pilotov. To znamená, že pri uzemnení lietadla Boeing 737 MAX prišlo o prácu v priemere 3200-3300 pilotov (Boeing 737 Max Planes

Temporarily Grounded, 2023). Americkí piloti utrpeli najviac, kvôli najväčšiemu počtu lietadiel. V priemere 33% lietadiel Boeing 737 MAX v Marci 2019 vlastnili aerolínie sídlace v USA (News Trail, 2023).

Títo piloti síce mohli lietať na type Boeing 737 NG, z ktorého práve väčšina pilotov prestúpila na Boeing 737 MAX, no pri ideálnych podmienkach už na týchto lietadlách boli obsadené pozície pilotov a posádok a za účelom pozitívnej efektivity a využitia lietadiel, by nebolo za potreby udržiavať nadbytok pilotov a tým aj znižovať efektívnosť aerolínií. Majitelia/ akcionári aerolínií si vybrali Boeing 737 MAX práve kvôli nepotrebnému dodatočnému preškoleniu z úspešného typu 737 NG a tým pádom ušetrení financií na výcvik a preškolenie pilotov (The Points Guy, 2023).

Pre obnovenie prevádzky lietadiel Boeing 737 MAX boli za primárne potreby identifikované: modifikovať systém, pre navýšenie jeho spoľahlivosti, a preškoliť posádky o nových skutočnostiach, vymoženostiach, chybách a nápravách systémov lietadla. Tieto školenia sa týkali nielen systému MCAS, chybného rýchlomera, výškomera, uhla nábehu a stabilizátora ale aj efektívneho rozloženia pozornosti posádky pri riešení problémov v kokpíte (Letko & Rostáš, 2021).

3. Kríza vyvolaná pandémiou Covidu-19

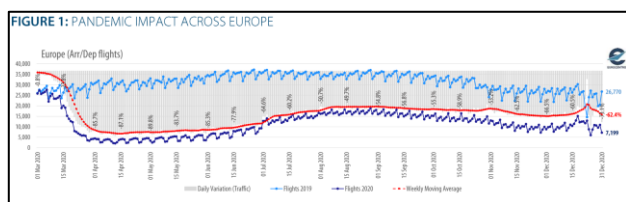
Kríza vyvolaná pandémiou Covidu-19 začala už koncom roka 2019, kedy sa po prvý krát objavila v Číne. Počiatkom januára informovala World Health Organization (WHO) o možnom výskyte choroby a jej rýchlom šírení. Do Európy sa prvý prípad Covid-19 dostal až vo februári 2020, kedy bol nájdený lekármi po vyšetrení pacienta v Španielsku. V ďalších mesiacoch sa epidémia vírusu Covid 19 rozšírila aj do ďalších miest v Európe. WHO vydalo odporúčania pre krajiny aké opatrenia by mohli byť zavedené aby sa predišlo rozšíreniu epidémie do ďalších častí krajiny a tým jej zabráneniu. 11. marca 2020 bola epidémia tak rozšírená, že sa začala nazývať pandémiou. Po zasadnutí príslušníkov štátov a WHO sa stanovil strategický plán (World Health Organization, 2019).

Pandémia Covid-19 mala významný vplyv na letecký priemysel, pričom mnohé letecké spoločnosti a letiská zaznamenali výrazný pokles osobnej dopravy a príjmov. Odvetvie tvrdo zasiahli zatváranie hraníc, cestovné obmedzenia a karanténne požiadavky, ktoré narušili cestovné plány a viedli k prudkému poklesu dopytu po leteckej doprave. Letecké spoločnosti boli nútené obmedziť lety, prepustiť zamestnancov a v niektorých prípadoch dokonca vyhlásiť bankrot. Mnohí tiež hľadali vládnú pomoc a finančnú pomoc, ktorá by im pomohla udržať sa nad vodou počas krízy. Letiská, ktorých príjmy závisia od osobnej dopravy, boli tiež ovplyvnené poklesom cestovania.

Už počiatkom mesiaca marec začala letecká doprava pozorovať klesajúcu tendenciu letov v Európe a ďalších častiach sveta. Eurocontrol pri vytváraní analýzy pre marec 2020 došiel k nasledujúcim záverom:

- Pokles letov v mesiaci marec bol o 41,1% v porovnaní s mesiacom marec v roku 2019. Uskutočnených letov celkovo v tomto mesiaci bolo 499 968. Začiatkom mesiaca, keď ešte Covid-19 nebol taký výrazný bolo uskutočnených približne 26 tisíc letov za deň. Na konci tohto mesiaca bola len osmina letov v porovnaní so začiatkom. Ako je na Obrázku 2

znázornené najmenší počet letov bol 29.3.2020 a to len 3354.

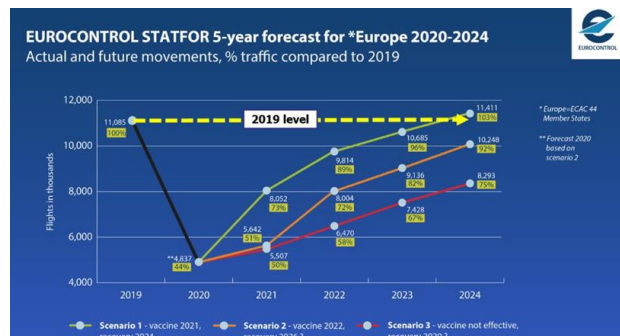


Obrázok 2: Graf počtu letov v období za rok 2020. Zdroj: (Eurocontrol, 2021).

- V apríli sa aj po možných očakávaní na zlepšenie situácie, situácia ešte zhoršila. Celkový pokles letov oproti predošlému aprílu roku 2019 zhoršila o 88,2%. Celkový počet letov za apríl 2020 presiahol 104 000.
- Pokles letov mal nepriaznivý dopad aj na medzinárodné spoločnosti. V Európe môžeme ako za hlavné letecké spoločnosti považovať Lufthansa Group, International Airlines Group, Air France – KLM, Ryanair Group a Easyjet Group. Všetkým týmito spoločnosťami po príchode Covid 19 rapídne klesli počty letov. V apríli roka 2019, boli pre všetky tieto spoločnosti počty letov znížené o viac než 90% v porovnaní s predošlým rokom v mesiaci apríl. Najväčšie straty pritom mala spoločnosť Easyjet Group a to až 99,5% (Eurocontrol, 2021).
- Ďalší mesiac v roku 2020 nebol až tak markantne zlý ako boli predchádzajúce. Po uplynutí 2 mesiacov letecká doprava opäť začala zvyšovať svoje čísla. Zo sumarizácie mája roku 2020 bolo možné vidieť nepatrný nárast. O 34 tisíc letov viac ako predchádzajúci mesiac.
- V júni boli počty letov už skoro dvojnásobné než v apríli. Dopomohlo tomu aj uvoľňovanie Covidových opatrení v štátoch a tým bolo možné zlepšiť zárobky spoločností vďaka cestovnému ruchu.
- Po skončení letnej sezóny opäť došlo k poklesu počtu letov. Tento pokles bol zapríčinený nielen opätovným sprísňovaním pravidiel ale aj zníženou fluktuáciou ľudí počas príchodu jesene a zimných mesiacov (Corona Gov, 2020).
- Vyhodnotenie príbehu roka 2020 prinieslo výsledok strát 55% pre porovnanie s rokom 2019. Finančné straty pre spoločnosti, letiská a štáty boli vyčíslené na desiatky miliónov.

Eurocontrol v roku 2020 stanovil možné scenáre pre nastávajúce roky a ich vývoj (Obrázok 3). Pri najlepšom scenári a vynájdení vakcíny na Covid 19 Eurocontrol predpokladal navrátenie počtov letov do predošlých čísel až v rokoch 2024. Príčom už začiatkom roku 2024, budú na 92% počtoch zo začiatku roka 2019.

Prvý scenár je najviac optimistický a preto boli vytvorené aj ďalšie, ktoré posúvajú návrat objemu prevádzky až v roku 2029. Tento scenár je na opak najviac pesimistický nielen pre leteckú dopravu ale aj pre cestujúcich. Pri najpesimistickjšom scenári by vakcína na Covid-19 vôbec nemusela vzniknúť a letecká doprava ale aj život ako taký by sa musel vlastnou silou vrátiť do „starých koľají“ za pomoci vlastných síl. V ďalších častiach práce si prirovnáme tieto predpoklady a určíme či boli správne.



Obrázok 3: Návrhy scenárov Eurocontrol v rokoch 2020-2024. Zdroj: (Eurocontrol, 2021).

Covid 19 veľmi ovplyvnil nielen spoločnosti, ktoré nemali koho prepravovať, ale aj pilotov a letové posádky ktorí o túto prácu prišli. V leteckej doprave v Európe došlo k masívnemu prepúšťaniu letových posádok. British Airways 12 000 ľudí, Lufthansa 10 000, SAS 7 000, Norwegian viac ako 4 000, Ryanair viac ako 3 000 a v neposlednom rade aj Wizzair 1 000 (Corona Gov, 2020).

Najsilnejšiu stratu utrpeli piloti v nízko-nákladových spoločnostiach. Pretože niektorí piloti sú v nich zamestnaní ako živnostníci, poprípade ako subdodávkové spoločnosti. Podľa tvrdení Európskej asociácie združujúcej pilotov (ECA) bol 1 z 5 pilotov v roku 2019 zamestnaný ako živnostník. Príčom v nízko-nákladových spoločnostiach bolo až 75% živnostníkov. Spoločnosť Ryanair zamestnávala v roku 2019 až 60% svojich pilotov ako živnostníkov (ECA Piloting Safety, 2019).

To znamenalo pre pilotov lietajúcich pre tieto spoločnosti 0% možnosť na výplatu pri prerušení ich vykonávanej práce. Odborové organizácie sa snažili vybojovať pre týchto pilotov aspoň nejaké finančné bonusy alebo minimálny príjem v období straty zamestnania. Takáto možnosť nebola možná z dôvodov legislatívy v štátoch, v ktorých mali piloti založené živnosti. Krajiny pri živnostníkoch alebo s.r.o. spoločnostiach neuznávajú náhradu škôd spôsobených stratou zamestnania a zrušením kontraktov medzi živnostníkmi a spoločnosťami. Práve naopak, majitelia alebo osoby vlastniace tieto licencie si sami spravujú majetok, ponuky práce a aj finančné zásoby v prípadoch strát zamestnania (ECA Piloting Safety, 2019)

4. Vízie do budúcnosti a ponuky práce

Po obnovení spôsobilosti lietadiel Boeing 737 MAX, sa znovu rozbehla ich výroba a počty dodaných kusov do Európy sa začali zvyšovať. V najbližších rokoch by mal do Európy prísť skoro dva a pol násobok aktuálneho stavu týchto lietadiel. Ich počet je aktuálne vyčíslený na 615 kusov. Tieto lietadlá tvoria objednávky spoločností, ktorým ešte neboli dodané. Najväčšie hodnoty nedodaných/objednaných lietadiel nachádzame u známych Európskych nízko nákladových spoločností akými sú Ryanair (121 zatiaľ nedodaných kusov) a AerCap (129 nedodaných kusov).

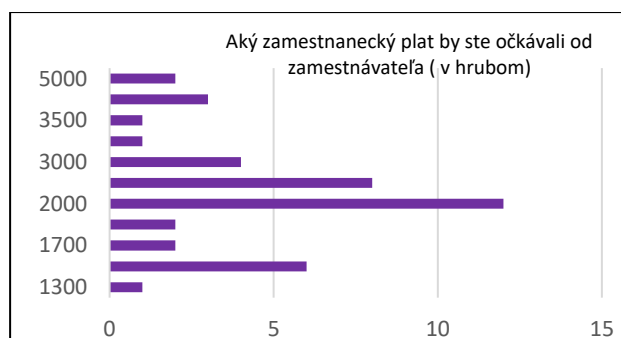
To znamená, že sa na Európskom trhu budú v dostupnej dobe otvárať pracovné pozície na posty pilotov o veľkosti 7 380 pracovných pozícií. Spoločnosti AerCap a Ryanair budú potrebovať 3 000 pilotov pre typ Boeing 737 MAX (Olaganathan & Amihan, 2021). V nasledujúcich rokoch sa predpokladá zvýšený záujem o pilotov, mechanikov a ďalších potrebných ľudí

v leteckej doprave. Niektoré predikcie tvrdia že do roku 2025 bude chýbať až 34 000 pilotov. Znižovanie študijných období pre získavanie licencií môže priniesť následok zníženia odborných spôsobilostí pilotov. Tým pádom aj zvyšovanie možných príčin nehôd (Boeing, 2023).

5. Dotazníkový prieskum

Cieľom dotazníka bolo zistiť, aké sú aktuálne požiadavky študentov pre výber zamestnania a v akom časovom rozmedzí sa chceli zamestnať. Ďalej dotazník smeruje na výber z možných spoločností, u ktorých sa zamestnali predchádzajúci absolventi LVVC. Pokladá otázky spojené s ich vlastným prieskumom možných požiadaviek na prijatie do spoločnosti a ďalej, či sú schopný si financovať časť typového výcviku. V poslednej časti dotazníka sú vybrané požiadavky študentov od zamestnávateľa a prieskumu povedomia študentov o nástupných mzdách pri záujme o zamestnanie. Až 33% študentov by sa zamestnalo v leteckej v závislosti od aktuálnej ponuky na trhu. Najviac nerozhodnosti pri výbere času sa zamestnať mali študenti 1. ročníka bakalárskeho štúdia a najmenej nerozhodnosti študenti 2. ročníka inžinierskeho štúdia. Najviac preferovanými spoločnosťami, kde sa aj v predchádzajúcich rokoch uplatnili študenti LVVC sú: Wizz Air, Ryanair, Smartwings, Air Explore, Go2Sky, a ďalšie menšie spoločnosti v Business Aviation. Až 69% študentov by preferovalo zamestnanie ako zamestnanec, pričom len 11% zvolilo, že by im nevydilo byť zamestnaný buď ako živnostník alebo ako zamestnanec. To poukazuje na pripravenosť a flexibilitu študentov voči reálnemu trhu.

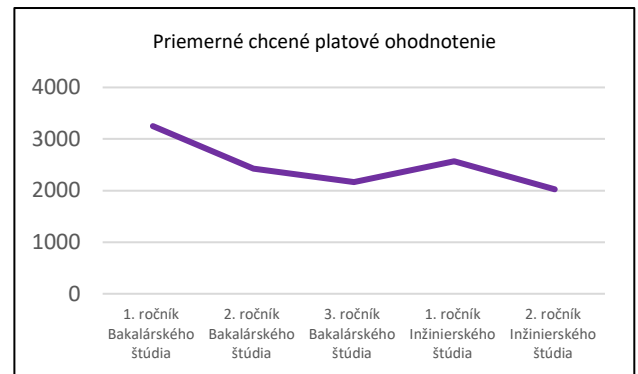
Pri otázke pre študentov, či sa zaujímali o prijímacie požiadavky do spoločností tak až 75% uviedlo, Áno. Pričom v následnej otázke len 13% študenti by si vedeli financovať typový výcvik do 30 000€, ďalších 17% do 20 000€, 32% do 10 000€ a 39% by si ho nedokázalo financovať. Pri otázke na základné potreby a preferencie študentov, na základe ktorých by si vybrali zamestnávateľa. Až 35 študentov (77,8%) by sa pri výbere zamestnania rozhodovalo hlavne na základe financií. Následnou druhou požiadavkou je príjemný kolektív a teda aj vyhovujúce pracovné prostredie spoločnosti. Nasledujú flexibilita času, možnosť cestovať a ďalšie.



Obrázok 4: Hrubá mzdu, ktorú študenti očakávali ako nástupnú mzdu. Zdroj: Autori

Ako vidíme na Obrázku 4, tak máme rozmedzie hrubej mzdy od 1300€ do 5000€. Najviac odpovedí sa pohybovalo okolo hodnoty 2000€. Najväčšie požiadavky a nároky majú študenti 1. ročníka bakalárskeho štúdia (Obrázok 5) s domnienkou vysokej možnosti zisku finančných prostriedkov na základe štúdia ako Profesionálny pilot a následného uplatnenia sa v odbore. Ďalej graf klesá až sa pri konci bakalárskeho štúdia dostávame k priemernej hodnote 2163€. Pri inžinierskom štúdiu graf stúpa na

hodnote a je možné konštatovať, že študenti 1. ročníka inžinierskeho štúdia sa domnievajú, že so ziskom znalostí sa zvýši aj ich mzda. Na čo môžeme vidieť, že už následný študenti o ročník vyššie (2. ročník inžinierskeho štúdia) majú najnižšiu priemernú hodnotu zo všetkých 2025€.



Obrázok 5: Priemerné chcené platové ohodnotenie študentov. Zdroj: Autori

Posledná otázka bola mierená k aktuálnej situácii na trhu. Z post-covidového obdobia vieme, že aktuálne podmienky na trhu ešte nie sú ideálne, ale pomaly sa blížila naplneniu situácie z roku 2019. Najviac uchádzačov by preferovalo ako náhradné/doplnkové zamestnanie ako riadiaceho letovej prevádzky. S touto prácou sa pilot stretáva pri jeho každodennej práci. Je to pracovník, ktorý riadi prevádzku či už na letisku alebo v priestoroch a komunikuje s pilotmi a vydáva povolenia. Ďalšími prácami, ktoré by boli prijateľné pre našich študentov bola práca stewarda, technik údržby a ďalšie.

6. Prieskum trhu

Prieskum trhu práce vyplýva z vyplneného dotazníka. A teda pôjde o zber informácií z dostupných zdrojov a vyhodnotenie, požiadaviek a ponúk zamestnávateľov, ktoré smerujú k študentom špecializácie Profesionálny pilot po jeho úspešnom ukončení. Spoločnosti boli vybrané na základe dotazníka, kde by mali aktuálny študenti záujem ísť pracovať. Študentov, ktorí ukončili špecifikáciu Profesionálny pilot by sme mohli v predchádzajúcich rokoch rozdeliť na modulový výcvik a integrovaný výcvik. Keďže v aktuálnej dobe prebieha špecifikácia Profesionálny pilot len s integrovaným programom, tak v nasledujúcej časti sa budeme baviť len o tom, čo študenti tejto špecifikácie môžu ponúknuť. Na to aby sa študenti mohli uplatniť v spoločnostiach ako piloti musia niečo týmto spoločnostiam ponúknuť (svoje znalosti), ktoré ako z nášho dotazníka vyplýva nadobudli na Žilinskej univerzite v Žiline (Letecké Výcvikové A Vzdelávacie Centrum, 2023). Po ukončení výcviku na LVVC študenti majú nasledujúce znalosti a certifikáty:

- 200 hodín praktického výcviku.
- ICAO Angličtina (minimálne 4).
- Osvedčenie rádio telefonistu leteckej pohyblivej služby.
- Zdravotný preukaz 1. triedy.
- CPL (A) – Licencia obchodného pilota.
- SEP (L) – Kvalifikácia na jednomotorové letúne.
- MEP (L) – Kvalifikácia na viacmotorové letúne.

- MCC – Súčinnosť viacčlennej posádky.
- IR (A) – Prístrojová kvalifikácia.
- ATPL (A) teória – Teória dopravného pilota.
- UPRT – Výcvik predchádzania a vyberania neobvyklých polôh.

Pri skúmaní trhu a vyhľadávaní možných zamestnaní pre študentov, sme porovnávali spoločnosti Ryanair, Wizzair, Air Explore, Smartwings a ďalšie sú spoločnosti z Business Aviation. Dospeli sme k záverom, že naši študenti by sa mohli úspešne uplatniť vďaka svojim znalostiam a skúsenostiam v týchto spoločnostiach. Jediným rozdielom bola potrebná suma, ktorá by musela byť zaplatená za typový výcvik v rôznych spoločnostiach. Pri Business Aviation sme zistili, že väčšina spoločností prepláca typový výcvik s potrebou sa zaviazat u spoločnosti na určitý počet rokov. Pri dopravných spoločnostiach sme sa stretali s potrebou si čiastočne alebo úplne financovať typový výcvik. Pričom na druhej strane neiste viazaný, že musíte u spoločnosti si odpracovať určitý počet rokov.

7. Zhodnotenie

Krízou Boeing 737 Max mala síce negatívne účinky na zamestnancov, ľudí čo utrpeli stratu pri nehodách a ich najbližšie rodiny ale aj pozitívne prínosy pre zvýšenie bezpečnosti a obozretnosti v leteckej doprave. Zvýšili sa nároky pre certifikáciu lietadiel a nezatajovanie informácií týkajúcich sa bezpečnosti lietadiel v leteckej doprave. Covid-19 priniesol pre leteckú dopravu ťažké časy, čo spôsobovali nemalé finančné straty. Piloti, ktorí celý život lietali mali problém si nájsť prácu, pretože výpadok letectva bol celosvetový. Niektorí piloti prešli z dopravných spoločností do iných odvetví, ako je nákladná letecká doprava alebo aj súkromné lety. Začínajúci piloti mali najväčší problém sa uplatniť v leteckej doprave, pretože s malým náletom hodín a s nízkymi skúsenosťami neboli pre letecké spoločnosti zaujímaví. V konečnom dôsledku rýchly výpadok leteckej dopravy spôsobil a možnosti cestovania po skončení krízy dokázal v pomerne malom čase znovu obnoviť pracovné miesta pilotov a leteckú dopravu. Letecká doprava opäť začína naberať na vážnosti a už sa predpokladá nedostatok pilotov, čo dáva novým uchádzačom o toto miesto nemalú nádej na uplatnenie sa v odvetví, za celkovo priateľnú finančnú odmenu.

8. Záver

Na záver možno povedať, že letecký priemysel čelil v posledných rokoch významným výzvam vrátane krízy Boeing Max, krízy Covid a meniaceho sa trhu práce pre pilotov. Hoci odvetvie pokročilo v riešení týchto problémov, stále je potrebné vykonať veľa práce na zaistenie bezpečnosti a udržateľnosti leteckého priemyslu v nasledujúcich rokoch. Keď sa však dopyt po leteckej doprave začína zotavovať a letecký priemysel sa prispôbuje týmto zmenám, existuje nádej, že piloti sa budú môcť vrátiť k svojej profesii a budú naďalej prispievať k bezpečnej a efektívnej prevádzke leteckej dopravy.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky **KEGA 024ŽU-4/2023** s názvom "*Integrácia najnovších vedných poznatkov v rámci zvyšovania kvality praktickej a laboratórnej výučby študijného programu Letecká doprava*".

Referencie

- Accident to the B737-8; 2020. Registered ET-AVJ operated by Ethiopian Airlines [Internet]. Alta Building, 2nd through 7th Floor, Mexico Square, Addis Ababa, Ethiopia: The Federal Democratic Republic of Ethiopia Ministry of Transport. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://reports.aviationsafety.net/2019/201903100_B38M_ET-AVJ_Interim.pdf>.
- Boeing; 2023. Commercial. <https://www.boeing.com/commercial/>.
- Boeing 737 Max Planes Temporarily Grounded; 2023. <https://www.npr.org/2019/03/13/702936894/thiopian-pilot-had-problems-with-boeing-737-max8flight-controls-he-wasn't-alon>.
- Corona Gov; 2020. COVID-19: Pandemická komisia navrhuje sprísnenie opatrení [Internet]. <https://www.health.gov.sk/Clanok?covid-19-11-09-2020-pandemicka-komisia-opatrenia>.
- ECA Piloting Safety; 2019. Atypical employment in Aviation, <https://www.eurocockpit.be/campaign/atypical-employment-aviation>.
- Eurocontrol; 2021. What Covid to European Aviation in 2020, and Outlook In 2021 [Internet]. Vols. 8. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/202102/eurocontrol-think-paper-8-impact-of-covid-19-on-europeanaviation-in-2020-and-outlook-2021.pdf>.
- Letecké Výcvikové a Vzdelávacie Centrum; 2023. Integrovaný kurz ATPL. <https://www.lvvc.uniza.sk/sk/leteckyyvcvik/integrovanyyvcvik/integrovanyyvcvik-atpl>.
- Letko, M.; Rostáš, J.; 2021. Analýza a dôsledky nehôd Boeing 737MAX. Žilinská univerzita v Žiline 01000 01130.
- NEWS TRAIL; 2023, <https://newstrailindia.com/inner.php?id=11638>.
- Olaganathan, R.; Amihan, R.; 2021. Impact of COVID 19 on Pilot Proficiency – A Risk Analysis. In Global Journal of Engineering and Technology Advances. <https://doi.org/10.30574/gjeta.2021.6.3.0023>.
- Preliminary KNKT.18.10.35.04; 2018. Transportation Building, 3rd Floor, Jalan Medan Merdeka Timur No. 5 Jakarta 10110, Indonesia: Komite Nasional Keselamatan Transportasi.
- The Final Minutes of Ethiopian Airlines; 2023. <https://www.wsj.com/articles/thefinalminutesofethiopian-airlines-doomed-boeing-737max11553876300>.

The Points Guy; 2023. How the FAA Was the Last to Ground the 737 MAX, <<https://thepointsguy.com/news/why-thefaawasthe-last-to-ground-the-737-max/>>.

World Health Organization; 2019. A Timeline of WHO's COVID-19 Response in the WHO European Region www.euro.who.int/en/publications/request-forms. [Internet]. Vols. 3, <<https://www.euro.who.int/en/publications/request-forms>>.



DETEKCIA RUŠENIA SIGNÁLU GNSS NA LETISKÁCH

DETECTION OF GNSS SIGNAL INTERFERENCE IN AIRDROME PROXIMITY

Ján Velčický

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
john.velcicky@gmail.com

Andrej Novák

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
andrej.novak@uniza.sk

Abstract

Although the Global Navigation Satellite System provides an increased precision in instrument approaches, it is vulnerable to various signal interferences causing either decreased position accuracy or a complete loss of GNSS signal reception. One of the major threats to a GNSS receiver is the intentional interference known as jamming. Incoming airplanes can be seriously endangered by such signal loss. This bachelor's thesis addresses the detection and classification of possible unintentional and intentional interference and spoofing attacks on airplanes in proximity to the airdrome Žilina. Besides that, other systems which show sufficient reliability are compared. Additionally, critical parts of RNP approach chart map are evaluated. Finally, a device called HackRF ONE is selected to be put in aerodrome proximity for detection of possible GNSS interference. Using this software defined radio as unmanned aerial vehicle alarm and protection system is another suggested possibility.

Keywords

GNSS, aerodrome, jamming, interference detection, SDR, UAV

1. Úvod

Globálne navigačné satelitné systémy (GNSS), sú systémy satelitnej navigácie, ktoré poskytujú globálne pokrytie, pre určovanie polohy a času, ktorý zahŕňa konšteláciu jedného alebo viacerých systémov (Khan, 2023). Tvoria ho v súčasnosti systémy GPS, GLONASS, Galileo, Beidu ako aj rozšírené satelitné systémy WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN, SDCM, BDSBAS, KASS, ANGA (Sekera & Novák, 2021). Signál môže byť rušený úmyselne alebo neúmyselne. Našou úlohou je navrhnúť systém, ktorý by detegoval toto rušenie.

1.1. Časti GNSS

Vesmírna časť pozostáva z satelitov strednej veľkosti o hmotnosti niekoľko stoviek až tisíc kilogramov, ktoré využívajú časť frekvenčného pásma označované ako L-band na vysielanie navigačných signálov pre rôzny rozsah poskytovaných služieb. Tieto satelity majú zvyčajne kruhovú obežnú dráhu s polomerom 25 až 30 tis. kilometrov.

Rozšírené systémy GNSS používajú geostacionárnu obežnú dráhu (Khan, 2023). Navigačné signály sú vysielané a generované zariadením družice, ktoré obsahuje jedno alebo viac atómových hodín, ktoré poskytujú presný časový a frekvenčný referenčný bod. Na šetrenie energie sú vysokovýkonné zosilňovače (HPA) navrhnuté tak, aby pracovali v bode saturácie. Avšak, keďže viaceré služby sú vysielané ako jeden signál v jednom frekvenčnom pásme, malé variácie vstupných signálov na HPA môžu spôsobiť nelineárne efekty na zosilňovaných signáloch. Na riešenie tohto problému sa používajú techniky multiplexovania signálov, pričom kombinovanie rôznych signálov do konštantnej

obálky, ktorú následne zosilňujeme v koncovom stupni satelitu (Ioannides et al., 2016)

Kontrolný segment GNSS využíva niekoľko prijímačov GNSS umiestnených v tzv. monitorovacích (alebo sensorových) stanicach rozmiestnených po celom svete, aby získal pseudovzdialenosti od všetkých satelitov pre všetky sensorové stanice. Keďže polohy sensorových staníc sú presne známe a pohyb družíc podlieha Keplerovým zákonom, tieto údaje možno použiť na určenie a predpovedanie polohy satelitov, na odhad drobných odchýlok atómových hodín na palube satelitov a na odhad oneskorení, ktoré navigačné signály zaznamenajú pri prechode cez atmosféru. Tieto údaje sú zakódované do formátu navigačnej správy a nahrávané na satelity. Nahrávanie na satelit sa uskutočňuje v inom frekvenčnom pásme (C-pásmo), pomocou techník šírenia spektra alebo signálového modulovania fázy. Nahrávanie sa zvyčajne uskutočňuje každé niekoľko hodín (Ioannides et al., 2016).

Signály vysielané satelitmi majú oneskorenie pri príchode k prijímaču, čo môže spôsobiť rozdiel v čase medzi satelitom a prijímačom. Toto oneskorenie, označované ako Taum pre m-ty satelit, spôsobuje aj zmenu frekvencie signálu, známu ako Dopplerov posun. Prijímanie signálov od štyroch alebo viac satelitov umožňuje používateľovi určiť svoju polohu, rýchlosť a čas. Treba si uvedomiť, že prijatý signál $r(t)$, ktorý sa spracúva v DSP časti prijímača, je filtrovaný v prednej časti prijímača. V DSP časti prijímača vytvára prijímač kópiu vysielaného signálu s odhadmi oneskorenia δ a Dopplerovského posunu f_D . Použitím prístupu s vyrovnávacím filtrom získava prijímač odhadované hodnoty oneskorenia satelitu a dopplerovského posunu. Multikanálové prijímače majú niekoľko paralelných kanálov, takže môžu sledovať niekoľko satelitov naraz. Toto riešenie je

drahšie a hlavne sa používa tam kde sú vysoké nároky na dynamiku (navádzané rakety) (Ioannides et al., 2016). Sekvenčné prijímače menia sledovanie satelitov približne každú sekundu. Z toho vyplýva, že potrebný čas k získaniu pozícií je 4-5s. Nie je taký dobrý ako multikanálový prijímač, ale v statickom prípade je rozdiel minimálny. Pri počiatocnom získaní polohy musí prijímač sledovať každý satelit 6s. Multiplexné prijímače prejdú celým cyklom 4-och až 5 satelitov v priebehu jednej dátovej správy (20ms). Vzorkujú signály len raz za cyklus a používajú tie hodnoty na aktualizovanie sledovacieho softvéru. Dokážu čítať dáta a aj vyhľadávať nové satelity popri tom ako podávajú ďalej navigačné dáta (Mitola, 1993).

1.2. Útoky na prijímače GNSS

Ak je prítomný interferenčný signál $I(t)$, môže sa stať, že prijímač GNSS prestane fungovať, vygeneruje nesprávne pozíciu alebo umelo nastavený nesprávny odhad polohy alebo času. To závisí od prijímaného signálu $I(t)$ (Coudé, 2020).

Existujú dva hlavné druhy zámerného rušenia, ktoré môžu ovplyvniť systémy GNSS a ich používateľov: rušenie (jamming) a falšovanie (spoofing). Útočník môže použiť rôzne modulácie signálu pre $I(t)$ s vysokou silou, aby ovplyvnil dostupnosť signálov zo satelitov GNSS a súvisiace služby. Na rozdiel od toho sa falšovanie snaží oklamať používateľa GNSS tým, že vysielá signály $I(t)$ s rovnakými charakteristikami ako legitímne signály satelitov GNSS $s(t)$. Ak je GNSS prijímač falšovaný, bude hlásiť nesprávnu polohu a/alebo časovú informáciu, v závislosti od druhu útoku, dokonca aj s potvrdeným kontrolou integrity (Coudé, 2020).

Rušenie a jamming (úmyselné vysielanie rušivých signálov) boli dlhodobou v centre pozornosti GNSS komunity kvôli ich negatívnemu vplyvu na GNSS signály. V literatúre sa rozlišuje medzi neúmyselným rušením z iných komunikačných systémov ovplyvňujúcich nízko výkonné GNSS signály a jammingom, ktorý sa snaží úmyselne ovplyvniť prevádzku GNSS prijímača. Medzi neúmyselné rušenie patrí:

- Rušenie mimo pásma spôsobené harmonickými a intermodulačnými produktmi, ako napríklad signály digitálneho terestriálneho vysielania (DVB-T), signály VHF omnidirectional range (VOR) a prístrojového pristávacieho systému (ILS), multikariérovo modulované satelitné komunikačné systémy a amatérske rádiové služby.
- Rušenie v pásme, vrátane civilných a vojenských terestriálnych navigačných systémov, ako sú systémy merania vzdialenosti (DME) a taktická letecká navigácia (TACAN), vojenské rozšírené spektrumové komunikačné systémy ako spoločný taktický informačný distribučný systém (JTIDS) a multifunkčný distribučný systém informácií (MIDS), ako aj radary na zisťovanie vetra a civilné radary (1215-1400 MHz) (Novák et al. 2019).

Zámerné rušenie alebo rušenie je dosiahnuté pomocou zariadení, ktoré môžu vysielat silné signály v pásme GNSS, spôsobujúc rôzne účinky. Veľká časť z nich patrí do kategórie osobných zariadení na ochranu súkromia (PPD), ktoré sa používajú ako rušiče v automobiloch na zabránenie sledovania vozidla napríklad pri cestnej myte, a ktoré majú účinné dosahy v rozsahu od niekoľkých desiatok metrov do kilometrov. Účinky rušenia môžeme zhrnúť takto: strata sledovania, zvýšené pseudovzdialenostné chyby, vysoké chyby demodulácie,

odmietnutie získania signálu a falošné detekcie signálu a neustále cyklické posuvy. Účinok rušenia je opísaný účinným pomerom nosnej frekvencie k hustote šumu.

Spoofing nastáva vtedy, keď interferenčný signál $I(t)$ má rovnakú štruktúru ako signál $s(t)$, čo vedie k identickým tvarom pre $G_s(f)$ a $G_I(f)$ a umožňuje maximálne prekrytie signálov. Signály vytvorené na účely spoofingu nemožno traktovať ako náhodné signály a teória C/NO redukcie vyjadrená vzťahom sa na ne nevzťahuje. Namiesto toho sa v cieľovom prijímači objavujú deterministické efekty.

Hoci nie sú preukázané záznamy o zámerných útokoch typu spoofing, niekoľko demonštrácií ukázalo, že je to realizovateľné s dnešnými softvérovými definovanými rádiami (SDR) a GNSS simulátormi. Tým sa význam spoofingu zvýšil ako závažné nebezpečenstvo pre GNSS systémy. Môže existovať mnoho rôznych variantov útokov typu spoofing, ktoré závisia od konkrétnej formy aplikovanej oneskorenia $\tau_I(t)$ a výkonu spoofera $C_I(t)$ (Coudé, 2020).

Spoofing je zamierený na zavádzanie GNSS prijímačov do poskytovania nepresných informácií o polohe a čase. Proces navigácie v GNSS prijímači sa spolieha na predvídateľný modulovaný rozsah kódov ($c(t)$) a informácie o navigačných dátach ($d(t)$), ktoré sú prítomné v signáli Open Service (OS) GNSS, čo ho robí zraniteľným voči dvom typom útokov: útokom na úrovni navigačnej správy a útokom na úrovni kódu. Okrem toho by jeho výkon C_I nemal byť významne vyšší ako výkon autentického signálu C , aby sa vyhol detekcii.

Spoofing musí zahrnúť kompenzáciu rôznych faktorov, vrátane vnútorných oneskorení hardvéru, posunov hodín, relatívnych Poyntingových vektorov a ziskov antén na oboch koncoch. Aj keď takýto útok predstavuje výzvu, nemožno ho považovať za nemožný, najmä v prípadoch, keď používateľ jazdí autom s COTS (commercial-of-the-shelf) anténou a protivník je odborný inžinier alebo používa zariadenie na samospoofovanie (Coudé, 2020).

2. Metodika a metodológia

Známe metódy získavania údajov sú: pozorovanie, experiment, rozhovor, dotazník. Každá z týchto metód má výhody aj nevýhody. Výskum si obvykle vyžaduje použitie viacerých metód. V článku používame výskumné metódy analýzy, evaluácie, komparácie a testovania.

Kvalitatívna evaluácia znamená proces posudzovania a hodnotenia podstaty, hodnoty a ceny skúmaného objektu a procesu s cieľom urobiť určité rozhodnutia o prijatí, odmietnutí alebo formulácii prijatej stratégie na určitej úrovni rozhodovania.

Princíp metódy porovnávania (komparácie) spočíva v tom, že skutočný jav porovnávame vždy s určitou porovnávacou základňou. Túto základňu považujeme za normu pre hodnotenie. Pre porovnanie je nutné, aby porovnané javy mali rovnaký obsah alebo rovnaké položky (Mašková, 2016).

3. Analýza systémov pre detekciu rušenia signálu na letiskách

Proti rušeniu poznáme opatrenia na úrovni detekcie a zmierňovania daného rušenia.

3.1. Detekcia rušenia

V každom modernom prijímači sa pred analógovo-digitálnou konverziou (ADC) používa automatická regulácia zosilnenia (AGC). Schémy detekcie rušenia satelitného navigačného signálu zahŕňajúce AGC, spočívajú v skutočnosti, že AGC je viac riadený okolitým šumom alebo interferenciou než silou signálu GNSS a teda zmena zosilnenia AGC môže byť použitá na detekciu prítomnosti interferencie (California Institute of Technology, 2022).

3.2. Zmierňovanie dôsledkov rušenia

Existuje niekoľko metód na redukciu rušenia satelitného navigačného signálu, ktoré sa dajú rozdeliť do štyroch oblastí: časová, frekvenčná, časovo-frekvenčná a priestorovo-časová. Medzi nimi je najpoužívanejšou metódou v časovej oblasti technika pulzného vypínania (blanking), ktorá sa snaží odstrániť impulzné rušenie, ako napr. DME/TACAN. Táto technika spočíva v tom, že sa výstup vzoriek z ADC vypne, ak prekročia definovaný amplitúdový prah na základe očakávaného šumu. Aby sa zabránilo silným potlačujúcim AGC pulzami, AGC zisk sa nastavuje pomocou iba 2-3 bitov z multirezolučného ADC. Hoci sa technika pulzného vypínania často používa v GNSS prijímačoch, uvádza sa, že nie je tak efektívna ako techniky založené na TFR, hlavne kvôli odstráneniu významných časových intervalov užitočného signálu v prítomnosti silného a dlhodobého rušenia (Ioannides et al., 2016).

3.3. Detekcia a zmierňovanie spoofingu

Mnoho prijímačových protiopatrení proti útokom typu spoofing zdieľa rovnaké princípy s technikami detekcie a zmierňovania rušenia. Hlavným rozlišovacím znakom je, že opatrenia proti spoofingu môžu byť zahrnuté aj na úrovni GNSS systému zlepšením dizajnu signálu (Ioannides et al., 2016).

4. Vyhodnotenie a návrh systému identifikujúceho riešenia na letiskách

Pre návrh systému identifikujúceho rušenia na letiskách je dôležité najprv vyhodnotiť a porovnať iné systémy u ktorých bola preukázaná dostatočná spoľahlivosť pri odhaľovaní rušenia.

4.1. Vyhodnotenie systémov

Mapovaniu rušenia sa venuje viacero služieb, pričom sa vyhodnocuje aj prostredníctvom satelitov. SMAP (Soil Moisture Active Passive) je projekt NASA a má jeden z najpokročilejších detektorov rušenia rádiových frekvencií (RFI), ktorý je momentálne na obežnej dráhe. Aj keď misia SMAP meria jasovú teplotu Zeme v chránenom spektre 1400-1427 MHz, merania SMAP sú stále rušené rádio-frekvenčnou interferenciou (RFI) (California Institute of Technology, 2022).

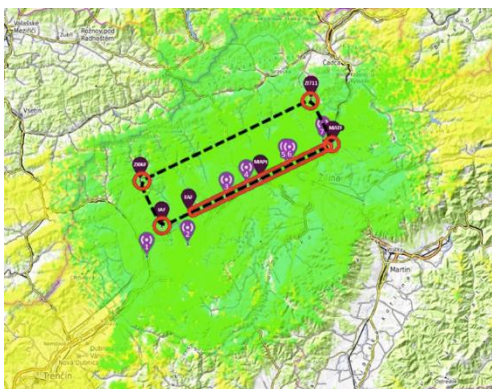
V Measurement Of GnsS Interference At Airport Zilina (Kováčik et al., 2019) autori so svojim výskumom potvrdzujú, že na meranie interferencií GNSS na Žilinskom letisku by bola vhodná sieť pozostávajúca z viacerých antén a prijímačov. Štúdia Jamming of GNSS Receiver on B737 MAX Aircraft and Its Impact on ADS-B Technology (Kraus et al. 2020) prináša hlbšie vedomosti správania sa GPS prijímača na lietadle v prítomnosti rušiča. Ako príkladné lietadlo si vybrali aerolinkové lietadlo B737 MAX 8. Počas testovania prvého scenáru zistili, že na vyradenie

oboch polôh GNSS je potreba rušič s výkonom 0,79mW (-1dBm). Ak to napríklad porovnáme s modernými mobilnými telefónmi, takáto úroveň rušenia by im nerobila žiadne problémy s určovaním polohy podľa GPS. Zistili aj, že počas takto silného rušenia lietadlový prijímač nedodáva žiadne dáta. Zistili aj, že počas takto silného rušenia lietadlový prijímač nedodáva žiadne dáta. Z testovania druhého scenáru zistili, že na vyradenie jedného zdroja GNSS polohy je potreba rušič s výkonom 2mW (3dBm) a na vyradenie oboch 2,51mW (4dBm). V treťom scenári vypadla GNSS poloha v kokpíte vo výške 4,4m a obe polohy vo výške 6,5m nad zemou. Výsledky týchto meraní ukázali, že dopad rušenia na avioniku je pozorovateľný napríklad zvýšenou variabilitou informácií o polohe vysielanou správami ADS-B (Novák et al., 2019).

4.2. Vyhodnotenie kritických častí priletu

Na základe analýzy existujúcich systémov sme v tejto časti navrhli nový systém detekcie rušenia signálov GNSS na letisku Žilina. Podľa Bc. Mariána Buľáka (Marián Buľák, 2019) je najkritickejšou fázou letu priblíženie a pristátie. Rozhodli sme sa sústrediť na túto časť letu pretože v tejto časti môže mať výpadok navigačného signálu katastrofálne následky. Pri analýze a následnom rozbere problému sme sa rozhodli použiť existujúce mapové podklady z OpenTopoMap do ktorých sme implementovali a označili tmavofialovou značkou letecké informácie z AIP príletovej mapy. Následne sme identifikovali kritické miesta z pohľadu možného rušenia GNSS signálu ktorými môže byť priemyselná infraštruktúra, logistická infraštruktúra, výroba elektrickej energie a jej rozvodná sústava, cesty prvej triedy, rýchlostné cesty a diaľnice. Fialovou značkou a príslušným číslom sme zahrnuli tieto konkrétne možné zdroje rušenia: Gumárne Púchov, Považské Strojárne, Úsek diaľnice D1 Považská Bystrica - Dolný Hričov, Priemyselný park Bytča, Priemyselný park Horný Hričov, Vodná elektrárň Hričov – rozvodňa a Schaeffler Kysuce. Z pohľadu vplyvu na priblíženie sme rozčlenili jednotlivé fázy letu nasledovne: od IAF po FAF, od FAF po MAPt, od MAPt po MATF a v otočných bodoch (ZI711, ZI712, MATF).

Strata signálu GNSS/GPS počas prístrojového priblíženia RNP RWY 06 v časti od fixu počiatočného priblíženia po fix konečného priblíženia nie je kritická. Pri strate signálu od bodu konečného priblíženia (FAF) po bod začatia postupu nevydareného priblíženia (MAPt) kde lietadlo za normálnych okolností klesá, je šanca že lietadlo podklesá pod bezpečnú výšku a môže dôjsť k nebezpečnému priblíženiu s terénom. Ak dôjde k strate signálu v tejto časti trate priblíženia, pilot musí prerušiť priblíženie a zahájiť procedúru pre opakované priblíženie s použitím záložného systému a príslušného postupu. Kritickou časťou trate je aj úsek od MAPt po fix začatia zatáčky pri postupe nevydareného priblíženia (MATF). Pri strate signálu v tejto časti trate pilot nevie kedy má začať zatáčať a tak ako aj v predošlej časti trate, môže dôjsť k nebezpečnému priblíženiu s terénom. Pretože je lietadlo pri zatáčaní citlivé na rušenie zo zeme [10], označili sme za kritické časti aj otočné body ZI711, ZI712 a MATF. Na nasledujúcej mape (Obrázok 1) sú červenou znázornené kritické časti.



Obrázok 1: Mapa možného rušenia lietadla z pozemných zdrojov pri priblížení. Zdroj: autor, podľa (Coudé, 2020)

4.3. Návrh systému pre detekciu rušenia

Pre laboratórne merania a prácu v RF spektre boli vyvinuté zariadenia Softvérovo navrhnuté rádiá (SDR). SDR je termín definovaný v 90. rokoch jeho tvorcom Josephom Mitolom ako identifikátor triedy rádií, ktoré by bolo možné preprogramovať a prekonfigurovať pomocou softvéru namiesto hardvéru (Del Barrio et al., 2023). Koncept softvérovo definovaného rádia sa v priebehu desaťročí vyvíjal. SDR sa skladá z troch základných častí: RF/IF modul, Digitálny Front End modul a Base Band Processing. Moduly RF/IF a Digitálny Front End sú realizované hardwarovým riešením na základe rôznorodých koncepcií výrobcov príslušných modulov.

Pre náš výskum rušenia a detekcie rušenia signálu GNSS bolo vybraných päť základných SDR zariadení, ktoré sa využívajú pre vzdelávacie účely. Prvým je HackRF One od Great Scott Gadgets, druhým je bladeFR, tretím je ADALM-PLUTO, štvrtým je LimeSDR od Lime microsystems a piatym je USRP N200 od Ettus Research. Pre všetky nami vybrané zariadenia sú zakladené technické parametre uvedené v tabuľke 4, pričom ich použitie ako aj rozsah použitia vyhovuje nášmu výskumu.

5. Diskusia

Na základe faktu, že sa v civilnom letectve stále zväčšuje použitie signálov GNSS autori analyzovali možné typy rušenia na prijímače a ich zmierňovanie. Schopnosti popísaných metód je potrebné ešte podrobnejšie preskúmať v rôznych prostrediach a použitých, pretože väčšina poznatkov pochádza z dedinských alebo zastrešených prostredí. Okrem toho je potrebné hodnotiť výkon týchto techník v závislosti na sofistikácii podvodov a aj pre rôzne architektúry prijímačov. Boli pritom použité vedecké metódy.

Ďalej autori analyzovali kritické miesta AIP príletovej mapy z pohľadu možného rušenia signálu GNSS. Do týchto miest sme v rámci simulácie pomocou internetového nástroja Radio Mobile umiestnili zdroje rušenia. Túto príletovú mapu rozdelili aj z pohľadu závažnosti prípadného rušenia. Pre umiestnenie vo vyznačených oblastiach sme bolo rozhodnuté použiť zariadenie SDR HackRF One. Toto softvérovo definované rádio bolo vybrané spomedzi iných nielen vďaka svojej dostupnosti v laboratóriu na Žilinskej Univerzite ale hlavne vďaka ponúkanému výkonu za prijateľnú cenu. Je predpoklad, že práve toto zaujme prípadných investorov. Bola otestovaná funkcia vysielania a signál bol prijatý ako rušenie laboratórnym

prijímačom TOPGNSS GN702UB. Autori tento jav vysvetľujú veľkým výkonom vysielateľa a tým, že prijímač rozpoznal, že ide o útok a rozhodol neuviesť polohu.

Použitie daného zariadenia na rušenie signálov UAV by efektívne vyradilo jeho schopnosť komunikovať s ovládačom. Využitie HackRF ONE je však viacnásobné, dokáže aj prijímať signál. Okrem umiestnenia v kritických častiach príletovej mapy, autori navrhujú multispektrálne využitie zariadení HackRF na zabezpečenie perimetra letiska, a to tak, že by detegovali najčastejšie používané frekvencie na ovládanie UAV a v prípade detekcie takéhoto signálu by prerušili spojenie UAV s ovládačom.

6. Záver

Článok analyzuje základné princípy fungovania globálnych satelitných navigačných systémov. Článok ďalej popisuje ako aj samotné falšované signály, tak aj metódy zmierňovania ich dopadov na prijímače, ale schopnosti popísaných metód je ešte potrebné podrobnejšie preskúmať v rôznych prostrediach a použitých, pretože väčšina poznatkov pochádza z dedinských alebo zastrešených prostredí. Okrem toho je potrebné hodnotiť výkon týchto techník v závislosti na sofistikácii podvodov a aj pre rôzne architektúry prijímačov.

Prínosom článku je návrh nového detekčného systému pre letisko Žilina. Na základe simulácie pomocou internetového nástroja Radio Mobile, a následného zhodnotenia kritických častí prístrojovej príletovej mapy RNP autori, na základe vyhodnotenia dostupných SDR prijímačov, navrhli použitie SDR HackRF ONE na detekciu rušenia signálu GNSS. Autori nainštalovali externý TCXO a overili ich vzájomnú spoluprácu. Autori pomocou denne aktualizovaných efemeridov vytvorili a odvysielali falošný signál GPS. Laboratórny prijímač TOPGNSS GN702UB síce prijal vysielaný signál, ale odmietol uviesť polohu. Autori tento jav vysvetľujú veľkým výkonom vysielateľa a tým, že prijímač rozpoznal, že ide o útok a rozhodol neuviesť polohu vôbec. Okrem umiestnenia v kritických častiach príletovej mapy, článok navrhuje multispektrálne využitie zariadení HackRF na zabezpečenie perimetra letiska, a to tak, že by detegovali najčastejšie používané frekvencie na ovládanie UAV a v prípade detekcie takéhoto signálu by prerušili spojenie UAV s ovládačom. Od toho bodu systém detekcie a ochrany splnil svoju úlohu a situáciu môžu prevziať letiskové orgány.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky **KEGA 040ŽU-4/2022 Transfer progresívnych metód vzdelávania do študijného programu "Technológia údržby lietadiel" a "Letecká doprava"**.

Referencie

- California Institute of Technology; 2022. Global Radio Frequency Interference, SMAP, <<https://smap.jpl.nasa.gov/rfi>>.
- Coudé, R.; 2020. Radio Mobile WEB Site, <<https://www.ve2dbe.com/english1.html>>.
- Del Barrio A. A. et al.; 2023. HackRF + GNU Radio: A software-defined radio to teach communication theory,

International Journal of Electrical Engineering & Education, 60, 1, pp. 23–40, <10.1177/0020720919868144>.

Ioannides, R. T.; Pany, T.; Gibbons, G.; 2016. Known Vulnerabilities of Global Navigation Satellite Systems, Status, and Potential Mitigation Techniques, Proceedings of the IEEE, 104, 6, pp. 1174–1194, <10.1109/JPROC.2016.2535898>.

Khan, A. K.; 2023. Uncovering Unauthorized Flights: Utilizing the HackRF One for Drone Detection and Identification, <://khandronesorigin.com/2023/01/23/uncovering-authorized-flights-utilizing-the-hackrf-one-for-drone-detection-and-identification>.

Kováčik, L.; Novák, A.; Lusiak, T.; 2019. MEASUREMENT OF GNSS INTERFERENCE AT AIRPORT ZILINA, AER, 13/2, pp. 6, <10.26552/aer.C.2019.2.1>.

Kraus, J. et al.; 2020. Jamming of GNSS Receiver on B737 MAX Aircraft and Its Impact on ADS-B Technology, New Trends in Civil Aviation (NTCA), pp. 123–128. <10.23919/NTCA50409.2020.9290995>.

Mašková, K.; 2016. Metody vědecké práce; Výběr metod vědecké práce pro zpracování ZP; Stylizace textu, <https://docplayer.cz/845346-Tematicky-blok-4-metody-vedecke-prace-vyber-metod-vedecke-prace-pro-zpracovani-zp-stylizace-textu.html>.

Mitola, J.; 1993. Software radios: Survey, critical evaluation and future directions, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 8/ 4, pp. 25–36, <10.1109/62.210638>.

Novák, A.; Jůn, F.; Škultéty, F.; Sedláčková, A. N.; 2019. Experiment Demonstrating the Possible Impact of GNSS Interference on Instrument Approach on RWY 06 LZZI, Transportation Research Procedia, 43, pp. 74–83, <10.1016/j.trpro.2019.12.021>.

Sekera, J.; Novák, A.; 2021. The future of data communication in Aviation 4.0 environment. In: Incas Bulletin, vol. 13, no. 3, doi:10.13111/2066-8201.2021.13.3.14.



VPLYV PANDÉMIE NA KVALITU SLUŽIEB POSKYTOVANÝCH NA LETISKU

THE IMPACT OF PANDEMIC ON AIRPORT SERVICE QUALITY

Kristína Kováčiková

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
kristina.kovacikova@stud.uniza.sk

Martin Baláž

Katedra spojov
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
martin.balaz@stud.uniza.sk

Martina Kováčiková

Katedra spojov
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
martina.kovacikova@fpedas.uniza.sk

Juraj Vaculík

Katedra spojov
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
juraj.vaculik@fpedas.uniza.sk

Abstract

To keep pace with the rapid evolution of airports, it is essential to integrate multiple systems and smart solutions within the airport. However, the integration of such technology requires significant time, patience, and financial investment. The focus of this paper is on the quality of airport services in the aftermath of the pandemic. The pandemic has provided an opportunity for many airports to adopt smart technologies and solutions, which promote safety and provide passengers with a seamless, contactless experience. The objective of this study is to evaluate the current state of airport services following the pandemic by conducting primary research among airport passengers.

Keywords

Transport, pandemic, safe mobility, airport

1. Úvod

Letecká doprava zaznamenáva v poslednom období výrazný rast a rozvoj, najmä v oblasti letísk, nielen leteckých spoločností. Celkové výdavky sektora neustále rastú v súlade s ekonomickým pokrokom jednotlivých krajín. Cestovanie sa stalo štandardnou praxou, čo viedlo k prudkému nárastu počtu cestujúcich, ktorý dosiahol bezprecedentnú úroveň. Tento rýchly rast vyvolal tlak na letiská, aby zlepšili kvalitu služieb, ktoré ponúkajú, čo si vyžiadalo integráciu rôznych systémov a inteligentných riešení v rámci letísk (Kováčiková et al., 2022). Implementácia nových technológií a riešení však nie je vždy jednoduchá, pretože si vyžaduje čas, trpezlivosť a samozrejme finančné prostriedky (Remencová & Sedláčková, 2021). Preto môže byť prijímanie nových technológií a riešení vnímané ako finančne náročné (Sekera & Novák, 2021). Na druhej strane letiská, ktoré implementujú tieto technológie a riešenia, môžu získať konkurenčnú výhodu a generovať zisky (Materna et al., 2020). Kvalita služieb je kľúčovým aspektom riadenia letiska a názory cestujúcich zohrávajú kľúčovú úlohu pri zvyšovaní kvality služieb. Pred pandémiou sa letiskám v tejto oblasti vo všeobecnosti darilo, pričom niektoré dosahovali príkladnú úroveň kvality služieb (Usman, 2022). Po vypuknutí pandémie COVID-19 sa však situácia v roku 2019 zmenila. Napriek tomu, že letiská majú pokročilé inteligentné technológie, neboli dostatočne pripravené na to, aby minimalizovali možnosť šírenia vírusu (Halpern et al., 2021). Ochrana zdravia cestujúcich sa

stala najvyššou prioritou, čo podnietilo hľadanie nových riešení, ktoré by umožnili pokračovať v leteckej doprave s minimálnymi obmedzeniami (Galieriková et al., 2021). Bezkontaktné technológie sa v tomto období ukázali ako veľmi dôležité. V súčasnosti hodnotenie kvality služieb zahŕňa zváženie viacerých rozmerov spokojnosti cestujúcich (Prasetyo et al., 2022).

Kvalita letiskových služieb je veľmi dôležitá z pohľadu celkovej stratégie letiska. Pre hodnotenie kvality jednotlivých služieb je najdôležitejšia identifikácia a výber jednotlivých atribútov, ktoré reprezentujú úroveň kvality (Shu-Ping et al., 2009). Dostupná literatúra uvádza, že hodnotenie kvality služieb je skutočne komplikované, pretože existujú rôzne dimenzie kvality letiskových služieb (Fodness & Murray, 2007). Tento názor zdieľa aj organizácia ACI Europe, ktorá sa zaoberá kvalitou letiskových služieb v Európe. ACI Europe sa snaží kvalitu letiskových služieb merať pomocou rôznych nástrojov a zlepšovať spokojnosť cestujúcich, výkonnosť letiska a kvalitu letiskových služieb. Medzi najznámejšie nástroje na meranie kvality letiskových služieb patrí predovšetkým: hodnotenie kvality letiskových služieb cestujúcimi, porovnanie letiska s inými letiskami vo svete, výber najdôležitejších aspektov kvality služieb pre konkrétne letisko a zmena spokojnosti a priorit cestujúcich v priebehu času (ACI Europe, 2021). Vďaka rozsiahlemu zberu dát a svojej špecifickej metodike môže toto hodnotenie manažérom pomôcť pri výbere správneho manažmentu a stratégie. Na základe získaných výsledkov sú každoročne oceňované najlepšie letiská podľa spokojnosti

zákazníkov. Posledné dva roky bol dotazník doplnený o otázky zamerané na hygienu a čistotu na letiskách. Zámerom bolo získať reakcie cestujúcich na nové opatrenia na ochranu zdravia. Najlepšie letiská s dobrou úrovňou hygieny boli španielske letiská vrátane letiska Alicante, Menorca, Pamplona, Murcia a ďalších. V Tabuľke 1 sú uvedené ukazovatele na hodnotenie kvality letiskových služieb z pohľadu viacerých dimenzií podľa ACI Europe.

Tabuľka 1: Hodnotenie kvality letiskových služieb. Zdroj: ACI Europe, 2021

| Oblasť | Indikátory |
|-----------------------|---|
| Prístup | Pozemná doprava na/z letiska |
| | Dostupnosť parkovacích miest |
| | Hodnota za peniaze parkovacích miest |
| | Dostupnosť vozíkov na batožinu |
| Odbavenie | Čakacia doba pri odbavení |
| | Efektívnosť odbavovacieho personálu |
| | Slušnosť a ústretovosť odbavovacieho personálu |
| Pasová kontrola | Čakacia doba pri pasovej kontrole |
| | Slušnosť a ústretovosť personálu pri pasovej kontrole |
| Bezpečnosť | Slušnosť a ústretovosť bezpečnostného personálu |
| | Dôslednosť bezpečnostnej kontroly |
| | Čakacia doba pri bezpečnostnej kontrole |
| | Pocit bezpečia a istoty |
| Orientácia na letisku | Ľahká orientácia na letisku |
| | Obrazovky s informáciami o letoch |
| | Pešia vzdialenosť v termináli |
| | Jednoduchosť prestupov |
| Vybavenie letiska | Slušnosť a ústretovosť letiskového personálu |
| | Reštaurácie a stravovacie zariadenia |
| | Hodnota za peniaze reštaurácií a stravovacích zariadení |
| | Dostupnosť bank/bankomatov/zmenární |
| | Nákupné možnosti |
| | Hodnota za peniaze nákupných možností |
| | Prístup k internetu/Wi-Fi |
| | Biznis salóniky |
| | Dostupnosť toaliet |
| | Čistota toaliet |
| | Komfort predodletových čakární |
| Prostredie letiska | Čistota letiskového terminálu |
| | Atmosféra na letisku |
| Príletové služby | Kontrola pasu/občianskeho preukazu |
| | Rýchlosť systému doručovania batožiny |
| | Colná kontrola |

Štúdia z roku 2021 tvrdí, že letisko si môže vybudovať svoj úspešný imidž investovaním do kvality svojich služieb. Investície do kvality služieb môžu pomôcť vybudovať dôveru, spokojnosť zákazníkov, vnímanú hodnotu a imidž. Letisko je úspešné vďaka skúsenosti cestujúceho. Garancia kvality služieb priamo a nepriamo ovplyvňuje imidž letiska (Mainardes et al., 2021).

Téma kvality letiskových služieb je medzi výskumníkmi veľmi populárna, keďže výskumy odhalili mnohé nedostatky a medzery (Valdes et al., 2021). Faktom však zostáva, že letiskové služby sa rozvíjajú aj s ohľadom nielen na zlepšenie zákazníckej skúsenosti, ale aj z pohľadu udržateľnosti letiska, čo bolo čiastočne overené počas pandémie. Pandémia svojim spôsobom predstavovala potenciál na zlepšenie kvality služieb. Letiská boli nútené uprednostňovať bezpečnosť, hygienu a zdravie cestujúcich, a tak pandémia urýchlila vývoj a prijatie

nových procesov (Bakir et al., 2022). Nové procesy sa často stretávajú s pozitívnymi aj negatívnymi hodnoteniami od cestujúcich.

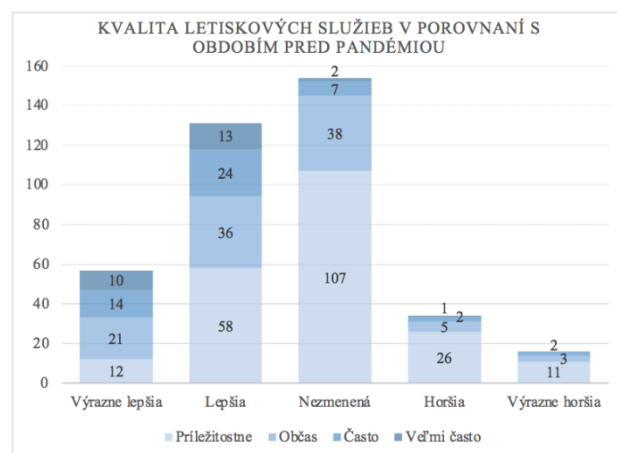
Analýza z roku 2022 ukázala, že vnímanie celkového prostredia letiska a nálady personálu zo strany cestujúcich sa zmenilo po vypuknutí pandémie. Check-in, prostredie letiska a personál sú kľúčové atribúty pre hodnotenie kvality letiskových služieb pred aj po pandémii (Li et al., 2022). Bližší pohľad na skúsenosti cestujúcich z letísk ukázal, že kvalita služieb a pozitívna skúsenosť cestujúcich pomáhajú zvyšovať konkurencieschopnosť letísk (Tuchen et al., 2020).

2. Cieľ a metodika

Cieľom článku je uskutočniť primárny výskum, ktorý je zameraný na získanie spätnej väzby od respondentov o ich skúsenostiach s kvalitou letiskových služieb po pandémii. Na dosiahnutie tohto cieľa boli použité rôzne metódy, ako napríklad indukcia, dedukcia, analýza aktuálneho stavu a štatistická analýza. Primárny výskum bol vykonaný prostredníctvom dotazníka, ktorý bol distribuovaný respondentom prostredníctvom sociálnych sietí. Pre výpočet požadovanej veľkosti vzorky boli použité štatistické metódy, ktoré určili, že na dosiahnutie 95% spoľahlivosti a maximálnej prípustnej chyby 5% je potrebných minimálne 384 odpovedí. Celkový počet získaných odpovedí bol 392, čo znamená, že bolo získaných viac odpovedí, ako bolo minimálne potrebné pre tento výskum, a teda požadovaná minimálna veľkosť vzorky bola naplnená. Každý respondent cestoval cez letisko aspoň jedenkrát pred, počas alebo po pandémii.

3. Výsledky

V tejto časti sú uvedené výsledky primárneho výskumu, vrátane vyhodnotených odpovedí na tri konkrétne otázky, ktoré sú relevantné pre tento článok. Cieľom prvej otázky bolo zhodnotiť pohľady respondentov na zlepšenie kvality letiskových služieb, a to počas aj po pandémii v porovnaní s obdobím pred pandémiou. Odpovede respondentov sú zobrazené na Obrázku 1.



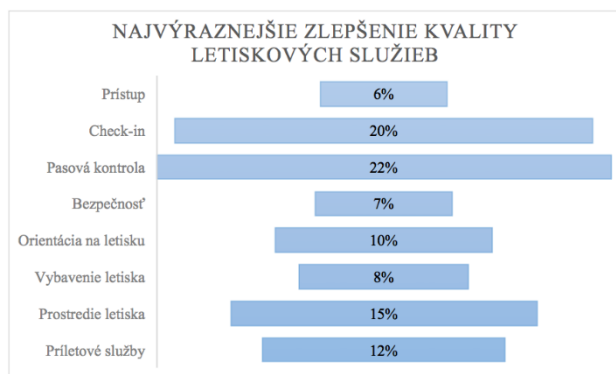
Obrázok 1: Kvalita letiskových služieb. Zdroj: Autori

Z 392 odpovedí väčšina respondentov uviedla, že kvalita letiskových služieb počas a po pandémii je porovnateľná s obdobím pred pandémiou. Toto stanovisko najčastejšie zastávajú tí, ktorí lietajú občas, približne 1-3 krát ročne. Z

celkového počtu respondentov 131 osôb uviedlo, že došlo k zlepšeniu kvality letiskových služieb a ďalších 57 respondentov pociťovalo výrazné zlepšenie kvality letiskových služieb. Časť cestujúci, ktorí lietajú 7-9 krát ročne alebo viac ako 10 krát ročne (často/veľmi často), majú najväčšiu pravdepodobnosť, že si všimnú zmeny v kvalite letiskových služieb.

Pre letiská je kľúčové získať pozitívnu spätnú väzbu od častých cestujúcich, pretože tí vedia najlepšie posúdiť či nastalo zlepšenie v kvalite služieb. Iba menšina respondentov pociťovala, že kvalita letiskových služieb sa počas a po pandémie zhoršila v porovnaní s obdobím pred pandemiou.

Cieľom druhej otázky bolo identifikovať oblasti, kde respondenti vidia najvýraznejšie zlepšenie kvality poskytovaných služieb. Odpovede respondentov sú uvedené na Obrázku 2. Podľa respondentov sú najvýraznejšie zlepšenia v kvalite letiskových služieb pozorované pri pasovej kontrole, odlete, prilete a v letiskovom prostredí. Sú to teda najmä oblasti, kde museli letiská počas pandémie implementovať inteligentné riešenia na minimalizáciu kontaktu medzi cestujúcimi. Tieto riešenia prispeli k zlepšeniu kvality služieb pri zachovaní bezpečnostných opatrení.



Obrázok 2: Najvýraznejšie zlepšenie kvality letiskových služieb. Zdroj: Autori

Cieľom tretej otázky bolo identifikovať tri najdôležitejšie faktory letiskových služieb pre každého účastníka. V Tabuľke 2 sú uvedené percentuálne hodnoty respondentov, ktorí považujú vybrané letiskové služby za jednu z ich troch najdôležitejších volieb.

Tabuľka 2: Faktory ovplyvňujúce kvalitu letiskových služieb. Zdroj: Autori

| Indikátory | Percentuálne zastúpenie |
|---|-------------------------|
| Pozemná doprava na/z letiska | 2,04% |
| Dostupnosť parkovacích miest | 6,63% |
| Hodnota za peniaze parkovacích miest | 4,59% |
| Dostupnosť vozíkov na batožinu | 0,26% |
| Čakacia doba pri odbavení | 13,78% |
| Efektívnosť odbavovacieho personálu | 1,02% |
| Slušnosť a ústretovosť odbavovacieho personálu | 0,77% |
| Čakacia doba pri pasovej kontrole | 51,28% |
| Slušnosť a ústretovosť personálu pri pasovej kontrole | 2,04% |
| Slušnosť a ústretovosť bezpečnostného personálu | 1,79% |
| Dôslednosť bezpečnostnej kontroly | 1,28% |
| Čakacia doba pri bezpečnostnej kontrole | 46,94% |

| | |
|---|--------|
| Pocit bezpečia a istoty | 11,73% |
| Ľahká orientácia na letisku | 3,83% |
| Obrazovky s informáciami o letoch | 3,57% |
| Pešia vzdialenosť v termináli | 0,51% |
| Jednoduchosť prestupov | 31,38% |
| Slušnosť a ústretovosť letiskového personálu | 0,51% |
| Reštaurácie a stravovacie zariadenia | 0,77% |
| Hodnota za peniaze reštaurácií a stravovacích zariadení | 1,53% |
| Dostupnosť bánk/bankomatov/zmenární | 1,53% |
| Nákupné možnosti | 1,02% |
| Hodnota za peniaze nákupných možností | 1,02% |
| Prístup k internetu/Wi-Fi | 19,13% |
| Biznis salóniky | 0,51% |
| Dostupnosť toaliet | 2,30% |
| Čistota toaliet | 9,44% |
| Komfort predodletových čakární | 18,11% |
| Čistota letiskového terminálu | 17,35% |
| Atmosféra na letisku | 0,77% |
| Kontrola pasu/občianskeho preukazu | 16,33% |
| Rýchlosť systému doručovania batožiny | 24,23% |
| Colná kontrola | 2,04% |

Respondenti mali možnosť vybrať tri aspekty letiskových služieb, ktoré považovali za najvýznamnejšie ukazovatele kvality, ich odpovede sa nachádzajú v Tabuľke 2. Najčastejšie vybrané ukazovatele boli čakacia doba pri pasovej kontrole, čakacia doba pri bezpečnostnej kontrole a jednoduchosť prestupov. Okrem toho respondenti zdôrazňovali aj dôležitosť rýchlosti systému doručovania batožiny, prístupu k internetu/Wi-Fi, čakacej doby pri odbavení, komfortu predodletových čakární a čistoty letiskového terminálu ako kľúčové faktory ovplyvňujúce kvalitu letiskových služieb.

4. Záver

Pandémia otvorila mnohým letiskám možnosti implementácie inteligentných technológií a riešení, ktoré zlepšujú bezpečnosť a poskytujú plynulý a bezkontaktný zážitok pre cestujúcich. Kvalita letiskových služieb je dôležitá pre stratégiu letiska a jej hodnotenie je zložité vzhľadom na rôzne dimenzie kvality služieb. ACI Europe používa rôzne nástroje na meranie a zlepšovanie spokojnosti cestujúcich, výkonnosti letiska a kvality služieb. Niekoľko štúdií zistilo, že spokojnosť alebo nespokojnosť cestujúcich sa líši v závislosti od národnosti, frekvencie cestovania a typu cestujúceho. Nástroj SERQUAL je často používaná metóda hodnotenia kvality služieb.

Úroveň kvality služieb možno hodnotiť rozdielne na veľkých a malých letiskách a očakávanie cestujúcich sú stále vyššie bez ohľadu na veľkosť letiska. Dôležitú úlohu pri hodnotení kvality zohráva aj letiskový personál. Len málo letísk kontroluje kvalitu svojich služieb, čo môže mať vplyv na ich zisky a imidž. Investovanie do kvality služieb môže vybudovať dôveru, spokojnosť zákazníkov, vnímanú hodnotu a imidž letiska, čo môže prispieť k jeho úspechu.

V článku bol vykonaný primárny výskum s cieľom zistiť od respondentov ich skúsenosti s kvalitou letiskových služieb po pandémie. Bolo získaných 392 odpovedí od respondentov, ktorí cestovali letiskom aspoň raz pred pandemiou, aspoň raz počas nej a aspoň raz po nej. Väčšina respondentov uviedla, že kvalita letiskových služieb počas a po pandémie je porovnateľná s obdobím pred pandemiou. Respondenti označili pasovú kontrolu, check-in, prostredie letiska a priletové služby za oblasti, kde sa pozorujú najvýraznejšie zlepšenia kvality

letiskových služieb. Za najvýznamnejšie ukazovatele kvality označili respondenti čakaciu dobu pri pasovej kontrole, čakaciu dobu pri bezpečnostnej kontrole a jednoduchosť prestupov. Na základe výsledkov výskumu uvedeného v tomto článku by sa budúci výskum mohol zamerať na tieto oblasti:

- Preskúmanie vplyvu konkrétnych inteligentných riešení implementovaných počas pandémie na zlepšenie kvality letiskových služieb, ako sú bezkontaktná registrácia, samoobslužné odovzdávanie batožiny a biometrická pasová kontrola.
- Skúmanie vzťahu medzi kvalitou letiskových služieb a spokojnosťou a lojalitou zákazníkov, ako aj potenciálny vplyv kvality služieb na výnosy a ziskovosť letiska.
- Preskúmanie vplyvu rôznych faktorov na vnímanie kvality letiskových služieb, ako je veľkosť letiska, poloha a aliancia leteckých spoločností, ako aj demografické faktory, ako je vek, pohlavie a frekvencia cestovania.
- Porovnanie kvality služieb na rôznych letiskách a identifikácia najlepších postupov a oblastí na zlepšenie v rámci odvetvia.
- Skúmanie vplyvu nových technológií, ako napríklad umelej inteligencie a internetu vecí, na budúcnosť kvality letiskových služieb a cestovateľských skúseností.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Identifikácia a možnosti implementácie nových technologických opatrení v doprave pre dosiahnutie bezpečnej mobility v čase pandémie spôsobenej ochorením COVID-19 (kód ITMS: 313011AUX5), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- ACI Europe; 2021. Europe's best airports for customer experience revealed. <<https://rb.gy/ayduc>>.
- Bakir, M.; Özdemir, E.; Akan, S.; Atalik, O.; 2022. A bibliometric analysis of airport service quality. In: *Journal of Air Transport Management*, vol. 104, <<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102273>>.
- Fodness, D.; Murray, B.; 2007. Passengers' expectations of airport service quality. In: *Journal of Services Marketing*, vol. 21, pp. 492-506, <<https://doi.org/10.1108/08876040710824852>>.
- Galieriková, A.; Dávid, A.; Materna, M.; Mako, P.; 2021. Study of maritime accidents with hazardous substances involved: Comparison of HNS and oil behaviours in maritime environment. In: *Transportation Research Procedia*, vol. 55, pp. 1050-1064, <<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.182>>.
- Halpern, N.; Budd, T.; Suau-Sanchez, P.; Brathen, S.; Mwesumio, D.; 2021. Conceptualising airport digital maturity and dimensions of technological and organizational transformation. In: *Journal of Airport Management*, vol. 15, no. 2, pp. 182-203, ISSN 1750-1946.
- Kováčiková, K.; Remencová, T.; Sedláčková, A. N.; Novák, A.; 2022. The impact of Covid-19 on the digital transformation of the airports. In: *Transportation Research Procedia*, vol. 64, pp. 84-89, <<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.09.011>>.
- Li, L.; Mao, Y.; Wang, Y.; Ma, Z.; 2022. How has airport service quality changed in the context of COVID-19: A data-driven crowdsourcing approach based on sentiment analysis. *Journal of Air Transport Management*, vol. 105, <<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102298>>.
- Mainardes, E. W.; de Melo, R. F. S.; Moreira N. C.; 2021. Effects of airport service quality on the corporate image of airports. In: *Research in Transportation Business & Management*, vol. 41, <<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100668>>.
- Materna, M.; Novak, A.; Sedlackova, A. N.; 2020. Economic impact and current position of Zilina airport within its catchment area. In: *Transport Means*, pp. 193-197, <<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85100148677&origin=resultslist&sort=cp-f>>.
- Prasetyo, Y. T.; Fuente, D. G. D. D.; Chuenyindee, T.; Nadlifatin, R.; Persada, S. F.; 2022. The Impact of COVID-19 Pandemic on Airport: An Empirical Study of Service Quality, Customer Satisfaction, and Travel Intention for Sustainable Airport Operations. In: *2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management IEEM*, pp. 1005-1009,
- Remencová, T.; Sedláčková, A. N.; 2021. Modernization of digital technologies at regional airports and its potential impact on the cost reduction. In: *Transportation Research Procedia*, vol. 55, pp. 18-25, <<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.06.003>>.
- Sekera, J.; Novák, A.; 2021. The future of data communication in Aviation 4.0 environment. In: *Incas Bulletin*, vol. 13, no. 3, doi:10.13111/2066-8201.2021.13.3.14.
- Shu-Ping, L.; Ya-Hui, C.; Ming-Chun, T.; 2009. A transformation function corresponding to IPA and gap analysis. In: *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 20, pp. 829-846, <<https://doi.org/10.1080/14783360903128272>>.
- Tuchen, S.; Arora, M.; Blessing, L.; 2020. Airport user experience unpacked: Conceptualizing its potential in the face of COVID-19. In: *Journal of air transport management*, vol. 89, <<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101919>>.
- Usman, A.; Azis Y.; Harsanto, B.; Azis, A. M.; 2022. Airport service quality dimension and measurement: a systematic literature review and future research agenda. In: *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 39, no. 10, pp. 2302-2322, <<https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0198k>>.
- Valdes, R. A.; Comendador, V. F. G.; Sanz, A. R.; Castan, J. P.; 2018. Aviation 4.0: More Safety through Automation and Digitization. In: *IntechOpen*, doi: 10.5772/intechopen.73688.



IDENTIFIKÁCIA MOŽNOSTÍ VYUŽÍVANIA ALTERNATÍVNYCH PALÍV V LETECTVE

IDENTIFICATION OF OPPORTUNITIES FOR THE USE OF ALTERNATIVE FUELS IN AVIATION

Paulína Lehocká

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
lehocka4@stud.uniza.sk

Ján Rostáš

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
jan.rostas@fpedas.uniza.sk

Abstract

The article focuses on the possibilities of using alternative fuels in the field of air transport with the aim to show the process of production and use of various alternative fuels from both economic and ecological point of view. One of the main themes of my work is the comparison of different types of alternative fuels according to different criteria. In the technical paper, I have also discussed the projects already existing or planned in the future by leading aircraft manufacturers, which aim to implement alternative fuels in the aviation sector. The aim of the paper is to analyze and evaluate the prospect of the full use of these concepts and the fuels used by them in the future in terms of economic use of resources, sustainability, but also efficiency, and their subsequent comparison and inclusion in practice.

Keywords

Sustainability, hydrogen, biofuel, emission, solar power

1. Úvod

Obsahom článku je preskúmať možnosti využitia leteckých palív, ktoré majú potenciál znížiť uhlíkovú stopu a zároveň spĺňajú požiadavky na bezpečnosť a kvalitu palív. Účelom článku nie je len identifikácia možných alternatívnych palív, ktoré sú v budúcnosti využiteľné, ale aj ich vzájomná komparácia. V článku sú zanalyzované už existujúce koncepty, ktoré sa zameriavajú na implementáciu alternatívnych palív do sektoru leteckej dopravy. Cieľom článku je prostredníctvom súčasného stavu problematiky identifikovať potenciál alternatívnych palív ako efektívne riešenie problému klimatických zmien.

2. Súčasný stav riešenej problematiky

V letectve možno uvažovať o viacerých alternatívnych palivách. Na základe časového obdobia, ktoré je potrebné na úplné začlenenie paliva do praxe ich identifikujeme ako krátkodobé a dlhodobé palivá. Krátkodobé palivá, akými sú biopalivá, predstavujú úplne zameniteľnú náhradu fosílnych palív. Naopak, dlhodobé palivá ako vodík alebo solárna energia si vyžadujú rozsiahly a časovo náročnejší proces prispôsobenia technológií k danému typu paliva (NESTE, 2023).

2.1. Biopalivá

Biopalivo je identifikované ako tuhé, kvapalné alebo plynné palivo získané zo živého alebo neživého biologického materiálu. V oblasti leteckej dopravy sú biopalivá produkované prevažne z rastlinných olejov, zvyškov z poľnohospodárstva, ale aj nejedlej biomasy. Práve tento typ biologického odpadu je pre výrobu paliva veľmi významný. Pri produkcii sa využívajú riasy alebo nepotravinárske rastliny ako jatrofa alebo kamélia, ktoré

nekonkurujú poľnohospodárskemu priemyslu. Biopalivá je zatiaľ možné využívať len po zmiešaní s konvenčnými palivami. Percentuálny podiel zložky biopaliva v zmesi sa pohybuje od 10 do 50% a to v závislosti od druhu paliva (Demirbas, 2009). V súčasnosti je certifikovaných päť rôznych biopalív, ktorými sú:

- HEFA – vyrába sa hydroprocesovaním rastlinných olejov a živočíšnych tukov. Podľa normy sa môže miešať s konvenčným leteckým palivom až do pomeru 50%. Jeho výhodou je výrazný pokles produkcie škodlivých látok pri spaľovaní paliva (Sidibe et al., 2010).
- FISCHER TROPSCH – vyrába sa z fosílnych zdrojov alebo biomasy. Pre zachovanie udržateľnosti je výhodná výroba z ligocelulóзовého materiálu, ako sú drevené zvyšky z lesného hospodárstva alebo drevospracujúceho priemyslu. Táto alternatíva sa môže používať len v zmesiach do 50%. Má veľký potenciál na to, aby bolo v budúcnosti certifikované na 100% náhradu fosílného paliva (Zschocke et al., 2012).
- FARNEZÁN – výrobnou surovinou tohto paliva je cukor. Fernezán je schválený na miešanie s konvenčným palivom až do 10% (Neuling & Kaltschmitt, 2015).
- ALKOHOL-TO-JET – vyrába sa z alkoholu, ktorý môže byť produkovaný konvenčnými procesmi alebo fermentáciou plodín na to vhodných. Použitie tohto paliva je výhodné hlavne z dôvodu širokého spektra zdrojov. Palivo bolo certifikované na maximálny povolený podiel 50% v zmesi s fosílnym palivom (Neuling & Kaltschmitt, 2015).

2.2. Vodíkový pohon

Vodík ako palivo pre prúdové lietadlá poskytuje v porovnaní s leteckým petrolejom mnohé výhody. Vodík má tiež potenciál znížiť hlukové zaťaženie a rovnako znížiť emisie skleníkových plynov v leteckom sektore. Vodík sa dá získať z viacerých surovín vrátane fosílnych palív ale aj obnoviteľných zdrojov. V súčasnosti sa z fosílnych palív vyrobí približne 90% celosvetovej zásoby vodíka (Baharozu et al., 2017). Existuje niekoľko spôsobov, ktoré sa zameriavajú na výrobu vodíka, či už z fosílnych palív alebo ekologickou formou:

- Parné reformovanie zemného plynu - pri tomto procese sa zemný plyn a vodná para transformujú na oxid uhoľnatý a vodík. Oxid uhoľnatý vzniká ako vedľajší produkt, ktorý sa dá ďalej transformovať na oxid uhličitý a vodík. Veľkým nedostatkom tejto výrobnéj metódy je práve produkcia oxidu uhličitého. Z tohto dôvodu vznikla myšlienka sekvestrácie CO₂, ktorá predstavuje zachytávanie a ukladanie obrovských množstiev CO₂ v dlhodobो aktívnych rezervároch, akými sú moria a oceány, vyčerpané vrty zemného plynu a ropy alebo geologické útvary. Cieľom je spomaliť zvyšovanie obsahu CO₂ v atmosfére jeho uskladnením na desiatky až stovky rokov (Arat, 2018).
- Splyňovanie uhlia - proces premeny akejkoľvek suroviny na báze uhlíka na syntézny plyn pomocou vzduchu, pary alebo kyslíka. Tento spôsob sa považuje za najmenej ekologický, pretože pri ňom vzniká veľké množstvo oxidu uhličitého. Využívanie výrobného procesu tohoto typu podnietil fakt, že uhlie je fosílny zdroj s najväčšími celosvetovými zásobami (Riis et al., 2006).
- Elektrolýza vody - využitie vody je jednou z najekologickejších foriem výroby vodíka. Elektrolýza vody je proces, pri ktorom sa voda štiepi na vodík a kyslík použitím elektrickej energie. Základným prvkom elektrolytického systému výroby vodíka je elektrolytický článok. Vodík a kyslík získaný týmto procesom sa chladí, čistí, stláča a až následne skladuje. Aby bola elektrolýza skutočne ekologickým zdrojom vodíka, elektrická energia využitá v tomto procese musí byť vyrobená z obnoviteľných zdrojov. To znamená, že pri výrobe takejto elektrickej energie by mali byť produkované nulové alebo nízke emisie. Existuje niekoľko typov elektrolýzy, pomocou ktorej je možné extrahovať vodík z vody. Ide o alkalickú elektrolýzu, PEM elektrolýzu a parnú elektrolýzu (Arat, 2018).
- Štiepenie vody - vodík možno z vody vyrábať aj pomocou jej štiepenia na vodík a kyslík. Tento proces prebieha vďaka využitiu tepla zo slnečnej energie alebo odpadového tepla reakcií jadrovej energie. Táto forma výroby vodíka je výhodná najmä vďaka tomu, že jedinou spotrebovanou látkou v tomto cykle je voda ako zdroj vodíka (Funk, 2001).
- Splyňovanie biomasy - tento proces zahŕňa získavanie vodíka z organických materiálov pri využití tepla, pary a kyslíka bez spaľovania. Hoci je biologická konverzia energeticky nenáročná a považuje sa za najekologickejšiu formu produkcie vodíka, je veľmi citlivá na ideálne podmienky reakcie ako je teplo a svetlo. Rovnako aj množstvo vodíka vyprodukovaného touto metódou je značne nižšie v porovnaní s ostatnými procesmi výroby (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy a), 2022).

2.2.1. Vodíkové spektrum

Na základe spôsobu výroby vodíka bolo zhotovené vodíkové spektrum, ktoré rozdeľuje vodík podľa ekologickej záťaže vznikajúcej pri jednotlivých procesoch výroby. Podľa priradenia farebného kódu poznáme zelený, modrý, šedý, hnedý, ale aj ružový vodík. Tieto názvy používané v energetickom priemysle však nepredstavujú univerzálne názvoslovie a definície sa môžu postupom času meniť (National Grid, 2023).

- Zelený vodík je vyrábaný elektrolýzou vody, ktorá musí prebiehať za prítomnosti elektrickej energie vyprodukovanej z obnoviteľných zdrojov, ako je veterná alebo solárna energia. Ak sú pri výrobe dodržané dané podmienky, pri tomto procese nevznikajú žiadne emisie oxidu uhličitého (National Grid, 2023).
- Modrý vodík sa vyrába predovšetkým parným reformovaním zemného plynu. Pri tejto forme výroby vzniká okrem vodíka aj oxid uhličitý ako vedľajší produkt. Myšlienkou modrého vodíka je zachytávanie a ukladanie tzv. sekvestrácia skleníkových plynov (National Grid, 2023).
- Sivý vodík sa rovnako vyrába parným reformovaním zemného plynu, avšak bez uplatnenia sekvestrácie skleníkových plynov, ktoré pri precese výroby vznikajú. V súčasnosti je to najbežnejšia forma výroby vodíka (National Grid, 2023).
- Hnedý/čierny vodík je absolútnym opakom zeleného vodíka. Pri jeho výrobe sa využíva čierne a hnedé uhlie, pričom sa do atmosféry uvoľňuje veľké množstvo oxidu uhoľnatého, čo vo veľkej miere prispieva k zvyšovaniu uhlíkovej stopy produkovanej leteckou dopravou (National Grid, 2023).
- Ružový vodík sa vyrába elektrolýzou vody, na ktorú sa využíva jadrová energia. V inom prípade by sa dali na výrobu vodíka využiť aj vysoké teploty jadrových reaktorov a to v podobe odberu pary ďalej využitej na účinnejšiu elektrolýzu (National Grid, 2023).

2.2.2. Vodíkový palivový článok

Vodík sa okrem priameho spaľovania v letectve využíva aj ako palivo pre palivový článok. Palivový článok je zariadenie podobné neustále sa dobíjajúcej batérii a vyrába elektrickú energiu reakciou vodíka a kyslíka zo vzduchu. Vodíkové palivové články sú veľmi výhodnou alternatívou pohonu, pretože dokážu vyrábať elektrickú energiu nepretržite. V rôznych typoch palivových článkov sa môže používať akékoľvek palivo bohaté na vodík. Palivové články poháňané vodíkom emitujú len vodu a neprodukujú prakticky žiadne emisie znečisťujúcich látok (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy b) 2022).

Vodíkové palivové články majú potenciál nahradiť elektrické batérie v hybridných alebo plne elektrických malých lietadlách. Predtým, ako budú tieto systémy komerčne dostupné, je však potrebné prekonať mnohé technologické výzvy. Vodíkové palivové články budú pravdepodobne obmedzené na aplikácie v kratších letoch. Vzhľadom na objemové obmedzenia spojené so skladovaním vodíka zostanú pre dlhý dolet najpravdepodobnejším riešením plynové turbíny s udržateľným leteckým palivom (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy b) 2022).

2.2.3. Skladovanie vodíka

Napriek potenciálnym výhodám využívania vodíka ako paliva v leteckom priemysle, veľkou nevýhodou je jeho nízka hustota pri štandardnej teplote a tlaku. Tieto vlastnosti so sebou prinášajú problémy so skladovaním. Vzhľadom na hmotnostné a objemové obmedzenia lietadla je v leteckom priemysle náročné vodík efektívne skladovať. Vodík sa môže skladovať ako plyn pod tlakom, kvapalina alebo v pevnom stave v kombinácii s inými prvkami.

Skladovanie vodíka v plynnom stave je najjednoduchšie a najefektívnejšie riešenie. Aby sa zvýšila hustota vodíka, plynný vodík sa stláča a skladuje pri vhodnom tlaku. Na skladovanie plynného vodíka sa používajú kovové nádrže. V súčasnosti sa na skladovanie vodíka čoraz častejšie používajú nádrže vyrobené z kompozitných materiálov. Takéto nádrže majú nízku hmotnosť, dobre odolávajú vysokým tlakom, a preto sú veľmi atraktívne pre letecký priemysel (Riis et al., 2006).

Ďalším riešením skladovania vodíka v letectve je jeho uchovávanie v kryogénnych nádržiach v kvapalnom skupenstve. Vodík sa najprv musí skvapalniť pri veľmi nízkej teplote. Kryogénna nádrž využíva izolačnú techniku, ktorá udržiava vodík v kvapalnom skupenstve. Materiály, ktoré možno použiť na konštrukciu steny kryogénnej nádrže, by mali mať vysokú pevnosť, vysokú lomovú húževnatosť, nízku hustotu a nízku priepustnosť pre kvapalný aj plynný vodík. Skvapalnený vodík sa ťažko skladuje na dlhé obdobie, pretože až 3 % vodíka sa denne stráca v dôsledku odparovania spôsobeného vplyvom tepla získaného z okolia. Vysoká hustota skvapalneného vodíka je kľúčovou vlastnosťou, ktorá umožňuje použitie tejto techniky skladovania pre rôzne letecké aplikácie (Verstraete, 2010).

Poslednou metódou skladovania vodíka je jeho chemické skladovanie v pevnom stave ako v hydridoch kovov alebo v chemických hydridoch. Pri tejto technike sa vodík najprv reverzibilne absorbuje pevnými zlúčeninami, ako sú Li, Na, Mg, Ti, za určitých teplotných a tlakových podmienok a potom sa môže v prípade potreby uvoľniť zvýšením teploty alebo znížením prevádzkového tlaku. Hlavnou nevýhodou chemického hydridu je potreba premeny vedľajších produktov chemickej reakcie mimo paluby na vhodnom mieste (Verstraete, 2010).

2.2.4. Zmena konštrukcie lietadla pri použití vodíkoveho pohonu

Vzhľadom na obrovské požiadavky na objem vodíkových palivových nádrží je potrebné upraviť konštrukciu lietadla s väčším objemom a ťažším trupom, ktorý je najlepším miestom na umiestnenie palivových nádrží na skvapalnený vodík. Konfigurácia vodíkových nádrží má významný vplyv na energetickú účinnosť lietadla na vodíkový pohon. Keďže krídla v lietadle na vodíkový pohon sa už nepoužívajú na uskladnenie paliva, krídla by mohli byť navrhnuté tak, aby boli menšie z hľadiska plochy a rozpätia. Hmotnosť krídel by sa však pri použití vodíka mala zvýšiť, aby sa zvýšila ich štruktúrna integrita proti ohybu a vibráciám generovaným aerodynamickými silami (de Klerk, 2008).

2.2.5. Zvýšenie efektivity výroby a distribúcie vodíka

Splnenie ekonomických a environmentálnych požiadaviek na prijatie vodíka pre letecký sektor si vyžaduje, aby sa väčšina vodíka vyrábala z čistého zdroja energie bez potreby budovania

dlhej siete potrubí na jeho prenos z miest výroby do centier spotreby. To sa dá dosiahnuť výrobou vodíka v lokalitách v blízkosti letísk s využitím obnoviteľných zdrojov energie ako je veterná, geotermálna, slnečná a oceánska energia. Vysoko efektívny spôsob výroby vodíka v lokalitách v blízkosti morí a oceánov je využitie oceánskej energie. Oceánska energia zahŕňa zužitkovanie vln, vetra a prílivového prúdu na výrobu elektrickej energie, ktorá sa potom môže použiť v elektrolyzéroch na výrobu vodíka z morskej vody. Letiská nachádzajúce sa v blízkosti pobrežnej oblasti by mohli využívať energiu vln a vetra, zatiaľ čo letiská vo vnútrozemí by sa pri výrobe vodíka mohli viac spoliehať na slnečnú energiu a bioenergiu. Obnoviteľné zdroje energie (napr. vietor, príliv a odliv, biomasa) by mohli zabezpečiť výrobu množstva vodíka postačujúceho na pokrytie lokálneho odberu, ale nedokážu pokryť dopyt po obrovských objemoch vodíka, ktoré by boli celosvetovo potrebné. Okrem toho lokálne vyrábaný vodík poskytuje veľké hospodárske výhody, výhody energetickej bezpečnosti a výhody infraštruktúry (Andrews & Shabani, 2012).

2.3. Solárny pohon

Základným princípom solárneho pohonu lietadiel sú solárne články. Keď sú články vystavené slnečnému žiareniu, dochádza v nich k premene slnečného žiarenia na elektrickú energiu. Množstvo vyrobenej energie priamoúmerne závisí od meteorologických faktorov, ako je množstvo oblačnosti, ale aj od sklonu článkov vzhľadom na slnko, dňa v roku a dennej doby. Získaná energia sa využíva nielen na pohon, ale aj na napájanie palubnej elektroniky. Prebytočná energia sa potom využíva na nabíjanie batérie, ktorá slúži ako zásobáreň energie v prípade nepriaznivých podmienok na produkciu elektrickej energie fotovoltickými článkami. Keď nie je k dispozícii žiadna alebo len malé množstvo solárnej energie, jej zdrojom sa stáva práve batéria (Abbe & Smith, 2016).

2.3.1. Fotovoltické články

Fotovoltická technológia je všeobecne známa ako metóda výroby elektrickej energie pomocou solárnych panelov zložených z viacerých solárnych článkov, ktoré premieňajú energiu zo slnka na tok elektrónov. Fotovoltické články obsahujú fotovoltický materiál, ktorý vyrába zo slnečného svetla jednosmerný prúd. Princíp činnosti fotovoltických článkov spočíva v dopade fotónu svetla príslušnej vlnovej dĺžky na článok, pričom je vďaka fotoelektrickému javu vygenerovaný ľubovoľný elektrón-dierový pár separovaný vnútorným elektrickým poľom pn-priechodu a jeho pohybom k elektródam sa vytvára elektrický prúd (Xisn-Zhong et al., 2023).

V súčasnosti sa používajú tri druhy anorganických fotovoltických článkov: tenkovrstvové, jednoprechodové a viacprechodové. Princíp výroby energie v jednotlivých druhoch fotovoltických článkov je teoreticky rovnaký, líšia sa iba princípom výroby a materiálom. Medzi materiály, ktoré sa v súčasnosti používajú na fotovoltiku, patria monokryštalický kremík, polykryštalický kremík, amorfný kremík, telurid kadmia a selenid alebo sulfid medi a gália. Pri aplikáciách solárnych lietadiel sú dôležité náklady aj životnosť modulov solárnych článkov. Aj keď jednoprechodové a viacprechodové solárne články majú najvyšší výkon, ich použitie v lietadlách poháňaných slnečnou energiou má nevýhody. Na druhej strane sú najsľubnejšie tenkovrstvové solárne články. Majú potenciál byť použité ako

aerodynamický povrch lietadla a prispôbiť sa jeho krivkám (Abbe & Smith, 2016).

Väčšina organických fotovoltaických článkov sú polymérové solárne články. Majú veľmi dobrú schopnosť absorpcie svetla čo znamená, že dokážu absorbovať veľké množstvo svetla malým množstvom materiálu. Organické materiály sú kompatibilné s plastovými a inými flexibilnými materiálmi, a preto sa zariadenia môžu vyrábať pomocou lacných, vysoko výkonných tlačových techník, ktoré spotrebujú menej energie a vyžadujú si menšie kapitálové investície ako fotovoltaické články na báze kremíka (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy a, 2022).

2.3.2. Batéria

Batéria je zariadenie, ktoré ukladá chemickú energiu a premieňa ju na elektrickú. Batérie sa klasifikujú buď ako primárny, alebo sekundárny typ na základe ich elektrochemie. Primárnu batériu po jej úplnom vybití nie je možné znovu nabiť. Sekundárna batéria je dobíjateľná a poskytuje energiu počas noci, keď nie je k dispozícii primárny zdroj energie. V solárnych lietadlách patria medzi hlavné typy sekundárnych batérií nikel-kadmiové (NiCd), nikel-zinkové (NiZn), lítium-iónové (Li), nikel-metal-hydridové (NiMH) a sodno-sírové (NaS). Pohonná sústava lietadla poháňaného slnečnou energiou je nakonfigurovaná tak, aby optimálne fungovala aj pri absencii slnečného žiarenia, a spolieha sa tak na akumulovanú energiu. Pre lietadlo poháňané slnečnou energiou je výber optimálneho akumulátora najkritickejšou otázkou, pretože predstavuje najdôležitejšiu časť celkovej hmotnosti lietadla (Xisn-Zhong et al., 2023).

2.3.3. Rekupačné palivové články

Palivový článok je dôležitá technológia, ktorá umožňuje získať energiu reakciou paliva a kyslíka bez spaľovania. Palivový článok má oproti iným dobíjateľným batériám mnoho výhod, napríklad vyššiu účinnosť a menšie znečistenie. Pri solárnom pohone by boli potenciálne využiteľné hlavne rekupačné palivové články. Pomocou slnečnej energie sa vo fotovoltaických článkoch vyrobí elektrická energia, ktorá je využitá na priebeh elektrolyzy pričom sa uskladnená voda štiepi na vodík a kyslík. Plyn vyprodukovaný pri elektrolyze sa uskladňuje a využívajú palivovým článkom v čase, keď nie je dostupné slnečné žiarenie. Palivový článok vyrába z vodíka a kyslíka späť vodu pričom produkuje elektrickú energiu, ktorá je využitá na pohon lietadla práve v čase nedostupnosti slnečného žiarenia (Xisn-Zhong et al., 2023).

3. **Analýza možností využitia alternatívnych palív v letectve**

V súčasnosti je viacero projektov a konceptov, v ktorých sa poprední výrobcovia lietadiel snažia aplikovať a vyvíjať nové technológie za účelom zabezpečiť udržateľné letectvo, prevádzkovú efektívnosť a šetrenie prírodných zdrojov. Zámerom výrobcov je nie len redukcia produkcie emisií, ale ich úplná eliminácia, teda pohon s nulovými emisiami. Tejto problematike sa venujú programy viacerých veľkých spoločností ako napríklad Airbus ZEROe, Boeing ecoDemonstrator alebo Embraer Commercial Aviation Sustainability.

Koncept ZEROe založený spoločnosťou Airbus je postavený na využití vodíkového pohonu. Ich hlavným cieľom je vyvinúť do

roku 2035 prvé komerčné lietadlo s nulovými emisiami na svete. V projekte boli predstavené tri odlišné typy lietadiel a to z dôvodu zabezpečenia účelnosti a pokrytia čo najväčšieho počtu potenciálnych odvetví, v ktorých by mohli byť využívané. Všetky tri koncepty ZEROe sú hybridné vodíkové lietadlá poháňané spaľovaním kvapalného vodíka prostredníctvom špeciálne upravených turbínových motorov. Súčasne sa využívajú aj vodíkové palivové články, ktoré zabezpečujú nepretržitú výrobu elektrickej energie za prítomnosti paliva a vzduchu. Takýmto spôsobom vzniká veľmi účinný hybridno-elektrický pohonný systém. Veľkou výhodou tohto konceptu je, že sa jednotlivé technológie navzájom dopĺňajú, čím sa ich výhody ešte znásobujú (Airbus, 2021).

Program ecoDemonstrator je testovací a výskumný program, ktorý sa zameriava na vývoj technológií určených na zníženie hluku, inováciu leteckého sektoru a zníženie ekologickej stopy lietadiel. Projekty programu ecoDemonstrator zahŕňajú technológie, ktoré zlepšujú udržateľnosť a bezpečnosť leteckého priemyslu. Prebiehajú aj projekty zmeriavajúce sa na efektívnosť, udržateľné letecké palivo a zdokonalený vizuálny systém pre pilotov. Spoločnosť Boeing sa zaviazala, že všetky komerčné lietadlá, ktoré dodáva, budú schopné využívať 100 % udržateľné letecké palivo do roku 2030. Tento krok podporuje civilné letectvo so záväzkom dosiahnuť nulové uhlíkové emisie do roku 2050. Program ecoDemonstrator výrazne prospieva aj vývoju udržateľných palív, keďže spoločnosť Boeing testuje a ďalej rozvíja možnosti jeho využívania. Otázka udržateľného leteckého paliva je riešená v spolupráci s NASA, s cieľom zhromaždiť a analyzovať údaje o emisiách tohto paliva (Boeing, 2022).

Koncept spoločnosti Embraer sa zameriava predovšetkým na rôzne možnosti využitia alternatívnych palív v kombinácii s vhodným typom konštrukcie na dosiahnutie nulových emisií uhlíka do roku 2050. Pre dosiahnutie tohto cieľa je však kľúčové zabezpečiť zníženie emisií uhlíka o 50% do roku 2030. Projekt skúma celý rad udržateľných koncepcií pričom sa zameriavajú na lietadlá s prepravnou kapacitou do 50 cestujúcich. V rámci tohto projektu sa uvažuje o viacerých zdrojoch energie, typoch pohonu a usporiadaní draku lietadla. Súčasťou konceptu je niekoľko modelov lietadiel s odlišným pohonom (Embraer, 2022).

3.1. **Komparácia vybraných výrobných konceptov a nimi využívaných alternatívnych palív**

Porovnanie vybraných výrobných konceptov bude vykonané na základe výsledkov získaných z analýzy SWOT, ktorá referuje ako o pozitívnych tak aj o negatívnych stránkach samotných projektov. Pri komparácii konceptov využívajúcich alternatívne palivá sa budú brať do úvahy aj výsledky porovnávania jednotlivých typov alternatívnych palív na základe nami určeným kritérií.

SWOT analýza predstavuje nástroj na posúdenie súčasnej situácie a prostredia konceptu. Charakterizácia SWOT analýzy zahŕňa body ako silné a slabé stránky, príležitosti a hrozby. V tejto práci bude využitá na podrobné zanalyzovanie konceptov zameriavajúcich sa na využitie alternatívnych palív.

Na objektívnu analýzu vybraných konceptov využívajúcich alternatívne palivá je kľúčové porovnať jednotlivé alternatívne palivá na základe nami určených kritérií. V Tabuľke 1 sú každému

palivu pridelené číselné hodnoty 0-zanedbateľná, 1-nízka, 2-mierna, 3-vysoká, ktoré vyjadrujú v akej miere jednotlivé palivá spĺňajú dané kritériá. Na základe pridelených hodnôt a ich sumarizácie je možné určiť, ktoré z alternatívnych palív je najefektívnejšie z ekologického ale aj hospodárneho hľadiska.

Tabuľka 1: Komparácia alternatívnych palív na základe vybraných kritérií. Zdroj: Autori

| | Biopalivo | Vodík | Elektrická energia |
|---|-----------------------|-------|--------------------|
| Dostupnosť výrobných surovín | 3 | 3 | 3 |
| Výrobné náklady | 2 | 3 | 3 |
| Skladovacia náročnosť | 0 | 3 | 2 |
| Miera produkcie emisií pri využívaní | 1 | 0 | 1 |
| Miera produkcie emisií pri procese výroby | najmenej ekologickom* | 3 | 1 |
| | najekologickejšom* | 0 | 1 |
| Nutnosť technologických úprav | 0 | 3 | 3 |

Najefektívnejším alternatívnym palivom z rôznych ohľadov je biopalivo. Dostupnosť výrobných surovín je vysoká, keďže sa jedná o bioodpad alebo neúžitkové rastliny. Biopalivo je typovo podobné fosílnym palivám, a teda sú ním priamo nahraditeľné. Skladovacia náročnosť ako aj nutnosť technologických úprav lietadiel alebo infraštruktúry je zanedbateľná. Výsledkom spracovávania biologického odpadu je palivo produkujúce výrazne menšie množstvo emisií počas výrobného procesu a spaľovania.

3.2. Zhodnotenie

Na základe SWOT analýzy vybraných výrobných konceptov sme vytvorili Tabuľku 2, v ktorej sme zhrnuli hlavné prínosy, negatíva a predovšetkým potenciál týchto projektov s ohľadom na nimi využívané alternatívne palivá. Po podrobnej analýze sme zistili, že projekt ZEROe od spoločnosti Airbus zameriavajúci sa na uplatnenie vodíka má veľký potenciál pri využití na stredné a dlhé trate pre svoj vysoký výkon. Výraznou prekážkou pri začlenení vodíka do leteckého priemyslu je nie len jeho náročnosť na skladovanie a nutnosť zmien konštrukcie a infraštruktúry, ale aj výrobný proces. Nato, aby bol tento projekt skutočne ekologicky prínosný, vodík, ktorý sa v ňom použije musí byť tzv. zelený. Projekt ecoDemonstrator od spoločnosti Boeing je v rámci vývoja alternatívnych palív známy svojím zameraním na udržateľné letecké palivá. Prínosom tohto typu paliva je využitie biologického odpadu a neúžitkových rastlín, ktoré majú vysoký obsah olejov a preto nekonkurujú poľnohospodárskym plodínám. Fosílna palivá sú priamo nahraditeľné biopalivami a prispôsobiteľné rôznym vzdialenostiam a letovým trasám.

Tabuľka 2: Komparácia vybraných výrobných konceptov na základe SWOT analýzy. Zdroj: Autori

| | Airbus ZEROe | Boeing ecoDemonstrator | Embraer Commercial Aviation Sustainability |
|-------------------------|---|--|---|
| Palivo | <ul style="list-style-type: none"> vodík elektrická energia | <ul style="list-style-type: none"> udržateľné letecké palivo | <ul style="list-style-type: none"> elektrická energia hybridný pohon |
| Prínosy | <ul style="list-style-type: none"> využitie na stredné a dlhé trate vysoký výkon nulové emisie | <ul style="list-style-type: none"> redukcia emisií využitie na rôzne trasy a podmienky | <ul style="list-style-type: none"> využitie na krátke trasy nulové emisie |
| Negatívne aspekty | <ul style="list-style-type: none"> vyššie výrobné prevádzkové náklady | <ul style="list-style-type: none"> náklady na vývoj | <ul style="list-style-type: none"> obmedzený dolet a výkon |
| Implementačný potenciál | <ul style="list-style-type: none"> nutnosť konštrukčných a technických zmien | <ul style="list-style-type: none"> okamžitá náhrada fosílnych palív | <ul style="list-style-type: none"> nutnosť inštalácie solárnych jednotiek |

Napriek tomu, že sa používaním udržateľných leteckých palív redukovujú emisie CO₂, nevýhodou naďalej zostávajú vyššie náklady na vývoj. Projekt od spoločnosti Embraer sa zaoberá využitím takmer každého spomenutého alternatívneho paliva. Dôraz kladie na menšie lietadlá, v ktorých je najviac uplatniteľný elektrický a hybridný pohon. Elektrická energia je ako palivo produkuje nulové emisie, ale z dôvodu obmedzeného doletu a výkonu je vhodná len na kratšie vzdialenosti. Negatívnym aspektom tohto projektu je, že je potrebná inštalácia solárnych článkov a batérií, ktoré spôsobujú nadmernú záťaž čím sa skracuje dolet a zhoršujú letové vlastnosti lietadla.

4. Záver

Hlavnou náplňou tohto článku bolo identifikovať možnosti využívania alternatívnych palív v letectve, ktoré majú vhodné predpoklady na redukciiu emisií a skleníkových plynov, čím prispievajú k dosiahnutiu udržateľného letectva. V úvode článku boli objasnené a charakterizované teoretické poznatky vzťahujúce sa na výrobu a skladovanie daných palív. V rámci analýzy boli priblížené koncepty založené na využití alternatívneho pohonu. Zvolili sme si tri známe projekty, ktorými sú Airbus ZEROe, Boeing ecoDemonstrator a Embraer Commercial Aviation Sustainability, pri ktorých sme vykonali SWOT analýzu. Na základe poznatkov zistených komparáciou jednotlivých alternatívnych palív a porovnaním výsledkov osobitných SWOT analýz sme určili perspektívu daných projektov a nimi využívaných palív.

Po vykonaní komparatívnej analýzy môžeme koncept ecoDemonstrator od spoločnosti Boeing zhodnotiť ako najperspektívnejší nielen z hľadiska udržateľnosti, ale aj z hľadiska efektívnej implementácie do odvetvia a rozmanitého využitia. Faktom je, že pri spaľovaní biopalív nevznikajú nulové emisie ako pri ostatných udržateľných palivách, avšak je dôležité uvedomiť si ostatné prínosy, ktoré toto palivo ponúka. Okrem radikálneho zníženia produkcie skleníkových plynov je benefitom aj spracovávanie odpadu, nepotrebných poľnohospodárskych zvyškov a neúžitkových plodín, ktoré nekonkurujú pestovaniu úžitkových olejnatých rastlín. Vďaka využívaniu biopalív sa dá najrýchlejšie a najefektívnejšie doceliť

uhlíková neutralita, ktorej podstata spočíva v dosiahnutí rovnováhy medzi produkciou a zužitkovaním emisií uhlíka. Plnohodnotným využívaním alternatívnych palív v leteckom sektore by sa mala znížiť uhlíková stopa a zmierniť problém klimateckej zmeny.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu **313011ATR9** "Výskum a vývoj využiteľnosti autonómnych lietajúcich prostriedkov v boji proti pandémie COVID-19".

Referencie

- Abbe, G.; Smith, H.; 2016. Technological development trends in Solar-powered Aircraft Systems, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116000836?casa_token=qk_A2Rz2If4AAAAA:mWhs5Mxs3S7x3_iKfmI2pRhJm6I0lpRgLTzSkiB2iRuo79sAyOmoAuk1tcf61rlzU6rcQROQ#f0035>.
- Airbus; 2021. ZEROe, <<https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission-journey/hydrogen/zeroe>>.
- Andrews, J.; Shabani, B.; 2012. Where does hydrogen fit in a sustainable energy economy? <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812047649>>.
- Arat, H.; 2018. State of art of hydrogen usage as a fuel in aviation. In Ískenderun Technical University, <https://www.researchgate.net/publication/322056332_State_of_art_of_hydrogen_usage_as_a_fuel_on_aviation>.
- Baharozu, E.; Soykan, G.; Ozerdem, M.; 2017. Future aircraft concept in case of energy efficiency and environmental factors, <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S036054421731513X?token=64F237C973806151B5F8A7CE0AFAB1325A40FDCD2C22AE6375073BA7FF8DD35F5894214202A232CFEFDDC38156C8E162&originRegion=eu-west1&originCreation=20230301013014>>.
- Boeing; 2022. The Boeing ecoDemonstrator Program, <https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/principles/environment/pdf/BKGecoDemonstrator_2022.pdf>.
- de Klerk, A.; 2008. Fischer-Tropsch Refining, <<https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/26754/Complete.pdf?sequence=10>>.
- Demirbas, A.; 2009. Green energy and technology biofuels, <<https://www.isaaa.org/resources/publications/pocketk/24/default.asp>>.

- Embraer; 2022. Future Aircraft Concepts, <<https://embraercommercialaviationsustainability.com/concepts/>>.
- Funk, J. E.; 2001. Thermochemical hydrogen production: past and present, <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319900000628?pes=vor>>.
- National Grid; 2023. The hydrogen colour spectrum, <<https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/hydrogen-colour-spectrum>>.
- NESTE, 2023. SAF reduces emission in aviation by up to 80%, <<http://www.nesteoil.com/default.asp?path=1,41,11991,22708,22709,22711>>.
- Neuling, U.; Kaltschmitt, M.; 2015. Conversion routes for production of biokerosene – status and assessment, <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-014-0154-2>>.
- Office of Energy Efficiency and Renewable Energy a); 2022. Hydrogen Production: Biomass Gasification, <<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-biomass-gasification>>.
- Office of Energy Efficiency and Renewable Energy b); 2022. Fuel Cells, <<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>>.
- Riis, T. et al.; 2006. Hydrogen Production and Storage. In Hydrogen co-ordination group, <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/e19e0c2a-0cef-4de6-a559-59d0342974c3/hydrogen.pdf>>.
- Sidibe, S. S.; Blin, J.; Vaitilingom, G.; Azoumah, Y.; 2010. Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art, <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110001656>>.
- Verstraete, D.; 2010. Hydrogen fuel tanks for subsonic transport aircraft, <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031991001236X>>.
- Xisn-Zhong, G. et al.; 2023. Reviews of methods to extract and store energy for solar-powered aircraft, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114009563?casa_token=mZJuh7mtrY0AAA:AA:ybV1st4xfy4x4DqA8JlMEMyY8Vh7XQsyAw75GOEuL4alSalJzEVV58jBnafmnFJwN6v9sRRbA>.
- Zschocke, A.; Scheuermann, S.; Ortner, J.; 2012. High biofuel blends in Aviation (HBBA), <https://aireg.de/wp-content/uploads/2015/03/20150327_studie.pdf>.

AEROjournal

www.aero.uniza.sk

International Scientific Journal
Published by University of Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, The Slovak Republic
The Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications
Air Transport Department

Head of the editorial board: **prof. Ing. Antonín Kazda, PhD.**
Editor in chief: **doc. Ing. Martin Bugaj, PhD.**
Technical editor: **Ing. Matúš Materna, PhD.**

Printed by: EDIS – Vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žiline, Univerzitná 8215/1, Žilina
Circulation: 100 prints



UNIVERSITY
OF ŽILINA

<https://doi.org/10.26552/aer.J.2023.1>

ISSN: 1338-8215

EV 6082/22