

PRÁCE A ŠTÚDIE
STUDIES

KATEDRA LETECKEJ DOPRAVY
AIR TRANSPORT DEPARTMENT

FAKULTA PREVÁDZKY A EKONOMIKY DOPRAVY A SPOJOV
FACULTY OF OPERATION AND ECONOMICS OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
UNIVERSITY OF ŽILINA

VYDANIE 10
VOLUME 10

Žilina, 2021

Redakčná rada

prof. Ing. **Antonín Kazda**, CSc.
Ing. **Michal Červinka**, PhD.
doc. Ing. **Branislav Kandra**, PhD.
doc. Ing. **Benedikt Badánik**, PhD.
Doc. Ing. **Jozef Čerňan**, PhD.
Mgr. **Miriám Jarošová**, PhD.
Ing. **Ján Rostáš**, PhD.
doc. Ing. **Martin Bugaj**, PhD.
JUDr. doc. Ing. **Alena Novák Sedláčková**, PhD.
prof. Ing. **Anna Tomová**, CSc.
Ing. **Filip Škultéty**, PhD.
Ing. **František Jůn**, CSc.
Ing. **Peter Blaško**, CSc.
Ing. **Matúš Materna**, PhD.

doc. Ing. **Pavol Kurdel**, PhD.
doc. Ing. Dr. **Tomasz Lusiak**
assoc. prof. Dr. **Anna Stelmach**
assoc. prof. Dr. **Anna Rudavska**
Doc. Ing. **Jakub Kraus**, Ph.D.
doc. Ing. **Peter Vittek**, Ph.D.
doc. Ing. **Vladimír Socha**, PhD.
Ing. **Stanislav Pleninger**, Ph.D.
Ing. **Ján Zýka**, Ph.D.
doc. RNDr. **Vladimír Krajčík**, Ph.D.
prof. Ing. **Ján Piľa**, PhD.
assoc. prof. **Doris Novak**, PhD.
Ing. **Pavol Pecho**, PhD.
Ing. **Michal Janovec**, PhD.

TLAČ / PRINTED BY

EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity / EDIS – University of Žilina publisher

TECHNICKÝ REDAKTOR / TEXT DESIGNER

Ing. Matúš Materna, PhD.

Všetky publikované články boli recenzované dvomi nezávislými recenzentmi a prešli schvaľovacím procesom redakčnej rady.

All of these papers have been reviewed by two independent reviewers and have been processed by editorial board.

COPYRIGHT © Žilinská Univerzita v Žiline, Slovenská republika, 2021

COPYRIGHT © University of Žilina, Slovak Republic, 2021

PREDHOVOR

Táto publikácia je výstupom vedeckej činnosti mladých vedeckých pracovníkov Katedry leteckej dopravy, Fakulty prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov Žilinskej univerzity v Žiline (ďalej len "KLD") vykonávanej pod dohľadom odborníkov, výskumníkov a vedeckých pracovníkov z praxe a univerzitného prostredia, ktorých úlohou bolo, aby svoje znalosti získané prevažne v rámci základného alebo aplikovaného výskumu priamo na KLD alebo v spolupráci s ňou odovzdávali "mladšej generácii". V súčasnosti prevažná časť výskumu KLD je riešená v spolupráci s Leteckým výcvikovým a vzdelávacím centrom Žilinskej univerzity v Žiline (ďalej len "LVVC") a zaoberá sa oblasťou výskumu a vývoja leteckej dopravy v previazanosti na ďalšie oblasti výskumu, možnosti využitia a aplikovania jedinečných technológií a vedeckých výstupov do praxe.

Cieľom publikácie je priblížiť vedecko výskumnú činnosť, ktorej sa venujú študenti, doktorandi, mladí vedeckí pracovníci a spolupracujúce organizácie predovšetkým v oblasti výskumu dopravy a dopravných služieb. Úlohou jednotlivých vedeckých statí a článkov bolo preukázať schopnosť analyzovať náročné teoretické úlohy, navrhovať ich technické riešenia ako aj zohľadňovať všetky ekonomické aspekty riešeného problému. Zároveň sa zameriavajú na riadenie dopravných podnikov, jednotlivé dopravné procesy a návrhy nových alebo inovovaných dopravných technológií, ktoré budú spĺňať požiadavky dnešnej praxe s dôrazom na kvalitu, bezpečnosť, minimalizáciu prevádzkových nákladov s ohľadom na potrebu trvalo udržateľného rozvoja spoločnosti a ochrany životného prostredia.

prof. Ing. **Andrej Novák**, PhD.
vedúci Katedry leteckej dopravy

OBSAH

MASS AND PERFORMANCE ESTIMATION OF HYDROGEN AND BATTERY POWERED TRANSPORT AIRCRAFT CONCEPTS	7
<i>ODHAD HMOTNOSTI A VÝKONU VODÍKOVÝCH A BATÉRIAMI NAPÁJANÝCH KONCEPTOV DOPRAVNÝCH LIETADIEL</i>	<i>7</i>
ELECTRONIZATION OF A MODERN FLIGHT SCHOOL	10
<i>ELEKTRONIZÁCIA MODERNEJ LETECKEJ ŠKOLY</i>	<i>10</i>
INSPECTING ACTIVITIES WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE ENERGY INDUSTRY	16
<i>INŠPEKČNÁ ČINNOSŤ BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV V ENERGETIKE</i>	<i>16</i>
DESIGN OF UAV DETECTION SYSTEM UTILIZING COMMUNICATION MONITORING	22
<i>NÁVRH SYSTÉMU DETEKcie UAV PROSTREDNÍCTVOM MONITOROVANIA KOMUNIKÁCIE</i>	<i>22</i>
IMPROVING ACCES TO AIRCRAFT METEOROLOGICAL DATA RELAY AMDAR	28
<i>ZLEPŠENIE PRÍSTUPU K ÚDAJOM LIETADLOVÉHO METEOROLOGICKÉHO DÁTOVÉHO PRENOSU AMDAR</i>	<i>28</i>
PROPOSAL OF MCC COURSE TRAINING MANUAL FOR L410 AIRCRAFT	34
<i>NÁVRH MCC VÝCVIKOVEJ PRÍRUČKY PRE LIETADLO L410</i>	<i>34</i>
POSSIBILITIES OF USING UNMANNED AERIAL VEHICLES IN FORESTRY AND AGRICULTURE	39
<i>MOŽNOSTI VYUŽITIA BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV V LESNÍCTVE A POĽNOHOSPODÁRSTVE</i>	<i>39</i>
SYSTEM FOR EARLY IDENTIFICATION OF LOCAL ATMOSPHERIC CHANGES IN FLIGHT	45
<i>SYSTÉM VČASNEJ IDENTIFIKÁCIE LOKÁLNYCH ATMOSFERICKÝCH ZMIEN POČAS LETU</i>	<i>45</i>
STATE AID TO AIRPORTS AS A PROBLEM OF COMPETITION IN THE EU	50
<i>ŠTÁTNA POMOC LETISKÁM AKO PROBLÉM HOSPODÁRSKEJ SÚŤAŽE EÚ</i>	<i>50</i>
PROGRESSIVE METHODS OF ELIMINATING DANGEROUS BEHAVIOUR OF AIR TRANSPORT PASSENGERS	55
<i>PROGRESÍVNE METÓDY ELIMINOVANIA NEBEZPEČNÉHO SPRÁVANIA SA PASAŽIEROV V LETECKEJ DOPRAVE</i>	<i>55</i>
THE IMPORTANCE OF SCHEDULED AIR TRAFFIC FOR AIRPORT EXISTENCE	61
<i>VÝZNAM PRAVIDELNEJ LETECKEJ DOPRAVY PRE EXISTENCIU LETÍSK</i>	<i>61</i>
APPROACH TO ECONOMIC REGULATION OF AIRPORTS IN EUROPE	67
<i>PRÍSTUP K EKONOMICKEJ REGULÁCII LETÍSK V EURÓPE</i>	<i>67</i>
METHODOLOGY OF MCC TRAINING IN THE CONDITIONS OF THE AIR TRAINING AND EDUCATION CENTRE	75
<i>METODIKA VÝCVIKU MCC V PODMIENKACH LVVC</i>	<i>75</i>
THE IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON THE BUSINESS MODELS OF REGULAR AIR CARRIERS	79
<i>VPLYV PANDÉMIE COVID-19 NA MODELY PODNIKANIA PRAVIDELNÝCH LETECKÝCH DOPRAVCOV</i>	<i>79</i>
IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AT AIRPORTS	83
<i>IMPLEMENTÁCIA UMELEJ INTELIGENCIE NA LETISKÁCH</i>	<i>83</i>
CONCEPTUAL DESIGN OF THE TRAINING AEROBATIC AIRPLANE	91
<i>KONCEPČNÝ NÁVRH CVIČNÉHO AKROBATICKÉHO LIETADLA</i>	<i>91</i>

THE ASSESSMENT OF THE CATCHMENT AREA OF ŽILINA AIRPORT IN TERMS OF INBOUND TOURISM	97
<i>VYHODNOTENIE SPÁDOVEJ OBLASTI LETISKA ŽILINA Z HLADISKA AKTÍVNEHO CESTOVNÉHO RUCHU</i>	<i>97</i>
LIFE CYCLE ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND INDIVIDUAL MODES OF TRANSPORT	103
<i>POSUDZOVANIE ENVIRONMENTÁLNYCH DOPADOV DOPRAVNEJ INFRAŠTRUKTÚRY A JEDNOTLIVÝCH DRUHOV DOPRÁV METÓDOU ŽIVOTNÉHO CYKLU</i>	<i>103</i>
THE IMPORTANCE OF AN AIRCRAFT MAINTENANCE PROGRAM FOR OPERATOR	109
<i>VÝZNAM PROGRAMU ÚDRŽBY LIETADIEL U PREVÁDZKOVATEĽA</i>	<i>109</i>
NEW THREATS IN SECURITY	115
<i>NOVÉ HROZBY V OBLASTI BEZPEČNOSTNEJ OCHRANY</i>	<i>115</i>
UNRULY PASSENGERS ON BOARD AIRCRAFT	121
<i>NEPRISPÔSOBIVÍ CESTUJÚCI NA PALUBE LIETADLA</i>	<i>121</i>
ASPECTS OF AIRLINE CREW ROSTERING	127
<i>PREVÁDZKOVÉ ASPEKTY PLÁNOVANIA POSÁDKOVI</i>	<i>127</i>
DESIGN AND CONFIGURATION OF THE INSTRUMENTATION OF THE ZLÍN 242L SIMULATOR	133
<i>NÁVRH A USPORIADANIE PRÍSTROJOVÉHO VYBAVENIA SIMULÁTORA ZLÍN 242L</i>	<i>133</i>
ANALYSIS AND CONSEQUENCES OF BOEING 737MAX ACCIDENTS	139
<i>ANALÝZA A DÔSLEDKY NEHÔD BOEING 737MAX</i>	<i>139</i>
ANALYSIS OF SELECTED AIRCRAFTS SUITABLE FOR PPL TRAINING	144
<i>ANALÝZA VYBRANÝCH LIETADIEL VHODNÝCH PRE VÝCVIK PPL</i>	<i>144</i>
APPROACHES OF CHOSEN AIR NAVIGATION SERVICES PROVIDERS TO UAV INTEGRATION INTO AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS	148
<i>PRÍSTUPY VYBRANÝCH POSKYTOVATEĽOV LETECKÝCH NAVIGAČNÝCH SLUŽIEB K INTEGRÁCII UAV DO SYSTÉMOV RIADENIA LETOVEJ PREVÁDZKY</i>	<i>148</i>
WING MAGNETOHYDRODYNAMIC FACILITY OF AIRCRAFT PROPULSION SYSTEM	154
<i>KRÍDLOVÝ MAGNETOHYDRODYNAMICKÝ PROSTRIEDOK POHONNEJ SÚSTAVY LETÚNOV</i>	<i>154</i>
COMPARISON OF FOG OCCURRENCE AT SLOVAK INTERNATIONAL AIRPORTS FOR THE PERIOD 1998-2018	159
<i>POROVNANIE VÝSKYTU HMLY NA MEDZINÁRODNÝCH LETISKÁCH SLOVENSKA ZA OBDOBIE 1998-2018</i>	<i>159</i>
EXPERIMENTAL STATE OF TENSILE TESTING OF AIRCRAFT RECIPROCATING INTERNAL COMBUSTION ENGINE	163
<i>EXPERIMENTÁLNY STAV ŤAHOVÝCH SKÚŠOK LETECKÉHO PIESTOVÉHO SPALOVACIEHO MOTORA</i>	<i>163</i>
PROPOSAL OF AIRCRAFT MAINTENANCE PLANNING SOFTWARE FOR ATO	169
<i>NÁVRH ELEKTRONICKÉHO SYSTÉMU PLÁNOVANIA ÚDRŽBY LIETADIEL PRE POTREBY ATO</i>	<i>169</i>
UTILISATION OF ADVANCED AVIONICS SYSTEMS IN BASIC FLIGHT TRAINING	176
<i>VYUŽITIE PROGRESÍVNYCH AVIONICKÝCH SYSTÉMOV V ZÁKLADNOM LETECKOM VÝCVIKU</i>	<i>176</i>
DESIGN AND CONSTRUCTION OF A UAV DEVICE WITH A FIXED WING FOR THE CONDITIONS OF RESCUE SERVICES	183
<i>NÁVRH A KONŠTRUKCIA UAV PROSTRIEDKU S PEVNÝM KRÍDLOM PRE PODMIENKY ZÁCHRANNÝCH ZLOŽIEK</i>	<i>183</i>

IMPLEMENTATION OF SMS INTO THEORETICAL AND PRACTICAL MCC TRAINING	192
<i>IMPLEMENTÁCIA SMS DO TEORETICKÉHO A PRAKTICKÉHO VÝCVIKU MCC</i>	<i>192</i>
QUALITY OF SERVICE AT AIRPORTS	199
<i>KVALITA SLUŽIEB NA LETISKÁCH</i>	<i>199</i>
THE PROCESSES FOR SECURING THE OPERATION OF AIRCRAFT TECHNOLOGY	203
<i>PROCESY PRI ZABEZPEČENÍ PREVÁDZKY LIETADLOVEJ TECHNIKY.....</i>	<i>203</i>
MAINTENANCE AND RELIABILITY OF AIRCRAFT TECHNOLOGY	210
<i>ÚDRŽBA A SPOĽAHLIVOSŤ LIETADLOVEJ TECHNIKY.....</i>	<i>210</i>
DESIGN OPTIMIZATION OF A COMPRESSOR STAGE WITH COUNTER-ROTATING ROTORS	215
<i>DIZAJNOVÁ OPTIMALIZÁCIA STUPŇA KOMPRESORA S PROTIBEŽNÝMI ROTORMI.....</i>	<i>215</i>
UNMANNED AERIAL VEHICLE PILOT TRAINING.....	221
<i>VÝCVIK PILOTOV BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV.....</i>	<i>221</i>
DESIGN OF A BLADELESS ENGINE COMPRESSOR BASED ON MAGNETOHYDRODYNAMICS.....	227
<i>NÁVRH BEZLOPKOVÉHO KOMPRESORU MOTORU NA BÁZI MAGNETOHYDRODYNAMIKY.....</i>	<i>227</i>
DESIGN OF THE REFERENCE MODEL OF THE AERO L-39 AIRCRAFT.....	233
<i>NÁVRH A KONŠTRUKCIA REFERENČNÉHO MODELU LETÚNA AERO L-39</i>	<i>233</i>
DIFFERENCES IN APPROACHES TO CHARGING FOR AIR NAVIGATION SERVICES IN SELECTED COUNTRIES OF THE WORLD REGIONS	238
<i>ROZDIELY V PRÍSTUPOCH K SPOPLATŇOVANIU LETECKÝCH NAVIGAČNÝCH SLUŽIEB VO VYBRANÝCH KRAJINÁCH SVETOVÝCH REGIÓNOV.....</i>	<i>238</i>
INTERNATIONAL EXPANSION OF GROUND HANDLING SERVICE PROVIDERS AT THE AIRPORTS	243
<i>MEDZINÁRODNÁ EXPANZIA POSKYTOVATEĽOV SLUŽIEB POZEMNEJ OBSLUHY NA LETISKÁCH.....</i>	<i>243</i>
METHODICAL MANUAL FOR FLIGHT ACCORDING TO PBN	248
<i>METODICKÁ PRÍRUČKA NA VYKONANIE LETU PODĽA PBN.....</i>	<i>248</i>
CONSTRUCTION OF A REACTIVE ENGINE INTENDED FOR MEASUREMENT OF THRUST CHARACTERISTICS AND EFFICIENCY OF SELECTED AVIATION FUELS	250
<i>KONŠTRUKCIA REAKTÍVNEHO MOTORA URČENÉHO NA MERANIE ŤAHOVÝCH CHARAKTERISTÍK A ÚČINNOSTÍ VYBRANÝCH LETECKÝCH POHONNÝCH HMÔT</i>	<i>250</i>
ASSESSMENT OF AIRCRAFT COATING RESISTANCE TO LIGHTNING STRIKES	256
<i>ANALÝZA VPLYVU ZÁSAHU BLESKU NA RÔZNE TYPY LETECKÝCH NÁTERO.....</i>	<i>256</i>
REGULATORY FRAMEWORK FOR CIVIL AVIATION BETWEEN THE EU AND THE UK AFTER BREXIT	262
<i>REGULAČNÝ RÁMEC V OBLASTI CIVILNEJ LETECKEJ DOPRAVY MEDZI EÚ A VEĽKOU BRITÁNIU PO BREXITE.....</i>	<i>262</i>
THE FUTURE OF AIRCRAFT DATA COMMUNICATION AND MANAGEMENT AS A PART OF AVIATION 4.0 CONCEPT .	269
<i>BUDÚCNOSŤ DÁTOVEJ KOMUNIKÁCIE A MANAŽMENTU AKO SÚČASŤ KONCEPTU AVIATION 4.0</i>	<i>269</i>
OPTIMISATION OF TURBOPROP AIRCRAFT OPERATIONS AS A MEANS TO REDUCE THEIR ENVIRONMENTAL FOOTPRINT	276
<i>ENVIRONMENTÁLNE ASPEKTY PREVÁDZKY TURBOVRTUĽOVÝCH LIETADIEL</i>	<i>276</i>

MASS AND PERFORMANCE ESTIMATION OF HYDROGEN AND BATTERY POWERED TRANSPORT AIRCRAFT CONCEPTS

ODHAD HMOTNOSTI A VÝKONU VODÍKOVÝCH A BATÉRIAMI NAPÁJANÝCH KONCEPTOV DOPRAVNÝCH LIETADIEL

Viktor Babčan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
email@email.com

Michal Janovec
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
michal.janovec@fpedas.uniza.sk

Abstract

This article introduces the scope and activities linked to an end of studies project. This project is a collaboration between UNIZA and ENAC and includes work of Pascal Roches and Thierry Druot on top of the student and his UNIZA tutor mentioned above. This article describes the environment of ENAC and the particular department CADO in which the project is being accomplished. It also sets the definition of the project, its main goals and deliverables. Finally, it shows methods of the work that has been done so far, that is the completion of the database of 324 commercial aircraft, which took the largest amount of time so far. It also introduces the software, which will be used to define different models required to calculate initial dimensions and performance parameters of battery or fuel cell concept aircraft.

Keywords

aircraft database, ENAC, CADO, HTP definition, VTP definition, polynomial regression

1. Introduction

The definition of the concept of an aircraft is one of the very first stages of an aircraft design. Its objective is to establish the primary characteristics of an aircraft. Over the years, aircraft manufacturers have been perfecting these characteristics to achieve the most efficient designs both in terms of aircraft performance and consumption. Many aircraft projects along the way reached commercial production and had varying levels of success in operation.

In the scope of this project, we have completed a database of over 320 civil airplanes of all sizes and missions (General Aviation, Business Aviation, Turboprop, Narrow Body & Wide Body Turbofan). For each aircraft, we have a total of 25 parameters, of which 13 represent the aircraft dimensions, 4 are weights (OWE, MTOW, MLW and fuel capacity) and the remaining 8 correspond to the aircraft performance.

Our goal is to find models, in the form of polynomial equations, which will approximate the relation between certain parameters (for example OWE vs MTOW, Total power vs MTOW or Passenger-kilometer vs Range). These models will then be able to size an aircraft (determine all its 25 main parameters) by using only a few input parameters. We will then modify these models in order to represent concepts of the future propulsion vectors. There are 3 main vectors being discussed nowadays:

1. Battery powered electric motor,
2. Hydrogen fuel cell powered electric motor,
3. Direct hydrogen combustion engine.

Finally, having established models for both conventional and future propulsion, we will compare those models in order to find the ones which are most suitable for certain missions.

2. Internship environment

2.1. ÉNAC (École Nationale de l'Aviation Civile)

It is the most important and best-known of the French grandes écoles specializing in aeronautics. It is one of the 205 colleges (as of September 2018) designated Grandes écoles by the Conférence des Grandes Écoles (CGE) accredited to deliver engineering degrees in France. Since 2011, it is the largest aviation school in Europe.

ENAC was founded on 28 August 1949 to provide initial and continuing education in the field of civil aviation. It is listed as a public scientific, cultural or professional establishment under the oversight of the Ministry of Ecology, Sustainable Development, Transport and Housing.

ENAC offers 30 engineering and technical programs in civil aviation and aeronautics in general. Some of the most notable ones include aerospace engineering, aircraft technicians, commercial airline pilots licenses, air traffic control, and flight instructors. The university also offers 3 Masters of Science programs and 12 Advanced masters degrees for students with relevant experience.

2.2. L'équipe CADO (Conceptual Airplane Design and Operation)

- Team which studies many key domains of air transport (Propulsion, Structure, Flight Mechanics, ...)
- It also does a research leading to develop new links between the primary design stages and the operation of aircraft.
- For this research, the innovation dimension is an essential aspect (Electric propulsion, Big Data, Machine Learning and the problem of sustainability of air transport)

3. Organization of the project

3.1. Project plan and objectives

- Presentation of the stakes, tools and objectives
- Orientation in the aircraft database and its completion. Completion of the database.
- First analysis of the database on the performance aspects
- Method for the identification of the masses
- Construction of a model for estimating the masses of aircraft components.
- Application to the concept of battery powered aircraft and its limits (research of the technological frontier according to the energy density)
- Application to the concept of hydrogen powered aircraft and its limits (research of the technological frontier according to the energy density)
- Thesis drawing up and presentation.

3.2. Deliverables:

- Updated aircraft database
- Mass estimating model
- Master thesis for the University of Zilina
- Project report for ENAC

4. Initial approach to handle the subject

4.1. Completion of the aircraft database

The given database contained errors and blank spaces for some data. It was also divided into two separate files (Commercial Aircraft, Business + General Aviation) where sometimes one or both of the files entirely lacked required parameters. Our first task was therefore to fill in the missing data and check the existing.

To find the data, we used both literature and the internet. From literature, we used the following 2 encyclopedias:

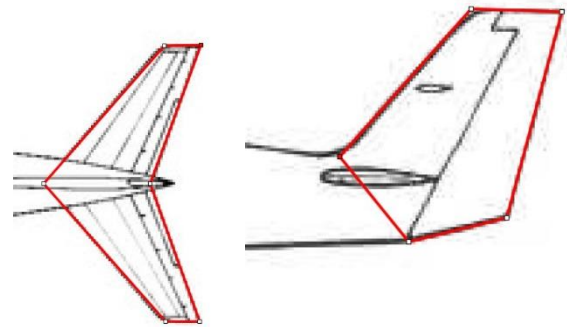
- Jane's: All the World's Aircraft – In Service [1]
- Élodie Roux: Avions civils à réaction [2]

On the internet, the most complete data we found came from the following websites:

- jetav.com
- skybrary.aero

However, certain data was untraceable in any of these sources. This was mostly the case of more detailed dimensions, such as the HTP and the VTP area, or the Propeller diameter. Therefore, we had to measure these dimensions directly from the aircraft blueprints. The blueprints we used were usually coming from websites the-blueprints.com or drawingdatabase.com.

To measure the needed dimensions, we used the ImageJ software, in which we always set the scale first on a horizontal dimension (for example fuselage length) and then checked it on a vertical one (for example wingspan) or vice versa in order to check for the correctness of the blueprint or potential distortion due to non-linear zooming of the image. Finally, to find the area of the HTP, we used a simple method of extending the leading and the trailing edges as shown in figure 1. In case of the VTP of smaller GA aircraft, the area was approached by connecting the root of the fin with the lower inboard corner of the rudder, as shown in figure 2.



Figures 1 and 2 (from left to right): Methods of measuring HTP and VTP surfaces. Source: Authors.

4.2. Concept modeling software

While the database was being completed, Mr Druot built a software in Python capable of creating diagrams to see correlation between different parameters and calculating polynomial regressions of these correlations which then serve as the required models.

4.3. Tasks to do in the near future

- Establishing two major functions: $OWE = f_{structure}(MTOW, type)$ and $OWE = f_{mission}(MTOW, type)$
- Replacement of the couple (conventional fuel; combustion engine) with (battery, electric motor)
- Exploring the field of the electric aircraft (development of the capacity and energy density through the years, prognosis to the future)

References

- [1] “Jane’s | All The World’s Aircraft: In Service Yearbook 20/21 <https://shop.janes.com/Air-Space/All-The-World-s-Aircraft-In-Service-Yearbook-20-21/> (accessed Apr. 19, 2021).

- [2] “Les Editions Elodie Roux - Avions civils à réaction : plan 3 vues et données caractéristiques.” <http://elodieroux.com/EditionsElodieRouxAvions.html> (accessed Apr. 19, 2021).

ELECTRONIZATION OF A MODERN FLIGHT SCHOOL

ELEKTRONIZÁCIA MODERNEJ LETECKEJ ŠKOLY

Dávid Dvorščák

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
dvorscak1@stud.uniza.sk

Andrej Novák

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
andrej.novak@fpedas.uniza.sk

Abstract

This paper deals with the selection of a specific solution for the electronic management system of the Aviation Training and Educational Center of the University of Žilina in Žilina. The selection is based on an analysis of system properties and research using a pair of questionnaires in which we found out the preferences of instructors and students in flight training. We identified the basic functions and components of the systems and compared them with the research findings. We fulfilled the basic goal of this paper by selecting three systems, that meet the requirements of students, instructors and flight school. The introduction of one of these systems would simplify flight training for students in the future and increase the overall efficiency of the flight school.

Keywords

Electronization, Flight school, Management system, Flight training, Software

1. Úvod

Väčšina leteckých škôl na Slovensku je prevádzkovaných tradičnou formou a Letecké výcvikové a vzdelávacie centrum v Žiline je jednou z nich. To znamená, že používajú komerčne dostupné softvéry, ako sú napríklad Microsoft Word alebo Excel na vedenie evidencie o žiakoch, inštruktoroch, výučbe a stave lietadiel. Používajú papierové testy a výcvikové osnovy, čo si vyžaduje dodatočný priestor a následne sťažuje orientáciu pri hľadaní. S pribúdajúcim množstvom žiakov vo výcviku, inštruktorov, zamestnancov a lietadiel sa úroveň náročnosti riadenia zvyšuje a tradičný spôsob riadenia sa stáva časovo namáhavým a neefektívnym.

Softvérových riešení na elektronizáciu leteckej školy je v súčasnej dobe veľké množstvo. Každé z nich ponúka prostriedky na uľahčenie riadenia leteckej školy. Hlavnou výhodou takýchto systémov je však ich jednoduchosť a centralizovanosť. Vedúci pracovníci leteckej školy, inštruktori, žiaci vo výcviku a prípadne pracovníci údržby majú všetky potrebné náležitosti pohromade v jednom elektronickom systéme.

2. Problematika

V záujme zachovania konkurencieschopnosti musia byť spoločnosti a ich pracovníci schopní rýchlo sa prispôsobiť novým podmienkam trhu a potrebám zákazníkov, ktoré si vyžadujú čoraz viac zručností pri riešení problémov [1]. Na splnenie týchto potrieb si vzdelávanie vyžaduje nový pedagogický charakter a technologické prístupy zamerané na zvýšenie zručností. Tieto technológie sa vyznačujú tým, že majú adaptívny a decentralizovaný rozhodovací proces v reálnom čase a automaticky sa optimalizujúce funkcie. Berú sa do úvahy

technológie budúcnosti, teda pri aplikácii do praxe budú vyžadovať úplne nové zručnosti a zmysľovanie pracovníkov [2].

2.1. Elektronický systém riadenia leteckej školy

Riadenie leteckej školy je veľmi komplexnou činnosťou, ktorá so sebou prináša každodenné výzvy. Pre efektívne zvládnutie týchto výziev vzniká potreba štandardizovať celý proces. Všetok personál musí v priebehu výcviku konať v súlade s procedúrami vopred definovanými vo výcvikovom manuáli. Spravovanie flotily má zabezpečiť primeranú dostupnosť a vyťaženosť flotily. Vedenie a archivácia kompletnej dokumentácie o žiakoch alebo inštruktoroch musí zabezpečiť preukázateľnosť splnenia potrebných požiadaviek na výcvikový kurz tak, ako bolo schválené licenčným úradom. Proces teoretickej prípravy žiakov by mal byť závislý na schválených výcvikových materiáloch a nie na dostupnosti inštruktorov [3].

Elektronizácia je považovaná za jeden z hlavných trendov, ktoré zasahujú globálny priemysel leteckých výcvikových organizácií a súčasne používaných technológií. Na základe prieskumu vykonaného Accenture Digital Supply Network, viac ako 80% osobností, ktoré sa podieľajú na riadení spoločností spojených s leteckým priemyslom uznáva, že digitálna transformácia môže pozitívne ovplyvniť proces integrácie v prevádzke a taktiež v rámci organizácie a môže mať praktické prínosy v prevádzkovej efektívnosti, službách, údržbe a vzťahoch so zákazníkmi [4].

Softvér na riadenie leteckej školy je navrhnutý tak, aby zefektívnil komplexnosť vedenia leteckej školy. Letový výcvik je komplikovaný a zdĺhavý proces, ktorý si vyžaduje presné plánovanie a mimoriadne riešenia. Jedným z hlavných cieľov leteckej školy je štandardizácia a zlepšovanie tohto procesu [4].

2.2. Základné funkcie a prvky

Pre samotnú leteckú školu je základnou funkciou možnosť **elektronizácie riadiaceho procesu**, čím sa predíde zdĺhavému papierovaniu. Elektronizácia potrebných dokumentov, foriem a záznamov o inštruktoroch, žiakoch a flotile na jednom mieste urýchli a zjednoduší celý proces [4].

Funkcia **riadenia údržbovej organizácie** by mala umožňovať vytvoriť prehľadné súbory pre jednotlivé lietadlá prepojené s **elektronickým lietadlovým zápisníkom**, aby následne vedenie údržbovej organizácie a leteckej školy vedelo aké má lietadlo rezurzy a kedy má ísť do údržby. Taktiež to umožní efektívnejšie prerozdelenie zdrojov, aby nedochádzalo k situáciám, kedy sa naplno nevyužije potenciál celého lietadla [3].

Ako jednu z hlavných sme identifikovali aj **funkciu plánovania** vo všeobecnosti. Je dôležité aby softvér disponoval takým plánovacím systémom, ktorý si poradí s plánovaním letového výcviku, simulátorov a učební, ktoré súvisia s pozemnou prípravou, na základe dostupnosti lietadiel, priestorov a požiadaviek žiakov a inštruktorov. Mal by taktiež byť schopný naplánovať a zohľadňovať potrebu údržby lietadiel, maximálny denný nálet jednotlivých inštruktorov a žiakov [4].

Ďalším dôležitým prvkom je **funkcia riadenia kvalifikácií**, ktorá by mala s dostatočným predstihom, formou emailu alebo správy, informovať o blížiacom sa dátume konca platnosti kvalifikácie a potrebe preskúšania. Funkcia **elektronických upozornení** v prípade nedostatočných finančných prostriedkov žiakov, blížiacej sa prehliadky lietadla, nesplnení určitých požiadaviek v stanovenom časovom rámci a iné prispievajú k prehľadnosti celého procesu [4].

Zaujímavým prvkom je možnosť **e-learningu** a testovania žiakov prostredníctvom tohto systému. Vytváranie testov na mieru a kontrola splnenia úloh a výsledkov na jednom mieste značne uľahčí život inštruktorom, čo v konečnom dôsledku bude viesť k ich vyššej efektívnosti. Nemala by chýbať **elektronická knižnica**, v ktorej bude prístup k jednotlivým dokumentom možný na základe statusu užívateľa [4].

Funkcia **tvorby užívateľov** sprehľadní celý proces. Po vytvorení profilu užívateľa, bude môcť inštruktor jednoducho a rýchlo dohľadať všetky potrebné informácie o žiakovi a prideliť potrebné úlohy. Ak systém navyše disponuje možnosťou vytvorenia skupiny, zefektívni to proces riadenia vo väčšej miere [5].

2.3. Prehľad funkcií a prvkov

Tabuľka 1: Prehľad funkcií a prvkov softvérových riešení. Zdroj: Autori.

Názov	CAMO	E-learning	Upozornenia	Elektronická knižnica	Štatistický nástroj	Mobilná aplikácia	Sledovanie lietadiel
Flight Office							
Evionica							
AQT Solutions							
FlightLogger							
Pelesya							
Momook							
Mint Soft. Systems							
ASA							
MyFlightSolutions							
Private-Radar							
Flight Hub							
Talon Systems							
Oscar Yankee ApS							
Times2Fly							
Britannica							
FlightSheets							

3. Súčasný stav riešenej problematiky

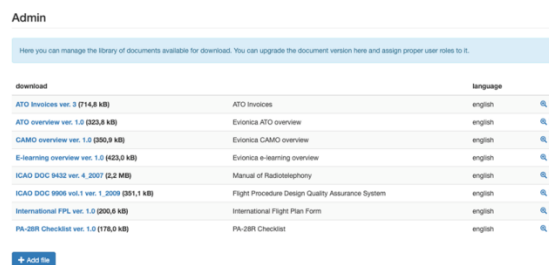
V samotnej práci sme sa v tejto časti zamerali na spoločnosti, ktoré ponúkajú systémy riadenia pre najlepšie hodnotené letecké výcvikové organizácie na svete ako napríklad Lufthansa Aviation Training, CAE, BAA Training, Finnish Aviation Academy a ďalšie [6]. Pre potreby tohto článku uvedieme tri systémy.

3.1. Evionica

Spoločnosť Evionica bola založená v Poľsku v roku 2014. Od tej doby sa vyvinula na spoločnosť ponúkajúcu softvérové riešenia pre viac ako 20000 používateľov po celom svete [7].

Medzi základné prvky tohto softvéru patrí možnosť automatickej rezervácie, ktorá umožňuje plánovať väčšie množstvo letov pomocou digitálneho kalendára a sledovať harmonogram v reálnom čase, vycvičiť väčšie množstvo žiakov a ponúka inštruktorom viac letových hodín bez rizika zdvojeného plánovania. Letecká škola nemusí strácať veľa času s komplikovanou implementáciou systému, nakoľko rozhranie tohto systému je intuitívne a podporný tím umožní jednoduchý a hladký prechod [7].

Ďalší prvok umožňuje eliminovať množstvo každodenného papierovania za pomoci digitalizácie dokumentov, ktoré budú bezpečne uložené a zorganizované na jednom mieste. Vďaka automatizovaným tokom dokumentov, efektívnemu prenosu dát medzi integráciami a elektronickým podpisom tento softvér pomôže eliminovať zbytočne časovo náročnú administratívnu prácu, rozšíri činnosti a pomôže generovať ďalšie príjmy. Softvér umožňuje každodenné zálohovanie, šifrovanie SSL a má striktnú bezpečnostnú politiku. Zabezpečuje nemožnosť exportovať citlivé informácie zo systému, čím zabraňuje únikom dát [7].



Obrázok 1: Dokumenty v elektronickej forme. Zdroj: [7].

Evionica navyše ponúka možnosť prispôbiť si softvér riadenia na mieru, definovať možnosti pokročilých užívateľov, generovať a ukladať vlastné správy vo formáte PDF alebo Excel. Zaujímavým prvkom je vlastnosť pokročilých prehľadov, kde si používateľ vie prezrieť štatistiky jednotlivých lietadiel, prípadne jednotlivých dní, žiakov a inštruktorov. K ďalším prvkom patrí napríklad plánovanie simulátorov, učební, elektronický pilotný denník žiakov a inštruktorov, elektronický letový denník, e-learning, možnosť SMS hlásení a podobne [7].

Atraktívnym prvkom pre letecké školy je aj možnosť prepojenia s riadiacim softvérom Organizácie pre riadenie zachovania letovej spôsobilosti (CAMO). Riadiaci softvér CAMO ponúka detailný, automatizovaný stav lietadla aj s históriou, plánovanie údržby, riadenie servisných bulletinov, možnosť kopírovať vzory lietadiel po ich vytvorení a samozrejme možnosť prispôbiť si tento riadiaci softvér na mieru a vybrať si funkcie, ktoré najviac vyhovujú [8].

4. Metodika a metodológia výskumu

4.1. Metóda výskumu

Na prieskum preferencií jednotlivých respondentov sme zvolili výskumnú metódu dvojicou dotazníkov, ktoré sme šírili elektronicky prostredníctvom emailu a skupín na sociálnych sieťach. Jeden sa zameriaval na inštruktorov leteckej školy a druhý na žiakov v letovom výcviku. Oba dotazníky boli v slovenskom aj anglickom jazyku, nakoľko sme chceli získať aj názor zahraničných respondentov.

Dôvodom voľby tejto metódy bola jej jednoduchosť, efektívnosť a finančná dostupnosť. Na tvorbu dotazníkov sme použili internetovú stránku – Survio, ktorá následne dotazníky aj vyhodnotila. Aby sme zvýšili mieru návratnosti boli dotazníky anonymné.

4.2. Cieľ výskumu

Cieľom výskumu na základe prvého dotazníka bolo zistiť, či inštruktori leteckej školy cítia potrebu elektronizácie a následne zmapovať preferencie prvkov a funkcií, ktoré by mal takýto systém podľa nich obsahovať, aby im pomohol efektívne vycvičiť väčšie množstvo žiakov a vytvárať väčšie zisky pri dodržiavaní vysokých bezpečnostných štandardov.

Cieľom druhého dotazníka bolo vyskúmať postoje žiakov v letovom výcviku k takémuto systému a zmapovať preferencie prvkov a funkcií, ktoré považujú za dôležité a ktoré by im v čo najvyššej miere uľahčili a urýchlili proces letového výcviku.

4.3. Výskumná vzorka respondentov

Respondentmi prvého dotazníka boli inštruktori letového výcviku z rôznych krajín v počte 69. Inštruktora, ako osobu v priamom kontakte s vedením leteckej školy a na druhej strane zákazníkom, čiže žiakom leteckej školy, považujeme za optimálneho kandidáta na posúdenie jednotlivých aspektov. Každý z nich taktiež musel absolvovať letový výcvik a tak boli pre potreby tejto práce schopní objektívne odpovedať na jednotlivé otázky.

Respondenti druhého dotazníka boli žiaci v letovom výcviku prípadne absolventi v celkovom počte 74. Každý, kto letovým výcvikom prešiel vie, že tento proces je extrémne časovo, fyzicky a finančne náročný a uvíta akýkoľvek prostriedok, ktorý tento zefektívni.

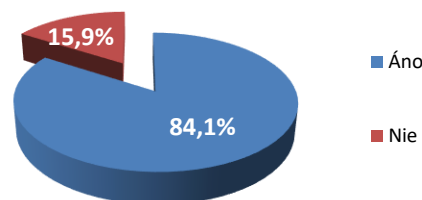
5. Vyhodnotenie výsledkov výskumu

Dotazník pre inštruktorov pozostával z trinástich otázok a dotazník pre žiakov v letovom výcviku mal pätnásť otázok. Pre názornosť uvedieme štyri podstatné otázky z dotazníka pre inštruktorov.

Jedna z otázok bola zameraná na zisťovanie, či by leteckí inštruktori prijali možnosť spravovať každodenne používané formy a dokumenty (žiacka knižka študenta, osnova...) v procese letového výcviku v elektronickej podobe. 84,1% inštruktorov by túto možnosť prijalo, ale 15,9% je proti. Výsledky si môžeme pozrieť v Tabuľke 2 a Grafe 1.

Tabuľka 2: Možnosť spravovať dokumenty elektronicky. Zdroj: Autori.

Možnosti	Odpovede	Podiel
Áno	58	84,1%
Nie	11	15,9%

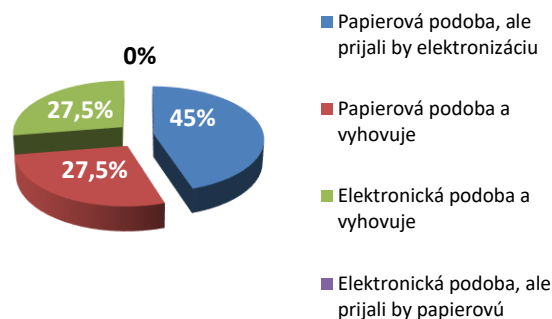


Graf 1: Možnosť spravovať dokumenty elektronicky. Zdroj: Autori.

V ďalšej otázke sme sa pýtali v akej podobe respektíve forme je osnova výcviku, ktorú pred letom inštruktori kontrolujú (ktoré úlohy v letovej osnove už žiak splnil a ktoré splniť ešte potrebuje) a či im táto forma vyhovuje. 45% inštruktorov používa osnovu v papierovej podobe, ale prijali by jej elektronizáciu. Zhodne po 27,5% mali možnosti, pri ktorých podoba osnovy inštruktorom vyhovuje, pričom v jednom prípade je osnova v papierovej a v druhom v elektronickej podobe. 0% mala možnosť, pri ktorej je osnova v elektronickej podobe, ale inštruktor by preferoval zmenu na papierovú. Výsledky si môžeme pozrieť v Tabuľke 3 a Grafe 2 nižšie.

Tabuľka 3: Forma osnovy výcviku a preferencie inštruktorov. Zdroj: Autori.

Možnosti	Odpovede	Podiel
Papierová podoba, ale prijali by elektronizáciu	31	45%
Papierová podoba a vyhovuje	19	27,5%
Elektronická podoba a vyhovuje	19	27,5%
Elektronická podoba, ale prijali by papierovú	0	0%



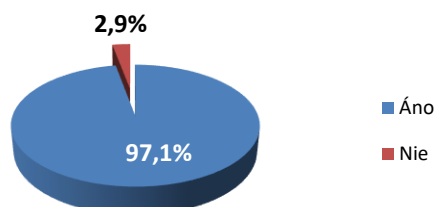
Graf 2: Forma osnovy výcviku a preferencie inštruktorov. Zdroj: Autori.

Nasledujúcou otázkou sme zisťovali, či by sa inštruktorom páčila možnosť kontroly progresu žiaka prostredníctvom elektronickeho systému. 97,1% opýtaných inštruktorov

odpovedalo áno. Len 2,9% inštruktorov odpovedalo nie. Výsledky si môžeme pozrieť v Tabuľke 4 a Grafe 3.

Tabuľka 4: Kontrola progresu žiaka cez elektronický systém. Zdroj: Autori.

Možnosti	Odpovede	Podiel
Áno	67	97,1%
Nie	2	2,9%

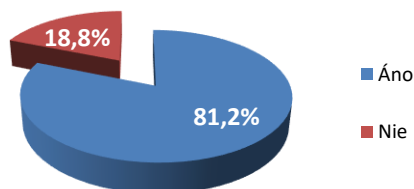


Graf 3: Kontrola progresu žiaka cez elektronický systém. Zdroj: Autori.

V poslednej otázke sme sa inštruktorov pýtali, či by sa im páčila mať podstatné náležitosti spojené s letovým výcvikom v mobilnej aplikácii. 81,2% inštruktorov by takúto možnosť prijalo a 18,8% bolo proti. Výsledky si môžeme pozrieť v Tabuľke 5 a Grafe 4 nižšie.

Tabuľka 5: Podstatné náležitosti dostupné v mobilnej aplikácii. Zdroj: (Autori)

Možnosti	Odpovede	Podiel
Áno	56	81,2%
Nie	13	18,8%



Graf 4: Podstatné náležitosti dostupné v mobilnej aplikácii. Zdroj: Autori.

6. Diskusia

Pri výbere praktického riešenia sme sa vychádzali z Tabuľky 1, v ktorej máme analýzu funkcií a prvkov a tiež o preferencie inštruktorov a žiakov zistené výskumom pomocou dotazníkov. Za vhodné riešenia pre LVVC, UNIZA sme zvolili systém od spoločnosti **Evionica, Private-Radar a Talon Systems**.

Všetky systémy, z ktorých sme vyberali disponovali systémom plánovania, elektronickej dokumentácie, elektronickej osnovy, riadenia kvalifikácií a tvorby užívateľov.

84,1% inštruktorov by prijalo možnosť spravovať každodenne používané formy a dokumenty používané vo výcviku elektronickej a 97,1% by sa páčila možnosť kontroly progresu žiaka prostredníctvom elektronickej osnovy. Tieto výsledky poukazujú na potenciál prínosu elektronickej dokumentácie.

Otázku ohľadom elektronickej osnovy sme položili inštruktorom a rovnako aj žiakom. Pri tejto otázke sme sa taktiež pýtali na preferencie, či forma, ktorú používajú vyhovuje alebo by prijali zmenu. V oboch prípadoch mala najväčšie percentuálne zastúpenie odpoveď, že osnovu používajú v papierovej podobe, ale prijali by jej elektronicizáciu. U inštruktorov to bolo 45% a u žiakov 55,4%.

Pri výbere riešenia teda rozhodovali ostatné funkcie a prvky podľa preferencií žiakov a inštruktorov. Keďže LVVC podlieha Dopravnému úradu, ktorý spadá pod predpisovú základňu EASA vybrali sme systém, ktorý je s touto predpisovou základňou kompatibilný, prípadne zákazníci používajúci takýto systém spadajú pod agentúru EASA. Systém, ktorý sme vybrali taktiež disponuje aj vlastnosťou riadenia CAMO alebo ponúka samostatný systém, ktorý je možné spojiť so systémom riadenia leteckej školy.

Nechýba ani funkcia e-learningu, elektronickej knižnice, upozornení a vytvárania štatistík zo zvolených parametrov.

Systémy ponúkajú taktiež aplikáciu pre zariadenia ako sú mobilné telefóny alebo tablety. Záujem o aplikáciu prejavili v dotazníku žiaci a rovnako aj inštruktori, keďže 81,2% inštruktorov a 90,5% žiakov by sa takáto aplikácia páčila. 60,8% žiakov je ochotných si za takúto aplikáciu aj priplatiť.

82,4% žiakov vo výcviku je podľa výsledkov dotazníka taktiež ochotných tolerovať elektronicke monitorovanie počas letu. Táto funkcia a zároveň aj hardvérové riešenie by mohlo pomôcť pri veľkom počte navigačných letov, ale túto funkciu sme zvolili za pomocnú a disponuje ňou len systém spoločnosti Private-Radar. Spoločnosť Evionica má takýto systém vo vývoji.

Systém Flight Office a systémy od spoločnosti ASA, MyFlightSolutions, Times2Fly a FlightSheets sme nevybrali pre ich zameranie výhradne na riadenie leteckej školy. Nedisponujú funkciou e-learningu ani elektronickej knižnice, ktoré sme už v úvode identifikovali ako základné. Funkciu e-learningu neponúka taktiež systém od spoločnosti Flight Hub. Aj napriek tomu, že 43,3% žiakov viac vyhovuje osobná výučba považujeme túto funkciu v našom riešení za nevyhnutnú. Z výskumu tiež vyplynulo, že len 16,2% žiakov má prístup k študijným materiálom prostredníctvom jednotného elektronickejho systému. Významnosť takýchto elektronickejch vzdelávacích systémov sme mali možnosť pozorovať počas predchádzajúceho roka v období celosvetovej pandémie, kedy nebola osobná výučba možná.

7. Záver

Primárne zameranie bolo predovšetkým na funkčnú stránku a jednotlivé vlastnosti systému riadenia leteckej školy, ktoré by najviac vyhovovali.

Niektoré systémy ponúkali taktiež funkciu sledovania lietadiel a monitorovania počas letu. Analýza takéhoto riešenia, sledovanie a monitorovanie študenta počas letu elektronickejmi zariadeniami s následným automatizovaným vyhodnotením splnenia úloh, prípadne automatizované prepojenie so systémom riadenia leteckej školy alebo údržby by v budúcnosti mohlo byť predmetom ďalšieho výskumu. Predmetom budúceho výskumu môže byť aj finančná stránka systému riadenia leteckej školy.

Referencie

- [1] EBERHARD, A. et al. 2015. Learning Factories for research, education, and training. In *Procedia CIRP*, 5th Conference on Learning Factories. ISSN 2212-8271, 2015, vol. 32, p. 1-6.
- [2] BERLIN, C. et al. 2016. Prerequisites and conditions for socially sustainable manufacturing in Europe's future factories – results overview from the SO SMART project. In *Proceedings of the 7th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2016*. ISSN 2194-5357, 2016, vol. 490, p. 319-330.
- [3] ICAO: ANALYSYS OF THE ASSESSMENT RESULTS OF TRAINING ORGANIZATIONS AND TRAINAIR PLUS MEMBERS [online]. Dostupné na internete: https://www.icao.int/training/SiteAssets/Pages/AssessmentConsultancy/Analysis_Assessment_Resullts.pdf (citované 2021-01-28)
- [4] Karolína Prokopovič: Aviation Training Management Software – A Key to Digital Optimization [online]. Dostupné na internete: <https://aviationvoice.com/aviation-training-management-software-a-key-to-digital-optimization-2-201610101528/> (citované 2021-01-23)
- [5] Momook: Things we value: our clients, our clients' business and aviation industry. Equally, we love IT. Modules [online]. Dostupné na internete: <https://momook.com/#home> (citované 2021-01-28)
- [6] Aviation Voice: Ranking of Aviation Training Centres [online]. Dostupné na internete: <https://aviationvoice.com/ranking-of-aviation-training-centres/> (citované 2021-01-29)
- [7] Evionica: Flight Training Software [online]. Dostupné na internete: <https://evionica.com/services/evionica-ato.html> (citované 2021-01-24)
- [8] Evionica: CAMO Management Software [online]. Dostupné na internete: <https://evionica.com/services/camo-management-software.html> (citované 2021-01-24)
- [9] Evionica: Better aviation service [online]. Dostupné na internete: <https://evionica.com/customers> (citované 2021-01-24)
- [10] Private-Radar: Flight school management system [online]. Dostupné na internete: <https://www.private-radar.com/flight-school-management-system> (citované 2021-02-10)
- [11] Private-Radar: Learning management system [online]. Dostupné na internete: <https://www.private-radar.com/learning-management-system-1> (citované 2021-02-10)
- [12] Private-Radar: Aircraft tracking system [online]. Dostupné na internete: <https://www.private-radar.com/aircraft-tracking-system-1> (citované 2021-02-10)
- [13] FlightLogger: About FlightLogger [online]. Dostupné na internete: <https://flightlogger.net/about-us-history/> (citované 2021-01-24)
- [14] FlightLogger: Meet the modern way to manage a flight school... [online]. Dostupné na internete: <https://flightlogger.net/why-flightlogger/> (citované 2021-01-24)

INSPECTING ACTIVITIES WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE ENERGY INDUSTRY

INŠPEKČNÁ ČINNOSŤ BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV V ENERGETIKE

Vladim Beszédes
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
vbeszedes@gmail.com

Branislav Kandra
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
branislav.kandra@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper acquaints the reader with the use of unmanned aerial vehicles in the energy industry. The first chapter is devoted to the distribution of unmanned aerial vehicles and the distribution of energy as a sector where, according to individual categories, the activities of UAVs in a specific category are described. The second chapter discusses in detail the situation in Slovakia, what legislative acts are subject to inspection activities and to what extent the use of UAV is represented in individual categories of energy in Slovakia. In the following pages, we performed an exemplary high-voltage inspection flight and described the necessary steps to perform a safe flight. In the last fourth chapter, the findings and findings related to the paper and the final summary are evaluated.

Keywords

UAV, Energy industry, Inspection

1. Úvod

Bezpilotné prostriedky pomáhajú zefektívniť proces inšpekcie v energetike najmä z bezpečnostných, finančných a časových aspektov. Bezpilotné prostriedky zvyšujú bezpečnosť na pracoviskách, pretože za normálnych okolností pracovníci, ktorí by vykonávali inšpekčnú činnosť boli vystavení zbytočnému riziku. Dobrým príkladom je lezenie na stožiare vysokého napätia, komíny alebo na konštrukcie veterných elektrární, ktoré siahajú do výšky aj 50 metrov nad terénom. Pri týchto činnostiach okrem potenciálneho nebezpečenstva (pádu alebo vdýchnutia toxických látok) musí byť pozastavená prevádzka. Vďaka bezpilotným prostriedkom operátori UAV môžu stáť pevne na zemi v bezpečnej vzdialenosti od napr. veterných turbín a zbierať dáta bezpečne, rýchlo a efektívne počas bežnej prevádzky a to najmä v prípadoch kedy by vypnutie malo mať za následok obmedzenie distribúcie elektriny alebo zníženie spoľahlivosti sústavy. Za bežných podmienok a okolností je inšpekcia pomocou bezpilotných prostriedkov vykonaná pomerne pohodlným spôsobom, závisí to iba od povahy inšpekcie a poveternostných podmienok. Veľké pracovné zaťaženie spočíva v analýze zhromaždených údajov, kedy je nevyhnutné aby tieto údaje spracovával kvalifikovaný odborník aby nepreliadol chybu, ktorá by mohla skresliť meranie z čoho by mohol v budúcnosti nastať incident. Inšpekcie sú často vykonávané aj ako zisťovanie priamych dôsledkov prírodných katastrof ako sú povodne, víchrice alebo zemetrasenia. V spomenutých prípadoch sa jedná o rýchle nájdenie poškodených objektov napríklad distribučnej sústavy pre dodávky elektrickej energie. Bezpilotné prostriedky v oblasti energetiky majú okrem zefektívňovania služieb aj bezpečnostnú funkciu. [1] [6] [7] [8].

2. Bezpilotné prostriedky v energetike

Pod pojmom „dron“, UAV, bezpilotný prostriedok si verejnosť môže prestaviť UAV na použitie pre vlastné účely ale v skutočnosti tieto prostriedky majú v sebe veľký potenciál pomocou, ktorého zlepšujú kvalitu nášho života. V zahraničí využitie bezpilotných prostriedkov je na vyššej úrovni kde sú bezpilotné prostriedky využívané na rôzne účely ako je prenos krvi, prenos defibrilátorov, doručovanie poštových zásielok, identifikácie požiarov, hľadanie nezvestných osôb, kontrola hraníc štátov alebo doučovanie jedla. Tak ako skvalitňujú procesy a produkty v záujme ochrany a skvalitňovania našich životov tak isto skvalitňujú procesy a produkty v inšpekčných činnostiach v energetike [1]

2.1. Výhody používania bezpilotných prostriedkov

- Najväčšou výhodou sú parametre, čo je malá veľkosť (napr. dĺžka 60cm uhlopriečne) a jednoduchosť (technika pilotáže, skladovanie)
- Lacné prevádzkové náklady (v porovnaní napr. s helikoptérou)
- Ľahká mobilita
- Možnosť vzletu a pristátia na zle dostupných miestach
- Online prenos obrazu
- Vysoké rozlíšenie fotiek a videí
- Možnosť využitia aj v interiéroch

3. Odvetvia energetiky

Energetika je odvetvie, ktoré zahŕňa všetky priemyselne odvetvia zapojené do procesu predaja, ťažby, výroby, rafinácie a distribúcie energie. Rieši technické, ekonomické a ekologické problémy sprevádzajúce získavanie energie z rôznych zdrojov. V dnešnej modernej a konzumnej spoločnosti sa spotrebúva veľké množstvo energie kde energetický priemysel je dôležitou súčasťou spoločnosti na celom svete. Energetický priemysel zhŕňa rôzne odvetvia [2]:

Priemysel fosílnych palív

Fosílna palivá sú nerastné suroviny, ktoré patria do kategórie neobnoviteľných zdrojov energie. Vznikli premenou odumretých zvyškov rastlín a živočíchov t.j. pretvorením organických látok. Najviac ťaženými surovinami sú ropa, uhlie a zemný plyn.

- Ropný priemysel: ropné spoločnosti, rafinérie, distribúcia
- Uhoľný priemysel: ťažba a spracovanie, distribúcia
- Priemysel zemného plynu: ťažba, výroba, distribúcia

Elektroenergetický priemysel

Elektroenergetika sa zaoberá problematikou výroby elektrickej energie z primárnych zdrojov energie, rozvodom elektrickej energie a jej využitím.

- Tepelná energia
- Jadrová energia
- Veterná energia
- Vodná energia

Priemysel obnoviteľnej energie

Zdroje energie, ktoré sa stále obnovujú a sú z pohľadu nárokov dnešnej doby (na rozdiel od tradičných fosílnych palív) nevyčerateľné a pri premene z primárnej energie na využiteľnú formu energie majú minimálny dopad na životné prostredie.

- Vodná energia
- Solárna energia (fotovoltaika)
- Veterná energia
- Geotermálna energia
- Energia z biomasy

3.1. Odvetvie fosílnych palív

Inšpekčná činnosť za použitia bezpilotných prostriedkov v tomto odvetví pozostáva najmä z inšpekcie produktovodov, skladovacích nádrží a ropných vrtov.

Produktovody

Produktovodovy, čiže potrubia sú dopravné prostriedky pomocou ktorých sa prepravujú produkty fosílnych palív ako sú ropa a zemný plyn. Produktovody si (ropovody, plynovody) vyžadujú zo svojej podstaty vysokú spoľahlivosť. Prípadné poškodenia alebo zlyhania produktovodov môžu mať

bezpečnostné a finančné negatívne následky. V prípade produktovodov je potrebné monitorovať a sledovať stav použitých materiálov aby nedošlo k prípadnej degradácii materiálu alebo korózii ako aj k možnému úniku prepravovaného média. Inšpekcia produktovodov predstavuje časovo náročnú činnosť, kedy je potrebné preletieť dlhú vzdialenosť za určitý čas. V tomto prípade sa javia ako výhodné bezpilotné prostriedky s pevným krídlom. Napríklad v USA sú na túto činnosť používané UAV PUMA AE, ktoré používa spoločnosť British Petrol na inšpekciu produktovodov. Spomínané bezpilotné prostriedky sú vyrobené z kevlaru, vážia menej ako 7 kg a sú plne autonómne čo znamená, že ich trasa, rýchlosť a výška sú vopred zadané pred samotným vzletom. Typ takéhoto prostriedku môže letieť aj niekoľko hodín vďaka čomu sa javí ako ideálny na kontrolu potrubí. UAV sú riadené mobilnými pozemnými stanicami, ktoré obsluhuje osoba ako operátor zariadenia a druhý operátor, ktorý obsluhuje palubnú kameru zvyčajne za prítomnosti odborníka v danom odbore na analýzu obrázkov, dát a údajov hneď po ich príchode.

Skladovacie nádrže

Skladovacie nádrže sú tak isto podrobené inšpekciám. V týchto prípadoch je takáto inšpekcia výhodná na čas lebo netreba stavať lešenie a pracovníci nie sú vystavení nebezpečeniu (vdychnutie toxických látok). Pri používaní UAV v stiesnených priestoroch však existujú značné problémy, medzi ktoré patrí nedostatok vhodného osvetlenia a odraz rádiového signálu. V nádržiach sú predmetom inšpekcie:

- Trhliny
- Korózia

Ropné vrty

Ešte predtým ako sa produkty neobnoviteľných zdrojov dostanú cez produktovod k spotrebiteľovi, prebieha ich ťažba a spracovanie na ťažko dostupných a nebezpečných miestach – ropné vrty. Na týchto miestach pomocou bezpilotných prostriedkov vieme monitorovať erupcie z veže z ktorých sú chrlené plamene čo znamená, že inšpekcia prebieha v turbulentnom a horkom prostredí, kde by možná prítomnosť človeka bola riziková. Taktiež vzhľadom na umiestnenie ropných vrtov hlboko v moriach a zálivoch je o to viac potrebná vyššia frekvencia inšpekčnej činnosti vzhľadom na riziko novej ekologickej havárie.

3.2. Odvetvie elektroenergetiky a odvetvie obnoviteľných zdrojov

Výsledkom elektroenergetiky a obnoviteľných zdrojov je energia, ktorá je distribuovaná pomocou prenosovej sústavy. Úlohou prenosovej sústavy je poskytovanie prenosových služieb do distribučných sústav a oprávneným odberateľom, čiže slúži na prenos elektrickej energie z elektrárni do elektrických staníc. Reprezentantom tohto celého procesu je elektrické vedenie, ktoré je všade navôkol. Ďalšími dôležitými prvkami v procese inšpekcie sú rôzne druhy elektrárni ich infraštruktúra a ďalšie súčasti, ktoré sú neoddeliteľnou súčasťou procesu výroby elektrickej energie (napr. vodné plochy).

Vysoké napätie

Inšpekčná činnosť za prítomnosti bezpilotných prostriedkov je v tejto oblasti veľmi dostupná keďže v každej krajine je sieť vysokého napätia, ktorej dĺžka je niekoľko tisíc až desiatok tisíc kilometrov, ktorej súčasťou sú aj tisíce stĺpov elektrického vedenia. Inšpekčná činnosť spočíva najmä v kontrole vysokého napätia kde pomocou termovíziínych kamier a kamier s vysokým rozlíšením môžeme sledovať stav [3]:

- Izolátorov
- Korózie
- Ochranných drôtov
- Svorníkov
- Závlačiek
- Prehriatych miest
- Poškodených komponentov
- Sledovanie ochranných pásiem

V spojitosti s elektrickým vedením pomocou bezpilotných prostriedkov je aj možný monitoring vegetácie a porastov v jeho okolí a vďaka leteckým záberom je možné plánovať výstavbu ďalšej infraštruktúry a kontrolovať ochranné pásma, ktoré priliehajú k vysokému napätiu. Takže v tomto odvetví majú bezpilotné prostriedky aj prediktívnu funkciu. Okrem spomínaných oblastí sa UAV využívajú v spojitosti s elektrickým vedením na inštaláciu zviditeľňovacích prvkov pre prelietavajúce vtáctvo, ktoré je vystavené veľkému riziku kedy stret s vysokým napätím končí úmrtím vtáctva.

- Monitorovanie vegetácie
- Monitorovanie ochranných pásiem
- Vtáctvo

Veterné elektrárne

Najčastejšími prvkami, ktoré podliehajú inšpekčnej činnosti za použitia bezpilotných prostriedkov u veterných elektrární sú vrtule a lopatky veterných turbín, ktoré treba pravidelne monitorovať. V rámci vizuálnej kontroly sa sledujú:

- Lopatky
- Vrtule
- Prehriate miesta
- Stav izolátorov
- Praskliny
- Erózia
- Stav skrutkových spojov

Elektrárne

V elektrárňach je obzvlášť nutné aby sa dodržiavali potrebné protokoly, postupy a bezpečnostné štandardy. Mnoho inšpekcií prebieha v interiéroch, kedy je nutné postaviť na niekoľkohodinovú inšpekciu celé lešenie, ktoré trvá zmontovať a demontovať aj niekoľko dní. Preto aj tu je na mieste použiť na tieto činnosti bezpilotné prostriedky, ktoré sú častokrát v tzv. kletke, ktorá umožňuje zariadeniu naraziť do objektu bez toho aby sa zrútil nakoľko pracuje v stiesnených a zle viditeľných podmienkach. Pri inšpekcií sa sleduje aj stav:

- Kotlov
- Nádrží
- Turbínových zariadení

Komíny

Inšpekcia priemyselných komínov spôsobuje vysoké náklady z dôvodu odstávky výroby ak sa produkcia v elektrárni nedá pozastaviť a predstavuje riziká pre zdravie ľudí v dôsledku vysokých teplôt a toxických plynov. Ak by nastala situácia kedy pracovník by musel vykonávať opravu alebo inšpekciu komína počas prevádzky bol by vystavený teplotám od 150°C a koncentrácii oxidu uhoľnatého a siričitého, ktoré by presahovali povolené limity. Na získanie vysoko kvalitných údajov zo snímačov je nevyhnutné lietanie v blízkosti stien komína, čo kladie vysoké nároky na dobrú lokalizáciu, rýchlu a spoľahlivú kontrolu. Inšpekcia môže byť rozšírená na inšpekciu pomocou žeriavu, kde pracovník za pomoci montážneho koša vstúpi do vložky komína za účelom kontroly vnútornej vložky po celej jej dĺžke. Hlavný súpis prác pri revízii komína pozostáva z niekoľkých bodov. Najdôležitejším prvkom v procese je porovnanie projektových parametrov so skutkovými v rámci čoho je vykonávané na každom mieste vyhodnotenie stavu nosného plášťa a zvarov, kotviacich prvkov, skrutiek, kontrolných otvorov, výstupných a náterových systémov a dilatačných spojov. Revízii taktiež podliehajú aj:

- Odvody
- Rebrík
- Plošina
- Trhliny
- Degradácia materiálu
- Meranie emisií

Zásoby v elektrárňach

Napríklad tepelné elektrárne alebo elektrárne spaľujúce biomasu potrebujú na výrobu elektrickej energie konkrétny produkt, ktorý musia spáliť. V skladoch takýchto elektrární sa nachádzajú zásoby uhlia alebo biomasy z, ktorých je následne získavaná energia. Aby prevádzkovatelia takýchto elektrární mali prehľad koľko zásob majú vieme aj tu využiť bezpilotné prostriedky. V takýchto prípadoch sú UAV vybavené špeciálnym programom na meranie a snímkovanie, ktorý dokáže vypočítať objem na určitej ploche a tak poskytnúť potrebné údaje o aktuálnom množstve uhlia, biomasy, odpadu alebo iných surovín.

Solárna elektrárň

Inšpekčná činnosť pomocou UAV je rýchlou, lacnou a spoľahlivou metódou, pri ktorej vieme overiť kvalitu veľkej plochy solárnych panelov pomocou termodiagnostiky s použitím termokamery pripojenej k bezpilotnému prostriedku. Aby sa predišlo problémom so solárnymi panelmi je potrebné ich kontrolovať. Kontrola termokamerou je v tomto prípade ideálne riešenie. Vo väčšine prípadoch je ťažké sa priblížiť s ručnou kamerou dostatočne blízko, pretože panely sú umiestnené na šikmých strechách, v neprístupných miestach alebo z dôvodu veľkej plochy rozmiestnenia solárnych článkov. Z tohto dôvodu je efektívnym riešením inšpekcia z bezpilotným prostriedkom. Rýchlosť tejto inšpekcie s porovnaním s bežnou je niekoľko krát vyššia spoľahlivejšia a lacnejšia.

4. Príkladová inšpekčná činnosť v praxi

Na záver diplomovej práce sme s vedúcim diplomovej práce prakticky vykonali jeden inšpekčný let v blízkosti vysokého napätia aby sme zistili a objektívne zhodnotili používanie bezpilotných prostriedkov v energetike.

Z dôvodu ľahkej dostupnosti a prístupnosti vysokého napätia a jeho infraštruktúry na území Slovenska sme sa rozhodli v práci vykonať príkladové meranie práve na infraštruktúre vysokého napätia. Objektom nášho merania bolo vysoké napätie smerujúce z Varína do Žiliny, ktoré bolo uskutočnené v piatok 23.04.2021 o 09.30 lokálneho času. Nižšie na obrázku je zaznačená červenou bodkou naša pozícia a pozícia VN, ktoré bolo predmetom merania. Naša presná pozícia bola $49^{\circ}13'03.4''N$ $18^{\circ}47'13.7''E$, približne 50 metrov vpravo od hlavnej cesty smerom zo Žiliny do Terchovej. Počasie bolo prijateľné s teplotou $4^{\circ}C$, s nízkou oblačnosťou zo základňou vo výške približne 1000 metrov nad terénom a bezvetrím bez nárazov vetra. Nakoľko sme sa nachádzali aj vo vzdušnom priestore Žilinského CTR ale vo vzdialenosti 12,5km od letiska tak sme nemuseli zabezpečiť koordináciu s riadením letovej prevádzky, keďže náš let bol vykonaný iba do výšky maximálne 30 metrov nad terénom. Meranie sme vykonali v spolupráci so Stredoslovenskou energetikou a jeho zástupcom, ktorý bol celý čas prítomný a k dispozícii, nakoľko sme sa s UAV pohybovali v bezprostrednej blízkosti vysokého napätia [4] [5].



Obrázok 1: Pozícia merania. Zdroj: Autori.

4.1. Priebeh merania

Pri príchode na miesto inšpekcie sme našli vhodné miesto na vzlet nášho bezpilotného prostriedku. V okolí bolo dostatok vhodných miest na bezpečný vzlet UAV, ktorým bol DJI Mavic 2 vlastníci katedrou leteckej dopravy Žilinskej univerzity. V okolí VN sme sa pohybovali približne jednu hodinu pričom sme použili tri plne nabitú batérie. Stav batérii sme nenechali kvôli bezpečnosti klesnúť pod hranicu cca 30% v prípade ak by nastali nejaké nepredvídateľné okolnosti aby sme mali dostatok času riešiť vzniknutú situáciu. Počas letu nám bol k dispozícii aj zamestnanec Stredoslovenskej energetiky s, ktorým prebiehala konzultácia na čo a ako sa presne zamerať v prípade inšpekcie VN za použitia UAV. V poslednej fáze letu sme zmerali aká najväčšia a zároveň najvhodnejšia vzdialenosť môže byť pri takejto inšpekcie medzi pilotom a UAV z čoho vzišlo, že najväčšia vzdialenosť bola 990 metrov. Z pohľadu operátora UAV to bola limitujúca vzdialenosť nakoľko vizuálny kontakt s UAV bol veľmi malý a už sa mu strácal z dohľadu. V tomto prípade bola vzdialenosť približne 600 metrov „komfortným“ limitom pre naše účely a vizuálny dohľad na UAV.



Obrázok 2: DJI Mavic 2 vlastnený KLD. Zdroj: Autori.

4.2. Zhodnotenie merania

Celkový výstup z merania bol neuspokojivý nakoľko sme zistili veľa negatív pri inšpekcie vysokého napätia pomocou UAV ale zároveň aj niekoľko pozitív. Z pozitívneho hľadiska pri takýchto činnostiach je vhodné nasadiť UAV pri zariadeniach, ktoré by bolo problém vypnúť alebo by nebola zaistená spoľahlivosť sústavy. Z meteorologického hľadiska bolo pozitívne, že bola nízka oblačnosť kedy nám neprekážalo slnečné svetlo, pri jasnom slnečnom dni by sme mali totiž problém s kvalitou snímok, ktoré by boli možno nepoužiteľné nakoľko by sme nemali na výber a museli snímať objekt priamo proti slnku. Negatíva takéhoto merania predstavujú čas a nedostačujúce výstupy merania. Počas letu sme sa nevedeli dostať napríklad k vnútorným stranám svorníkov, spojov alebo izolátorov, ktoré je tiež potrebné skontrolovať. Počas nášho merania sme sa vedeli dostať iba k vonkajším pohľadom ako je možné vidieť na obrázkoch č.3 a 4. Pracovníci počas fyzickej inšpekcie vylezením na stožiare VN, cítia vôľu a pevnosť všetkých predmetov podliehajúcich inšpekcie a v prípade potreby uvoľnené predmety vedia okamžite spevniť, priskrutkovať čo pri inšpekcie s UAV nie je možné. Bez prítomnosti odborníka, ktorý vie čo má byť snímané by sme pravdepodobne nevedeli presne čo, ako a z akého uhlu nasnímať aby naše meranie malo hodnotný výstup. Celková doba merania od príchodu na miesto po zbalenie s dvomi pristátiami na výmenu batérie trvala približne 60 minút. Z hľadiska komfortu a časovej náročnosti považujeme tento čas tiež za negatívum, keďže okolo celého procesu je veľa réžie a to sme nebrali do úvahy výstupy, ktoré je potrebné

následne spracovať kvalifikovaným odborníkom. Taktiež aby bola zabezpečená spoľahlivosť letu a samotné meranie bolo kvalitné je nutné aby pri stožiaroch VN mali bezpilotné prostriedky možnosť s kamerou priblížiť a zaostriť objekt z väčšej vzdialenosti nakoľko v okolí vysokého napätia, ktoré je pod prúdom možno očakávať interferencie a možné rušenie GPS signálu v dôsledku čoho by bezpilotný prostriedok nemusel správne udržiavať svoju GPS pozíciu a mohol by byť riskovaný náraz z prekážkou. Záverom je potrebné dodať, že je potrebná prítomnosť odborníka pri meraní vo svojom obore ak je meranie vykonávané externou firmou.



Obrázok 3: Izolátory VN. Zdroj: Autori.



Obrázok 4: Izolátory VN. Zdroj: Autori.

Tabuľka 1: Výhody a nevýhody merania v praxi. Zdroj: Autori.

Pozitíva	Negatíva
Použitie pri VN, kde nie je možné vypnúť sústavu	Častá výmena batérií
Dobre svetelné podmienky	Nutnosť "zoomu"
Prítomnosť odborníka	Pohľady iba z vonkajšej strany
Malé rušenie GPS signálu	Nemožno zistiť uvoľnené časti VN

5. Záver

V zahraničí bezpilotné prostriedky majú zastúpenie vo všetkých oblastiach energetiky vďaka väčším možnostiam ich uplatnenia než na území Slovenska vďaka geografickým charakteristikám a možnostiam niektorých krajín. Napríklad v USA je vybudovaná rozsiahla sieť produktovodov kde monitorujú ich stav bezpilotné prostriedky s pevným krídlom, v prímorských krajinách alebo

v Rakúsku sú stovky veterných elektrární a pri pobrežiach ako napr. v Severnom mori sú postavené ropné plošiny. Aj toto sú aspekty prečo využitie UAV v zahraničí ponúka týmto prostriedkom väčšie možnosti využitia. Keďže na Slovensku sa neťažia nerastné suroviny (okrem uhlia) tým pádom klesá ich využiteľnosť ako aj ich využitie pri inšpekcii veterných elektrární, ktorých je na Slovensku iba päť. Ich nasadenie môže byť častokrát iba ako doplnok k inšpekcii, ktorá musí byť vykonávaná osobne (komíny) alebo ešte nebola doposiaľ vyvinutá taká technológia, ktorá by mohla zaručiť bezproblémové nasadenie (atómová elektráreň). Preto sme sa v práci rozhodli viac venovať pozornosť elektrickým vedeniam, nakoľko ich dostupnosť je všade na území Slovenska ako aj prístup k informáciám bol o niečo jednoduchší a výstupy bolo možné porovnať. Počas vypracovania diplomovej práce bolo kontaktovaných 10 firiem, ktoré sa venujú inšpekcii v energetike na Slovensku a aj tu sa ukázalo že väčšina z týchto firiem má skúsenosti najmä iba s inšpekciovou vysokého napätia

Bezpilotné prostriedky skvalitňujú služby v procese inšpekcii v energetike vo všetkých odvetviach kde to je možné ako v práci bolo preukázané. Z pokročilou dobou, ktorá sa dynamicky rozvíja z dlhodobejšieho pohľadu prevádzkovateľa rozsiahlych infraštruktúr v energetike ako sú napr. elektrické vedenia alebo produktovody musia mať na pamäti aj demografický vývoj, ktorý bude nútiť inovovať a nahrádzať ľudskú prácu novšími a efektívnejšími technológiami, ktorými sú aj bezpilotné prostriedky, pretože v horizonte niekoľkých rokov môžu byť konfrontovaný s nedostatkom kvalifikovanej pracovnej sily a preto je na mieste ak firmy v oblasti energetiky začali vo svojich postupoch nahrádzať pracovnú silu s novými technológiami. V prvom rade je potrebné implementovať bezpilotné prostriedky v úkonoch, ktoré možno nie sú „core“, čiže v činnostiach, ktoré netvorí hlavnú podstatu a know-how činnosti danej firmy ako sú napríklad v prípade distribučných spoločnostiach monitorovanie porastov alebo kontrola presnosti pozície stĺpov vysokých napätí a až následnej rozvíjať myšlienku nasadzovania bezpilotných prostriedkov aj v náročnejších činnostiach. Je potrebné aby súčasťou merania boli aj profesionáli v danej problematike v prípade, že by tieto merania boli vykonávané externými firmami z čoho vyplýva, že je veľkou výhodou ak firmy v energetickom priemysle majú v svojich štruktúrach aj divíziu s bezpilotnými prostriedkami. Na tento demografický trend aktuálne nastúpilo mnoho inštitúcií vrátane Slovenských distribučných spoločností. Divíziu bezpilotných prostriedkov má napr. Východoslovenská distribučná spoločnosť pričom napr. Stredoslovenská distribučná spoločnosť zatiaľ využíva služby externých firiem ale aktuálne už pracuje na vytvorení taktiež vlastnej divízie s UAV. S postupnou digitalizáciou, robotizáciou alebo mechanizáciou v oblasti energetiky bezpilotné prostriedky ako bolo poukázané majú svoje opodstatnenie len treba zvážiť za akým účelom a do akej miery sa ich ešte oplatí nasadzovať. V budúcnosti UAV prevezmú aj náročnejšie úlohy v oblasti energetiky a preto je potrebné aby firmy držali krok snovými trendmi a brali do úvahy demografický vývoj vo svete a aj na Slovensku.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov, kód ITMS

313011V465, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- [1] VALIAGUA, P. 2020. Drony nám umožňujú vidieť viac a inak. ATP Journal. ISSN 1335-2237, 2020, č. 9, s. 29-31.
- [2] QUASCHNING, V. 2010. *Obnoviteľné zdroje energií*. Praha : Grada Publishing, 2010. 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [3] Internetový zdroj, Dostupné na:
https://www.vsds.sk/mdoc/dso.B6000.A/doc/20190401_VSD_Technicke_Podmienky_PDS.pdf.
- [4] SMOLA, J. – MRVA, T. 2017. *Drony – Praktická príručka pro majitele dronu DJI*. Praha : TELINK, spol. s.r.o., 2017. 178 s. ISBN 978-80-7346-228-4.
- [5] KARAS, J. – TICHÝ, T. 2016. *Drony*. Brno : Computer Press, 2016. 264 s. ISBN 978-80-251-4680-4.
- [6] Novák, A., 2015. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5
- [7] NOVÁK, A., SEDLÁCKOVÁ, A.N., BUGAJ, M., KANDERA, B. and LUSIAK, T., 2020. Use of unmanned aerial vehicles in aircraft maintenance, *Transportation Research Procedia* 2020, pp. 160-170.
- [8] BUGAJ, M., NOVÁK, A., STELMACH, A. and LUSIAK, T., 2020. Unmanned Aerial Vehicles and Their Use for Aircraft Inspection, *Proceedings of the 22nd International Conference on New Trends in Civil Aviation 2020*, NTCA 2020 2020, pp. 45-50.

DESIGN OF UAV DETECTION SYSTEM UTILIZING COMMUNICATION MONITORING

NÁVRH SYSTÉMU DETEKČIE UAV PROSTREDNÍCTVOM MONITOROVANIA KOMUNIKÁCIE

Martin Brodniansky
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
brodnianskym@gmail.com

Andrej Novák
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
andrej.novak@fpedas.uniza.sk

Abstract

Aim of the paper is to design a system capable of detecting unmanned aerial vehicles utilizing radio communication sensing. The need to detect UAVs is caused by combination of their compact size, sensing capabilities, autonomous nature, ways of misusing them or their spread among unprofessional users unaware of their own risky handling of UAV. All these factors can lead to serious security threats and risk to human lives or infrastructure. In this paper, radio communication detection system is proposed as part of a robust system where radio detection is supplemented by other methods, to maximise probability of UAV detection. Significant attention was dedicated to deeper analysis of current progress in the area of radio communication detection systems as well as acoustic, visual and radar detection. Based on this analysis, all systems were compared together based on probability of detection and distances of detection. Comparison together with different properties of detection methods were basic stepping stone for final system proposal. Robust detection system was successfully designed with radio detection as its primary component, radar detection serving primarily as localizer of UAV, acoustic system serving as backup for detection of UAVs without radio communication and visual system for final confirmation of UAV, its model and presence of camera or load.

Keywords

UAV, drone detection, radio detection, unmanned aerial vehicle

1. Úvod

Tento článok je zameraný na analýzu a skúmanie detekcie bezpilotných prostriedkov. Úlohou je navrhnúť optimálny systém detekcie UAV za pomoci monitorovania ich komunikácie. Dôvodom voľby zamerania je narastajúci počet bezpilotných prostriedkov vo vzdušnom priestore, využívaných v profesionálnej ale aj amatérskej sfére. Faktory ako ich kompaktnosť, dostupnosť, autonómnosť a jednoduchosť zneužitia prispievajú k bezpečnostným rizikám a hrozbe pre ľudské zdravie alebo infraštruktúru. Ako príklad možno uviesť niekoľko oblastí z praxe, ktoré v minulosti boli negatívne zasiahnuté bezpilotnými prostriedkami a systém na ich detekciu by v nich bolo možné uplatniť. Spomenúť možno letiská a letectvo všeobecne [1], ohrozenie života a možné usmrtenie s najväčším rizikom v miestach konania hromadných podujatí [2], ohrozovanie súkromia najmä v súvislosti s UAV, ktoré sú vybavené kamerou [3], kriminálne a teroristické činy v podobe UAV pašujúcich drogy alebo nesúcich výbušné zariadenie [1][4][5] prípadne možné kybernetické útoky. [6]

V teoretickej fáze bola pozornosť venovaná najmä analýze rádiových frekvenčnej metódy, súčasnému stavu poznania a princípu jej fungovania. Existujúce práce pristupujú k metóde rádiových detekcie rôznymi spôsobmi najmä z dôvodu rozličných cieľov ich prác. Možno spomenúť prácu venujúcu sa tvorbe databázy rádiových frekvenčných signálov UAV, ktorá má slúžiť na učenie neurónovej siete a rozpoznávanie UAV v rádiových signáloch. [7] Autorii ďalšej práce sa zamerali na detekciu rádiových stopy

UAV v ultra-širokopásmovom spektre, charakterizáciu pohybu UAV v priestore a určenie bodu, v ktorom prekročí chránenú oblasť. [8] Veľmi častým aspektom v prácach je využitie neurónových sietí, ktoré sú schopné v spracovanom signáli schopné identifikovať UAV a prípadne aj jeho typ. Medzi prácami možno ďalej nájsť také, ktoré sa venujú detekcii na krátku vzdialenosť a v interiéri budov, [8] práce zamerané na detekciu UAV v exteriéri na dlhú vzdialenosť, [9] práce venované detekcii UAV v prostredí s interferenciou, [10] a špecifickou je aj práca, ktorej cieľom je detekcia a lokalizácia ovládacej stanice UAV [11] [18] [19].

V našom článku sme sa ďalej venovali aj rozboru alternatívnych metód, vďaka čomu boli identifikované spôsoby, ktoré by mohli eliminovať nedostatky rádiových detekcie [20]. Získané dáta a informácie boli využité k porovnaniu metód a návrhu systému detekcie, ktorého primárnym komponentom je rádiový systém doplnený o alternatívne systémy. Pojem alternatívne systémy označuje akustickú, radarovú a vizuálnu detekciu a ich cieľ je doplniť rádiovú metódu s cieľom maximalizovať pravdepodobnosť detekcie UAV.

2. Metodika

Na základe poznatkov z teoretickej časti sa práca zamerala na analýzu rádiových frekvenčnej detekcie a rovnako alternatívnych metód. Cieľom analýzy je akumulácia dát a informácií dostatočných pre hlbšie porovnanie rádiových metód a alternatívnych metód detekcie. Aby mohli byť relevantné

odborné práce zbierané efektívne, bolo potrebné v prvom rade určiť kritéria výberu prác. Bezpilotné prostriedky boli z toho dôvodu rozdelené do tried na základe *Delegovaného nariadenia komisie (EÚ) 2019/945 z 12. marca 2019 o bezpilotných leteckých systémoch a o prevádzkovateľoch bezpilotných leteckých systémov z tretích krajín a taktiež Rozhodnutia č. 2/2019 zo 14.11. 2019, ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky. [12][13]*

Tabuľka 1: Rozdelenie bezpilotných prostriedkov do tried a prevádzkových kategórií. Zdroj: [12][13].

Trieda UAV	MTOM	Prevádzková kategória	Prevádzkové obmedzenia
C0	< 250 g	A1	Maximálna horizontálna rýchlosť je 19 m/s. Zákaz preletu nad zhromaždeniami ľudí. Minimalizácia preletov nad nezúčastnenými osobami.
C1	< 900 g		
C2	< 4 kg	A2	Vzdialenosť viac ako 50 metrov od nezúčastnených osôb.
C3	< 25 kg (typický rozmer < 3 m)	A3	Vzdialenosť viac ako 50 metrov od nezúčastnených osôb.
C4	< 25 kg		

Pre účely práce boli zvolené triedy C0, C1 a C2, ktoré sa radia do prevádzkovej kategórie A1, A2 a zahŕňajú UAV od 0 g až do 4 kg. Výber článkov sa zamerlal primárne na skupinu, ktorá obsahuje percentuálne vyjadrenie pravdepodobnosti detekcie UAV a vzdialenosť, na ktorú systém dokázal UAV detegovať. V rámci skúmania prác a dát sa práca zamerlala aj na to, v akom prostredí boli vykonané merania. Dôvodom bolo zistiť, či pri zvolených prácach autori vykonávali experimenty v reálnom prevádzkovom prostredí, v prítomnosti interferencie, alebo za podmienok výskytu viacerých UAV vo vzdušnom priestore. Dáta boli akumulované systematických vyhľadávaním v databázach Scopus a Web of Science, na základe určených kľúčových slov, relevantných k danej skúmanej problematike. Články boli organizované do tabuliek podľa konkrétnej problematiky a obsahujú základné informácie ako autora, rok vydania, kľúčové slová, metodiku a v neposlednom rade, samozrejme, výsledky práce.

Práca sa ďalej venovala vyhodnoteniu každej metódy detekcie, na základe zozbieraných dát. Cieľom vyhodnotenia bolo zhrnutie informácií získaných z prác. Posledná časť práce mala v prvom kroku za cieľ porovnať metódy detekcie na základe získaných dát o pravdepodobnosti detekcie UAV a vzdialenosti, na ktorú sú systémy schopné UAV efektívne detegovať. Porovnanie je vykonané na základe aritmetického priemeru hodnôt pravdepodobnosti, ktoré autori prác dosiahli pri konkrétnych vzdialenostiach detekcie. Na základe porovnania

pravdepodobnosti je vytvorené vyhodnotenie, aká metóda je najvhodnejšia pri akej vzdialenosti detekcie. Pre účely návrhu systému bol načrtnutý jednoduchý scenár, v ktorom by mal byť systém využitý. Následne opierajúc sa o informácie z predošlých krokov bol navrhnutý robustný systém detekcie UAV, kombinujúci všetky metódy s cieľom maximalizovať pravdepodobnosť detekcie UAV.

3. Návrh systému detekcie a jeho prevádzka

Pre účely práce bol navrhnutý jednoduchý scenár detekcie. Systém bol navrhnutý pre účely monitorovania chránenej oblasti s rádiusom 100 metrov. Aby bolo možné oblasť spoľahlivo monitorovať a chrániť pred potenciálne nebezpečnými UAV, bolo potrebné monitorovať širšiu oblasť než len vymedzený rádius 100 metrov. Z toho dôvodu bola sledovaná oblasť až do vzdialenosti 3 kilometre. Keďže sledovaná oblasť je rozsiahla, bol rádiový frekvenčný systém detekcie doplnený o ďalšie systémy aby bola pravdepodobnosť detekcie maximálna.

3.1. Pravdepodobnosť detekcie

Systém detekcie je založený na štyroch rôznych metódach, ktoré majú rôzne vlastnosti, výhody, nevýhody a preto rôzne úrovne pravdepodobnosti detekcie UAV, v rôznych podmienkach. Z toho dôvodu bolo potrebné pravdepodobnosti spracovať a na ich základe určiť ako najlepšie vybrané metódy skombinovať pre maximálny účinok.

Pri porovnaní systémov bolo postupované spôsobom, kedy sa celý 3000 metrov dlhý rozsah detekcie rozdelil na segmenty. Segmenty nie sú v celej vzdialenosti detekcie jednotné. Dôvodom je, že akustický a vizuálny systém detekcie sú schopné spoľahlivo na kratšiu vzdialenosť a pravdepodobnosť detekcie sa preto výrazne mení už pri zmenách vzdialenosti o niekoľko metrov. Do vzdialenosti 10 metrov sú preto segmenty dlhé 5 metrov a do 200 metrov sú segmenty dlhé 10 metrov. Od vzdialenosti 200 metrov do 1500 metrov sú už segmenty jednotne dlhé 100 metrov a v časti od 1500 metrov do 3000 metrov je to 250 metrov. Voľba dĺžok segmentov sa opierala o vzdialenosť, na ktoré dokázali spoľahlivo detegovať bezpilotné prostriedky autori vybraných prác.

Ďalším krokom v postupe bolo určenie priemernej pravdepodobnosti detekcie metód, vzhľadom na konkrétnu vzdialenosť detekcie. Pre tieto účely boli využité všetky práce, ktoré obsahovali percentuálne vyjadrenie pravdepodobnosti detekcie a vzdialenosti, na ktorú bola daná pravdepodobnosť dosiahnutá. Takýmto spôsobom bola určená pravdepodobnosť všetkých štyroch vybraných metód, v celom rozsahu od 0 metrov do 3000 metrov. Príkladom môže byť pravdepodobnosť detekcie pomocou rádiový frekvenčnej metódy, na vzdialenosť 100 metrov. Najskôr je potrebné určiť s akou pravdepodobnosťou boli v každej práci autori schopní detegovať UAV na túto vzdialenosť a následne je z hodnôt vytvorený aritmetický priemer.

Tabuľka 2: Priemerná pravdepodobnosť detekcie RF systému, na vzdialenosť 100 metrov. Zdroj: Autori.

	Detekcia nízko letiacich UAV pomocou DNN [14]	Detekcia fyzických charakteristík UAV v RF komunikácii [15]	Detekcia UAV na základe stopy v rádiovom spektre [16]	Detekcia UAV na pomocou Wi-Fi signálu a rádiovkej stopy [17]	Priemerná pravdepodobnosť
100 m	0,931	0,900	0,952	1,000	0,946

Samotné porovnanie bolo vykonané v prostredí programu Microsoft Excel, kde bola vytvorená tabuľka s celým rozsahom vzdialeností a pravdepodobnosťami jednotlivých metód. Algoritmus potom určil, ktorá metóda má najvyššiu pravdepodobnosť detekcie UAV na základe konkrétneho segmentu vzdialenosti.

S využitím výsledkov z tabuľky bolo v kombinácií s poznatkami o vybraných metódach potrebné určiť, ako budú metódy skombinované s cieľom maximalizovať spoľahlivosť systému. Na základe pravdepodobností sú metódy najspoľahlivejšie pri nasledovných vzdialenostiach:

Tabuľka 3: Vzdialenosti, v ktorých boli vybrané metódy najspoľahlivejšie. Zdroj: Autori.

Vzdialenosť [m]	Metóda
5 – 80	RFD
90 – 150	AD
160 – 180	RFD
190 – 500	RD
600 – 1400	RFD
1500 – 3000	RD

Z dôvodu známych vlastností systémov nebude zloženie systému pevne založené len na predchádzajúcej tabuľke. Účelom návrhu bude využitie predností systémov tak aby čo najlepšie doplnili rádiový systém.

3.2. Rádiový detekcia

Metóda je primárnym komponentom systému a na základe porovnania pravdepodobností môže v systéme spoľahlivo fungovať vo vzdialenosti od 0 metrov do 1400 metrov. Dôvodom pre takýto spôsob využitia metódy v systéme je celková spoľahlivosť rádiového systému a konkrétne výhody oproti ostatným metódam. Rádiová detekcia má oproti akustickej alebo vizuálnej metóde výrazne väčší dosah. Okrem toho nie je citlivá na hlučné prostredie a nie je obmedzená poveternostnými podmienkami alebo zlou viditeľnosťou. V porovnaní s radarovou detekciou je výhodou rádiovkej detekcie, že ju neobmedzuje RCS bezpilotného prostriedku a nie je pre ňu problematická ani detekcia roja blízko letiacich UAV. U radarovej detekcie sa navyše ukázalo, že je vyššia šanca na falošne pozitívne hlásenia, kedy si systém zamení letiaceho vtáka s UAV, čo u rádiovkej detekcie tak isto nie je problém.

3.3. Vizuálna detekcia

Vizuálna detekcia je systém s najkratším dosahom avšak oproti ostatným metódam poskytuje špecifické výhody, ktoré ostatné metódy v súčasnosti poskytnúť nemôžu. Na základe získaných dát môžeme vidieť, že vizuálna detekcia dokáže spoľahlivo fungovať v rozsahu od 0 metrov do 50 metrov. Výhodou systému

je najmä fakt, že prevádzkovateľovi systému detekcie poskytuje vizuálny materiál pre overenie, či sa skutočne jedná o UAV, či je vybavené kamerou, nákladom a o aký model bezpilotného prostriedku sa jedná. Tieto výhody sú zároveň primárny účel, pre ktoré je vizuálna detekcia zakomponovaná do systému.

3.4. Akustická detekcia

Akustická detekcia podľa získaných dát poskytuje spoľahlivú detekciu v rozsahu od 0 metrov do 150 metrov. Najväčšou výhodou, ktorú poskytuje v kombinácii s radarovou a vizuálnou detekciou je schopnosť detegovať aj UAV, ktoré nekomunikuje v rádiový frekvenčnom spektre. Výhoda je zároveň primárny dôvod prečo je v systéme akustická detekcia využitá. Okrem toho však systém vo svojom rozsahu poskytuje spoľahlivú detekciu a aj identifikáciu bezpilotných prostriedkov.

3.5. Radarová detekcia

Radarová detekcia poskytuje z hľadiska vzdialenosti najpriaznivejšie hodnoty a na základe analyzovaných dát je možné spoľahlivo detegovať letiace objekty až na vzdialenosť 3000 metrov. Radarová detekcia je v systéme využitá dvoma spôsobmi, z ktorých jeden je možné opísať ako systém včasného varovania. Radar by prevádzkovateľovi systému poskytoval v dostatočnom predstihu informácie o letiacich objektoch, ktoré sa nachádzajú v okolí chránenej oblasti až do vzdialenosti 3000 metrov. Okrem toho je systém výhodný z hľadiska poskytnutia informácií o pozícii UAV. To sa dá dosiahnuť aj s rádiovou alebo akustickou detekciou avšak lokalizácia by vyžadovala rozmiestnenie viacerých senzorov aj mimo chránenej oblasti, čo nemusí byť možné za každých podmienok.

3.6. Princíp prevádzky systému

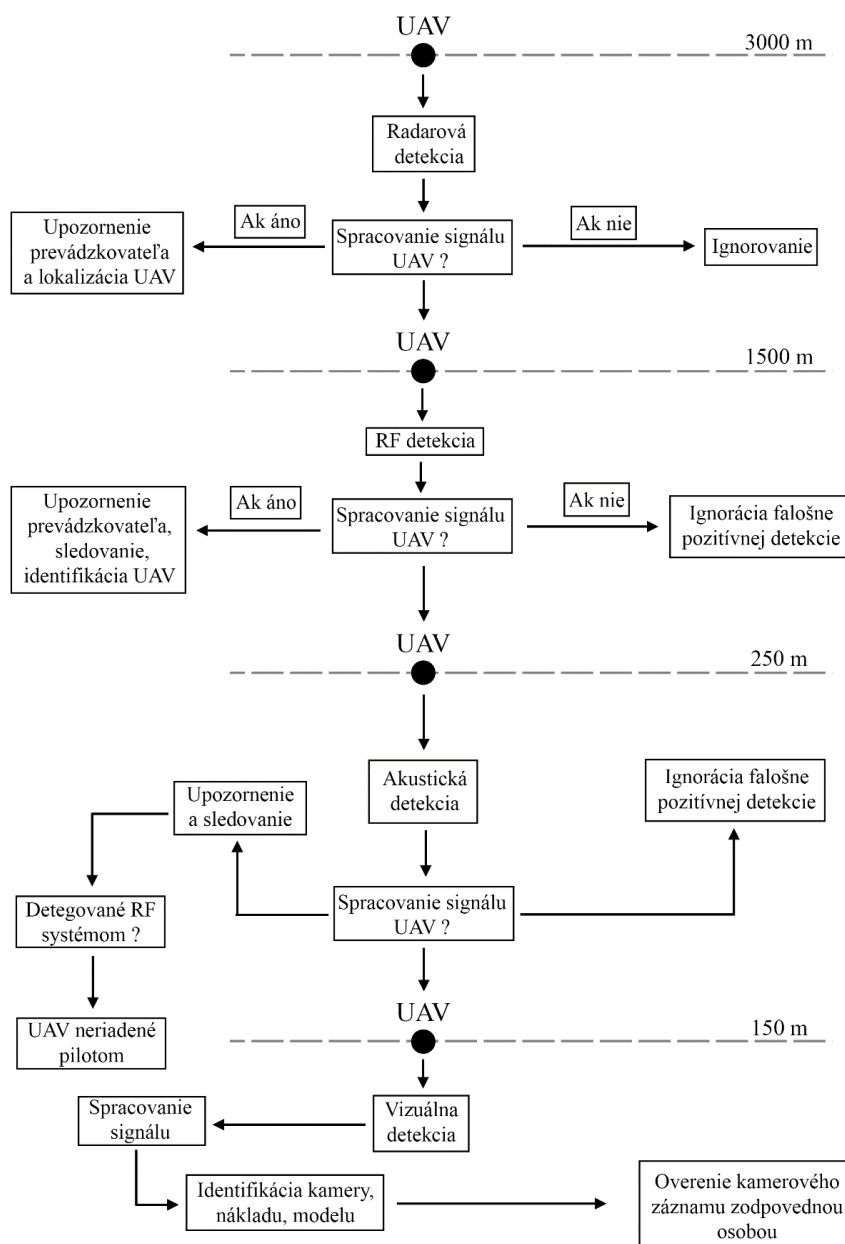
UAV, ktoré sa približuje k chránenej oblasti je ako prvé detegované radarovým systémom, ktorý pôsobí v rozsahu 0 metrov až 3000 metrov. Ďalšou hranicou je 1500 metrov, kedy je UAV detegované rádiovým systémom. Vzdialenosť bola predĺžená z 1400 metrov na 1500 metrov vďaka tomu, že rádiové senzory sa nachádzajú na obode, 100 metrov ďaleko od centra chránenej oblasti. Po rádiovkej detekcii nasleduje akustická, ktorej hranica sa nachádza vo vzdialenosti 250 metrov od centra. Vzdialenosť bola tak isto predĺžená umiestnením mikrofónov na obvod chránenej oblasti. Poslednou hranicou je vzdialenosť 150 metrov od centra, kedy je už možné UAV detegovať aj pomocou kamerového systému.

V predošlej časti práce bol načrtnutý scenár detekcie, v ktorom je cieľom systému chránenie vymedzenej oblasti s rádiusom 100 metrov. Z dôvodu lepšieho situačného prehľadu a možnosti včasnej reakcie na vzniknuté situácie systém monitoruje oblasť až do vzdialenosti 3000 metrov. Fungovanie systému bude ďalej popísané na základe modelovej situácie, kedy sa bude k objektu

približovať bezpilotný prostriedok DJI Phantom. Bepilotný prostriedok začína let mimo sledovanej oblasti, teda za hranicou 3000 metrov.

Po prekonaní hranice 3000 metrov je letiaci objekt detegovaný radarom a získané dáta sú spracované procesorom, ktorého úlohou je určiť či sa jedná o UAV alebo nie. Systém pri detekcii UAV upozorní prevádzkovateľa systému a poskytuje aktuálne informácie o jeho pozícii. V prípade, že sa UAV ďalej približuje a prekoná hranicu 1500 metrov, je detegovaný rádiovým systémom. Dáta zo systému sú opäť spracované procesorom a umelou inteligenciou, ktorej úlohou je opakovane rozhodnúť a overiť či sa jedná o UAV. Rádiová detekcia má v systéme väčšiu váhu, preto potvrdí alebo vyvráti predošlú detekciu UAV radarom. Okrem toho je možné systém využiť aj na identifikáciu

modelu bezpilotného prostriedku. V prípade, že sa UAV ďalej približuje, bude na hranici 250 metrov detegovaný akustickým systémom. Úlohou systému je opäť vykonať overenie či sa jedná o bezpilotný prostriedok. Pokiaľ by došlo k situácii, že UAV nevyužíva rádiovú komunikáciu a vyhne sa detekcii rádiovým systémom, akustický systém toto UAV deteguje a upozorní prevádzkovateľa systému. Poslednou hranicou je vzdialenosť 150 metrov od centra chránenej oblasti, kde UAV deteguje kamerový systém. Opäť spracuje získané obrazové dáta a tie poskytne zodpovednej osobe, ktorá vďaka nim môže overiť či sa skutočne jedná o UAV. Okrem toho je možné na základe obrazového materiálu určiť či je bezpilotný prostriedok vybavený kamerou, nákladom a presne identifikovať model.



Obrázok 1: Vývojový diagram systému detekcie UAV. Zdroj: Autori.

4. Záver

V práci sa na základe analýzy úspešne podarilo identifikovať potrebu detekcie bezpilotných prostriedkov a citlivé oblasti, pre ktoré je takýto systém užitočný.

V praktickej časti bol na základe poznatkov z teórie venovaný priestor hlbšej analýze odbornej literatúry, relevantnej k metódam detekcie UAV. Hlavným zámerom analýzy bolo zistiť aké vlastnosti mali systémy navrhnuté autormi, so zameraním na pravdepodobnosť detekcie UAV a vzdialenosť detekcie. Metódy boli následne porovnané a analýza spoločne s porovnaním slúžili ako nástroj pre vypracovanie návrhu systému detekcie UAV. Návrh má formu robustného systému, ktorý zahŕňa rádiovú metódu detekcie doplnenú o alternatívne metódy.

Rádiová detekcia je primárnym komponentom systému a na základe porovnania pravdepodobností môže v systéme spoľahlivo fungovať vo vzdialenosti od 0 metrov do 1400 metrov. Rádiová detekcia má oproti akustickej alebo vizuálnej metóde výrazne väčší dosah. Okrem toho nie je citlivá na hlučné prostredie a nie je obmedzená poveternostnými podmienkami alebo zlou viditeľnosťou. V porovnaní s radarovou detekciou je výhodou rádiovú detekcie, že ju neobmedzuje RCS bezpilotného prostriedku a nie je pre ňu problematická ani detekcia roja blízko letiacich UAV. U radarovej detekcie sa navyše ukázalo, že je vyššia šanca na falošne pozitívne hlásenia, kedy si systém zamení letiaci objekt s podobným RCS za UAV, čo u rádiovú detekcie tak isto nie je problém. Celkovo možno rádiovú detekciu označiť za spoľahlivú metódu.

Možnosťou ďalšieho výskumu by boli najmä praktické experimenty a ďalšia optimalizácia systému na základe ich výsledkov. Okrem toho je u systému potenciál modulárnosti. Znamená to, že systém by mohol byť prispôsobovaný na základe konkrétnych prevádzkových podmienok. Z toho dôvodu je priestor aj v oblasti výskumu metodiky, na základe ktorej by bol systém prispôsobovaný podmienkam a prostrediu detekcie.

Referencie

- [1] UK Parliament, House of Commons library (2019). Civilian Drones [Online]. Dostupné na internete: <https://commonslibrary.parliament.uk/research-briefings/cbp-7734/>
- [2] Yaacoub, Jean-Paul et al. "Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations." *Internet of Things* vol. 11 (2020): 100218. doi:10.1016/j.iot.2020.100218
- [3] Vacca, A., Onishi, H., & Cuccu, F. (2017). Drones: Military weapons, surveillance or mapping tools for environmental monitoring? advantages and challenges. A legal framework is required. Paper presented at the Transportation Research Procedia, , 25 51-62. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.209 Retrieved from www.scopus.com
- [4] Horsman, G. (2016). Unmanned aerial vehicles: A preliminary analysis of forensic challenges. *Digital Investigation*, 16, 1-11. doi:10.1016/j.diin.2015.11.002
- [5] Airspace Magazine. How Many Drones Are Smuggling Drugs Across the U.S. Southern Border? [Online]. Dostupné na internete: <https://www.airspacemag.com/flight-today/narcodrones-180974934/>
- [6] TOWNSEND, K. (2019). Sky-high concerns: Understanding the security threat posed by drones [Online]. Dostupné na internete: <https://blog.avast.com/what-security-threats-are-posed-by-drones>
- [7] Mohammad Al-Sa'd, et al., RF-based drone detection and identification using deep learning approaches: an initiative to-towards a large open source drone database, *Future Gener. Comput. Syst.* 100 (2019) 86e97, <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.05.007>.
- [8] Digulescu, A., Despina-Stoian, C., Stănescu, D., Popescu, F., Enache, F., Ioana, C., . . . Șerbănescu, A. (2020). New approach of uav movement detection and characterization using advanced signal processing methods based on uwb sensing. *Sensors (Switzerland)*, 20(20), 1-18. doi:10.3390/s20205904
- [9] Yang, S., Qin, H., Liang, X., & Gulliver, T. A. (2019). An improved unauthorized unmanned aerial vehicle detection algorithm using radiofrequency-based statistical fingerprint analysis. *Sensors (Switzerland)*, 19(2) doi:10.3390/s19020274
- [10] M. Ezuma, F. Erden, C. Kumar Anjinappa, O. Ozdemir and I. Guvenc, "Detection and Classification of UAVs Using RF Fingerprints in the Presence of Wi-Fi and Bluetooth Interference," in *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 1, pp. 60-76, 2020, doi: 10.1109/OJCOMS.2019.2955889.
- [11] Huang, X., Yan, K., Wu, H. -, & Wu, Y. (2019). Unmanned aerial vehicle hub detection using software-defined radio. Paper presented at the IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, BMSB, , 2019-June doi:10.1109/BMSB47279.2019.8971851 Retrieved from www.scopus.com
- [12] EUR-Lex. Delegované nariadenie komisie (EÚ) 2019/945 z 12. marca 2019 o bezpilotných leteckých systémoch a o prevádzkovateľoch bezpilotných leteckých systémov z tretích krajín [Online]. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0947&from=EN>
- [13] Dopravný úrad. Rozhodnutie č. 2/2019 zo 14.11. 2019, ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky [Online]. Dostupné na internete: <http://nsat.sk/wp-content/uploads/2019/11/R2-2019.pdf>

- [14] Cao, C., Hou, Q., Gulliver, T. A., & Lan, Q. (2020). A passive detection algorithm for low-altitude small target based on a wavelet neural network. *Soft Computing*, 24(14), 10693-10703. doi:10.1007/s00500-019-04574-3
- [15] Yang, S., Qin, H., Liang, X., & Gulliver, T. A. (2019). An improved unauthorized unmanned aerial vehicle detection algorithm using radiofrequency-based statistical fingerprint analysis. *Sensors (Switzerland)*, 19(2) doi:10.3390/s19020274
- [16] Nguyen, P., Truong, H., Ravindranathan, M., Nguyen, A., Han, R., & Vu, T. (2017). Matthan: Drone presence detection by identifying physical signatures in the drone's RF communication. Paper presented at the MobiSys 2017 - Proceedings of the 15th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, 211-224. doi:10.1145/3081333.3081354 Retrieved from www.scopus.com
- [17] Nie, W., Han, Z., Zhou, M., Xie, L., & Jiang, Q. (2021). UAV detection and identification based on WiFi signal and RF fingerprint. *IEEE Sensors Journal*, doi:10.1109/JSEN.2021.3068444
- [18] Novák, A., Novák Sedlačková, A., Janovec, M., 2020. Komunikačné systémy v letectve EDIS - Žilina, Žilinská univerzita v Žiline, 2020, ISBN 978-80-554-1737-0
- [19] Novák, A., 2015. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5
- [20] Novák, A. 2005. Radio direction finding in air traffic services. *Promet-Traffic&Transportation* 17 (5), 273-276

IMPROVING ACCES TO AIRCRAFT METEOROLOGICAL DATA RELAY AMDAR

ZLEPŠENIE PRÍSTUPU K ÚDAJOM LIETADLOVÉHO METEOROLOGICKÉHO DÁTOVÉHO PRENOSU AMDAR

Michal Bušovský
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
busovsky@stud.uniza.sk

Miriam Jarošová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jarosova@fpedas.uniza.sk

Abstract

Paper deals with the use of aircraft sensors to obtain meteorological parameters required for predictive weather models, using parameters in ATM and meteorological research. It focuses on the current state of the problem of data acquisition, using the AMDAR system. Comparative use of data from other data sources such as Mode S EHS and Mode S MRAR. By building the necessary infrastructure or equipping of commercial aircraft. Within the paper is developed a methodology, which deals with obtaining data from LPS SR š.p., necessary for the comparison of different systems. The impact of the AMDAR system on aircraft instruments and on the safety of air traffic. Based on the analyzed facts, examples of the use of the system are pointed out, but also of the problems associated with this system.

Keywords

AMDAR, ACARS, SESAR

1. Úvod

Moderné komerčné lietadlá sú vybavené meteorologickými senzormi, ktoré sú spojené so sofistikovanými systémami pre získavanie a spracovanie údajov. Poskytujú vstupné údaje v reálnom čase pre systémy na riadenie letu, navigačné systémy v lietadle a iné palubné systémy. Údaje sa tiež zaznamenávajú do zapisovač letových údajov pre off-line analýzu a špeciálne spracovanie (napr. pri vyšetřovaní nehôd).

Počítače lietadla môžu byť naprogramované tak, aby vykonávali meteorologické pozorovania vo vopred určených časoch a poskytovali automatické vysielanie na zem. Toto sa obvykle vykonáva prostredníctvom komunikačného, adresného a hlasného systému lietadla (ACARS), ktorý pracuje pri veľmi vysokej frekvencii (VHF) alebo prostredníctvom satelitného rádiového spojenia. Pozemné spracovanie a šírenie údajov sa dosahuje prostredníctvom systémov poskytovaných príslušným leteckým dopravcom, poskytovateľom letových prevádzkových a leteckých informačných služieb a taktiež centier na spracovanie meteorologických správ.

Globálny program pre rozvoj lietadlového meteorologického dátového prenosu (AMDAR) iniciovalo WMO a jeho členovia v spolupráci s leteckými partnermi. Viedlo to k vývoju pozorovacieho systému AMDAR. Pozorovací systém AMDAR je podsystem integrovaného globálneho pozorovacieho systému WMO a globálneho pozorovacieho systému, ktorý je definovaný a udržiavaný v rámci programu WMO World Weather Watch Program.

Cieľom tejto diplomovej práce je zlepšiť prístup k získaniu meteorologických parametrov lietadiel, ktoré už boli získané

v skorších výskumoch pomocou údajov z módu S EHS a MRAR na konštrukciu meteorologických modelov, ako aj na pomoc výsledných TAS lietadiel. Výsledkom bude podať komplexný pohľad na problematiku implementácie systému AMDAR a jeho využitia na základe dát získaných priamo z dátového prenosu údajov. Technicky vylepšená a efektívnejšie koordinovaná správa a zabezpečenie údajov povedie k zlepšeniu prístupu k údajom AMDAR vrátane údajov o leteckých spoločnostiach a o používateľoch údajov tretích strán, čo znamená väčší pozitívny vplyv na aplikácie meteorologických predpovedí a lepšiu predpoveď produktov a služieb. Týmto nakoniec prispejeme k efektívnejšej a bezpečnejšej letovej prevádzke.

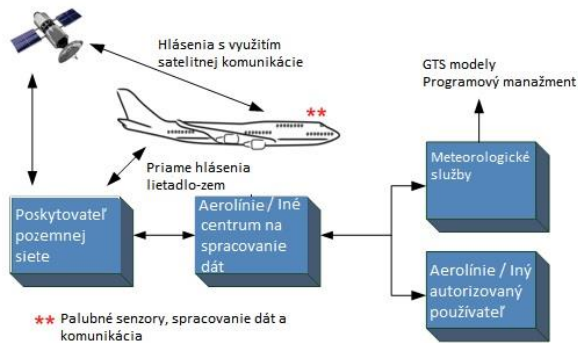
2. Súčasný stav riešenej problematiky

AMDAR je lietadlový systém založený na zbere, zhromažďovaní a prenose meteorologických dát, ktorý využíva údaje zhromaždené a prenášané z lietadla za letu. Tieto dáta slúžia na doplnenie údajov zhromaždených inými meteorologickými prístrojmi, čo v konečnom dôsledku vedie k zlepšeniu presnosti meteorologických predpovedí. AMDAR zhromažďuje a distribuuje nasledujúce meteorologické údaje:

- Vertikálne profily teploty vzduchu
- Rýchlosť a smer vetra na letiskách
- Pravidelné správy o meteorologických podmienkach z lietadiel za letu
- Presné merania súradníc (čas, zemepisná šírka, dĺžka a nadmorská výška)
- Merania intenzity turbulencie a námrazy

- Údaje o vlhkosti vzduchu (iba z niektorých, vhodne vybavených lietadiel)

Systém AMDAR využíva predovšetkým palubné snímače lietadiel, počítače a komunikačné systémy na zber, spracovanie, formátovanie a prenos meteorologických údajov pre pozemné stanice prostredníctvom satelitných alebo rádiových spojení. Keď sú dáta na zemi, prenášajú sa do národných meteorologických a hydrologických ústavov, kde sa spracúvajú, kontroluje sa ich kvalita a následne sa prenášajú sa v informačnom systéme WMO. [1]

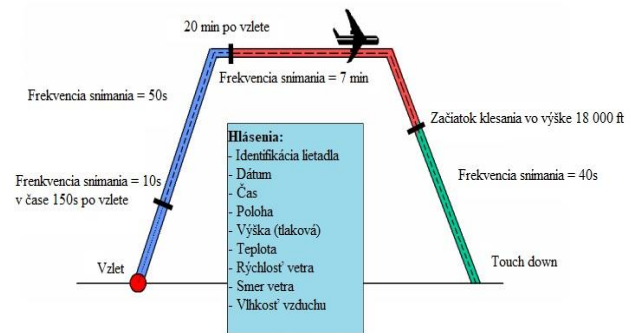


Obrázok 1: Popis základných častí systému AMDAR Zdroj: <https://community.wmo.int/activity-areas/aircraft-based-observations/amdar/amdardescription>

Pozorovací systém AMDAR produkuje viac ako 700 000 vysoko kvalitných pozorovaní teploty vzduchu, rýchlosti a smeru vetra, vlhkosti vzduchu, turbulencií a spolu s požadovanými polohovými a časovými informáciami sa čoraz viac zvyšuje počet meraní a kvalita zberu dát. Zhromaždené údaje sa používajú na rôzne meteorologické aplikácie vrátane verejnej predpovede počasia, monitorovania podnebia, systémov včasného varovania pred nebezpečnými meteorologickými javmi počasia a čo je dôležité, na podporu monitorovania a poskytovania predpovede počasia pre letecký priemysel. [1]

Lietadlový meteorologický dátový prenos AMDAR sa skladá z funkčných pozorovacích systémov AMDAR udržiavaných s národnými a regionálnymi programami AMDAR v spolupráci s ich partnerskými leteckými spoločnosťami. WMO a medzinárodná asociácia leteckých dopravcov (IATA) majú pracovnú dohodu o fungovaní programu AMDAR a očakáva sa, že v blízkej budúcnosti zahájajú iniciatívu na spoluprácu zameranú na rozšírenie programu AMDAR na podporu leteckej a meteorologickej komunity. [6] [7]

Globálny systém AMDAR Svetovej meteorologickej organizácie WMO sa skladá z národných a regionálnych operačných programov AMDAR, do ktorých sú zapojené členské štáty WMO.



Obrázok 2: Priestorové a časové rozdelenie meteorologických správ Zdroj na základe: [https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_1462_en/2\(17\)_Hoff_Germany.pdf](https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_1462_en/2(17)_Hoff_Germany.pdf)

WMO stále vo veľkej miere nalieha na členov, aby pokračovali vo vývoji a rozširovaní pozorovacieho systému AMDAR v súlade s akčným plánom Komisie pre základné systémy, Commission for Basic Systems (CBS). Národné a regionálne programy AMDAR sú zodpovedné za prevádzkovú implementáciu a údržbu svojich príslušných systémov AMDAR v spolupráci s partnerskými leteckými spoločnosťami. Medzi základné medzinárodné a regionálne programy na patria: [2]

- Spolupráca WMO-IATA na rozvoji programu AMDAR (WICAP)
- Globálny, integrovaný pozorovací systém WMO (WIGOS)
- In-service Aircraft for a Global Observing System IAGOS
- Systém prijímania údajov o meteorologickej asimilácii (MADIS)

3. Metodika a metodológia

Údaje, ktoré sme analyzovali v tejto práci boli poskytnuté LPS SR. Vzorka dát pozostávala z vybraných meraní za mesiac február 2018 zo 4 rôznych TAR. Keďže dostupnosť údajov nie je rovnaká pre každú krajinu, bolo potrebné osloviť partnerov zo susedných krajín, a to konkrétne z Českej republiky a Rakúska. Na Slovensku sú TAR nastavené tak, aby boli schopné dopytovať správy Mode-S EHS. V Českej republike je možné TAR využiť aj pre dátové typy Mode-S EHS a MRAR, to znamená, že radary sú schopné dopytovať správy na dvoch rôznych prenosových frekvenciách. Možnosť zhromaždiť MRAR správy si vyžaduje špeciálny odpovedač na palube letúna, ktorý avšak nie je možné nainštalovať na každom type letúna, a taktiež nie každý vzdušný priestor je pokrytý týmito radarmi. Z tohto dôvodu sú správy MRAR menej časté ako správy EHS. Napríklad z TAR Vienna sa získali iba údaje MRAR. Tento radar je prispôbený na príjem informácií z registrov BDS 4.4, 5.0 a 6.0, ale registre 5.0 a 6.0 z TAR Vienna neobsahujú všetky informácie potrebné na odvodenie meteorologických parametrov.

Na Slovensku sú na zhromaždenie údajov využívané TAR Javor a Mosnik. Uvedené radary sú spoločnosťou LPS SR š.p. využívané pre účely získavania polôh lietadiel a iných potrebných informácií v súvislosti s riadením letovej prevádzky. Mód S radary sú schopné získavať z lietadiel údaje z jednotlivých BDS registrov - aj dáta registra BDS 4,4, ktoré obsahujú meteorologické dáta. Tieto dáta nie sú nutne potrebné pre účely riadenia letovej prevádzky, a tak sa radary sa na ne bežne

nedotazujú, čo je i prípad uvedených dvoch radarov. Navyše, nie každé lietadlo je schopné poskytnúť dáta registra BDS 4,4 a doposiaľ ani nebola vydaná požiadavka na získavanie takýchto dát od LPS SR.

V spolupráci s LPS SR š.p. sme sa dohodli na poskytnutí dát z textového súboru vo formáte csv, ktoré v tejto práci využijem pre dátovú analýzu. Dáta, ktoré LPS SR získavajú vo formáte ASTERIX CAT. 048, by som nebol schopný dekódovať, bola mi preto z ich strany poskytnutá súčinnosť formou prípravy dát do požadovaného formátu csv. V rámci tohto procesu bolo vykonané i určité spracovanie - prepočet zo súradnicového systému radaru (RHO/THETA) do systému WGS84 (LAT/LONG), konverzia jednotiek jednotlivých veličín s následným odvodením meteorologických veličín z EHS dát registrov BDS 5,0 a BDS 6,0. Keďže dátami parametrov registra BDS 4,4 LPS SR nedisponujú, bolo nutné požiadať partnerov z okolitých krajín (Rakúska a Českej republiky) o povolenie ich poskytnutia pre účely tejto štúdie.

Tabuľka 1: Percentuálne zastúpenie meteorologických parametrov z celkového počtu pozorovaní Zdroj: Autori.

	Počet pozorovaní	Percentuálne zastúpenie bezchybných pozorovaní z celkového počtu pozorovaní
Všetky pozorovania	2 149 816	100%
Teplota vzduchu v aktuálnej výške a polohe	2 111 656	98,2%
Aktuálny tlak redukovaný na hladinu mora	89 112	4,14%
Rýchlosť a smer vetra	2 080 944	96,7%
Turbulencia	0	0%
Vlhkosť vzduchu	0	0%

4. Analýza a praktické využitie dát

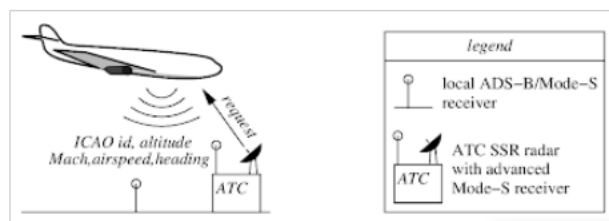
V tejto časti odprezentujem výsledky analyzovaných dát Módu S EHS a MRAR vzhľadom na možnosť využitia aj iných zdrojov dát než len Mód S, a to konkrétne AMDAR. Pozorované sú hodnoty teploty, rýchlosti vetra a smeru vetra (vypočítané aj z iných pozorovaných veličín). V prípade údajov EHS sú podrobnosti v časti, kde bola prevedená štúdia dát z výskumov De Hahn, Strajnar, kde boli porovnané polia prvého modelu. Následne sa získané rozdiely štatisticky analyzovali. Výsledky sú uvedené pre údaje AMDAR, EHS a MRAR v spoločnej tabuľke v tomto poradí. Štatistické nástroje využívané v tejto časti vyvinul B. Strajnar v rámci programu RC LACE. Tieto nástroje spolu s know-how o štatistickej analýze údajov v Móde S sú známe pre každé pozorovanie. Údaje obsahujú polohu (zemepisnú šírku, zemepisnú dĺžku, tlakovú nadmorskú výšku).

Primárnou funkciou radarov je lokalizácia lietadla. Nadmorská výška hlásená radaru sa meria tlakovým snímačom a je dobrým indikátorom statického tlaku vzduchu. Vypočítava sa z

nameraného statického tlaku vzduchu pomocou štandardného modelu atmosféry Medzinárodnej organizácie pre civilné letectvo. Presná poloha a nadmorská výška sú dôležité informácie požadované predovšetkým pre riadenie letovej prevádzky a v našom prípade pre meteorologické údaje. Na každom otočení radaru sú lietadlá umiestnené a dotazované kvôli obsahujúcim údajom. V ideálnych podmienkach získavame nové údaje o každom otočení radaru. Radar získava údaje zo všetkých lietadiel, ktoré sú schopné reagovať. Nie je však zavedený žiadny mechanizmus, ktorý by leteckým spoločnostiam oznamoval kalibráciu ich senzorov. Letecké spoločnosti si často ani neuvedomujú, že ich lietadlá odosielať meteorologické údaje cez radary Módu S do stredísk riadenia letov.

Jediným spôsobom, ako sa zbaviť chybných údajov je identifikovať ich a vylúčiť. Množstvo údajov získaných pomocou radarov Módu S je v porovnaní s rádio-sondami, alebo dokonca AMDAR také veľké, že chybné hodnoty možno pomerne ľahko identifikovať, ak predstavujú menšinu všetkých dostupných údajov.

S využitím módu S (selektívny mód) môže SSR zisťovať letové parametre vďaka downlink komunikácií (DAP) z jednotlivých lietadiel. Tieto DAP parametre obsahujú napríklad údaje o stave lietadla a zámeroch, ktoré sa dajú očakávať a spoločne ich označujeme Mode S Enhanced Surveillance (EHS). Tento režim Módu S EHS obsahuje napríklad uvedenú zvolenú nadmorskú výšku, rýchlosť letu, rýchlosť klonenia alebo traťový uhol. Prostredníctvom Módu S je taktiež možné získať priame informácie o počasí, namerané na palube lietadla prostredníctvom meteorologického rutinného leteckého hlásenia (MRAR). Signály ADS-B a Mode S vysielané lietadlom môže prijímať každý v priamej viditeľnosti pomocou hardvérových prijímačov s nízkou cenou, a preto ich možno považovať za „otvorené údaje“. Populárne online sledovače letov FlightRadar24 používajú tieto signály na zobrazenie polohy a informácií o lietadle v reálnom čase. Pre plánovanie trajektórie letu, meteorologických podmienok (teplota a vietor), výkonov lietadla (hmotnosť a ťah, aerodynamika) sú dôležité premenné získané z palubných snímačov. [3]



Obrázok 3: Operatívny zber dát prostredníctvom Módu S Zdroj: <https://sites.google.com/a/wmo.int/amdar-news-and-events/newsletters/volume-13-april-2017-Compilation/emaddctowardsoperationalcollectionofmode-sehsobservationsineurope>

Dotazovanie vyhradeného registra meteorologických údajov MRAR na druhej strane ponúka ekvivalentné meteorologické informácie podobné tým, ktoré sa prenášajú prostredníctvom AMDAR. Hrastovec a Solina podrobnejšie popisujú technické aspekty Módu S MRAR a zavádzajú metódu na výpočet vertikálnych profilov teploty a vetra v blízkosti ľubľanského letiska v reálnom čase. Pretože v súčasnosti neexistuje žiadny štandard, ktorý by zavádzal výrobcov odpovedačov k vyplneniu

registra MRAR údajmi, dostupnosť MRAR Módu S závisí od typu odpovedača, ktorým je lietadlo vybavené. Napríklad v slovinskom vzdušnom priestore reagovalo pomocou MRAR iba asi 5% všetkých lietadiel. Toto percento sa zvyšuje v nižších vrstvách troposféry, kde bola väčšina údajov k dispozícii z flotily bývalého slovinského národného leteckého dopravcu Adria Airways. Strajnar ukázal, že celková kvalita priamych údajov Módu S, označovaných ako Mód S MRAR, je veľmi podobná kvalite AMDAR, a preto je veľmi sľubná pre asimiláciu údajov. Táto práca pojednáva o prvých výsledkoch kvázi-prevádzkovej aplikácie nových údajov vďaka analýze dát určených pre NWP v rámci meteorologickej služby. [3]

Tabuľka 2: Vybrané TAR s celkovým počtom spracovaných dát. Zdroj: Autori.

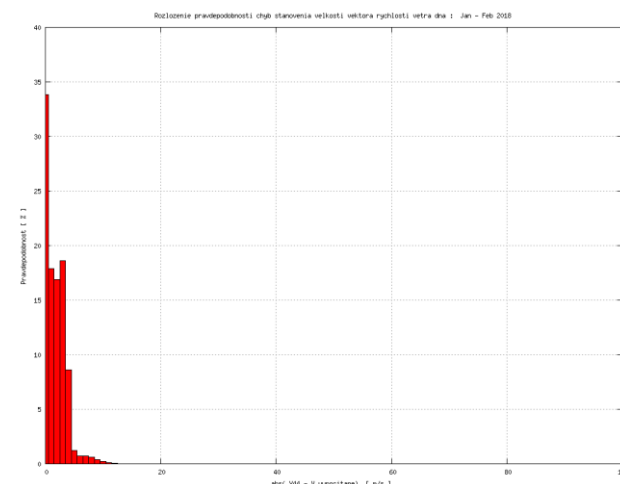
Radar	Zemepisn á šírka	Zemepisn á dĺžka	Typ spracovaný h dát	Počet spracovaný h dát
JAVOR	48°15 s.z.š.	17°09 v.z.d.	Mód S EHS	737 496
MOSNI K	48°47 s.z.š.	21°32 v.z.d.	Mód S EHS	329 016
BUKOP	49°40 s.z.š.	16°08 v.z.d.	Mód S EHS MRAR	1 057 800
VIENNA	48°07 s.z.š.	16°34 v.z.d.	Mód S MRAR	25 504

Zhrnutím jednotlivých meteorologických parametrov je odporúčanie zlepšiť poskytovanie metadát lietadiel; rozšíriť pozorovania vlhkosti vzduchu a turbulencie prostredníctvom senzorov lietadla; sprístupniť viac údajov AMDAR na vyplnenie globálnych medzier; a dohodnúť sa na najlepšom spôsobe distribúcie údajov nie len módu S, ale aj AMDAR medzi leteckými spoločnosťami a meteorologickými službami spravujúcimi tieto dáta.

Cieľom analýzy spracovaných dát je, aby zahŕňali informovanie používateľov údajov o pozorovacích charakteristikách ABO, informovanie poskytovateľov ABO o podrobných požiadavkách používateľov a vydávanie odporúčaní týkajúcich sa poskytovania alebo používania údajov o lietadlách. Významnou metódou zisťovania turbulencie je odvodenie vertikálnych poryvov, ktoré sú definované ako okamžitá vertikálna rýchlosť nárazu, ktorá by ako navrstvená vrstva vzduchu na ustálený horizontálny vietor spôsobila náhle zrýchlenie lietadla. Vplyv poryvu na lietadlo závisí od hmotnosti lietadla a od ďalších charakteristík lietadla. Tie je možné zohľadniť tak, aby mohla byť rýchlosť nárazu nezávislá od rýchlosti lietadla. Toto by bolo možné docieľiť aj s využitím systému AMDAR.

Jeden zo skúmaných parametrov, ktorý bol aj graficky vyobrazený v práci, bola teplota vzduchu v aktuálnej letovej hladine. Na grafické zobrazenie teploty sme použili dáta z TAR JAVOR a MOSNIK, pretože práve tieto radary obsahovali dostatočné množstvo údajov Mód S EHS. Dôležité je však priblížiť aj potrebu zapracovania strednej odchýlky pre jednotlivé letové hladiny, ktorá pri porovnaní s pozorovaniami teploty AMDAR (v K) predstavuje omnoho väčší rozsah. Všimnúť si to môžeme na grafickom zobrazení nižšie. Zo štúdie KNMI (De

Haan) je zrejmé, že teplotné odchýlky je možné znížiť pomocou lepšieho algoritmu, ale u komerčných lietadiel by to bol pomalý proces. Práve preto je pre nás omnoho výhodnejšie získavať dáta o teplote priamo zo systému AMDAR. Ak chceme analyzovať rýchlosť vetra bez tohto zväzovania, tak rozdiely pri vetroch s menšou rýchlosťou možno považovať za zanedbateľné hodnoty. Priemerná hodnota je generovaná z Módu S. V rámci týchto 7-denných údajov je vzorka dát a jej stredná odchýlka dvoch veterných polí okolo 20 stupňov pre vietor s menšou rýchlosťou a okolo 10 stupňov pre vyššie rýchlosti vetra. Rozdiel veľkosti je okolo 15-20 m / s v porovnaní s priemernou rýchlosťou vetra okolo 35 m / s. Pri použití priemeru jednej hodiny (160 vzoriek dát) sa rozdiely stanú malými a výrazne sa nelíšia. Je to spôsobené tým, že model už uvažuje o historickom meraní vetra. Je zrejmé, že pri nízkej rýchlosti vetra sú výsledky menej zosúladené s údajmi Módu S MRAR. To však neznamená, že výsledky sú menej presné. Skôr informácie o vetre generované modelom využívajúcim systém AMDAR sú presnejšie, pričom dokážu spracovávať oveľa väčšie časové úseky a zaznamenávať dáta z viacerých oblastí.



Graf 1: Zobrazenie pravdepodobnosti chýb pri určovaní rýchlosti vetra Zdroj: LPS SR.

Teploty vzduchu sú spravidla pri skúmaní stabilnejšie a rovnomerne priestorovo rozložené, čo nám v konečnom dôsledku uľahčuje prácu s predpovedným modelom. Preto s použitím rovnakého modelu na spracovanie údajov je spolu s teplotou možné použiť aj pole, ktoré bude paralelne generovať aj údaje o smere a rýchlosti vetra.

S cieľom kvantifikovať rozdiely, resp. stredné odchýlky pri určovaní smeru vetra a rýchlosti vetra v určitej nadmorskej výške, sa porovnávajú výsledky zo získaných údajov Módu S MRAR s údajmi iných predpovedných modelov. Je zrejmé, že porovnanie so stĺpcovými grafmi uvedenými vyššie potvrdzuje súvislosť so štúdiami prevedenými de Haan a Hrašťovec.

Zvýšenie presnosti predpovedí vetra a teploty má priamy a lineárny vplyv na predpoveď množstva paliva potrebného pre vykonanie daného letu. Pri úspore paliva je preto dôležité rozlišovať medzi postupmi vykonanými pred letom a postupmi prebiehajúcimi počas letu. Na zvýšenie presností spáleného množstva paliva boli vymodelované a vypočítané údaje z AMDAR. Princípy sú nasledovné.

Zaťaženie letúna prostredníctvom paliva je vypočítaný prvok, ktorý čiastočne závisí od presnosti predpovede vetra. V časti extra množstvo paliva alebo rezervné množstvo paliva je možné ušetriť potrebné množstvo paliva, a to tak, že samotná rezerva paliva spôsobuje ďalšie spaľovanie paliva v dôsledku väčšieho množstva hmotnosti paliva, a preto čím presnejšia je predpoveď vetra, tým menšia rezerva paliva je potrebná.

Na konkrétnom príklade jednej leteckej spoločnosti je možné nasimulovať ročné úspory nákladov, vyplývajúce zo zlepšenia predpovede vetra o 2 uzly, a to vďaka dostupnosti AMDAR údajov, ktoré sme použili v numerických predpovediach pri výpočtoch. Letecká spoločnosť použitá pri výpočte výhod údajov AMDAR prevádzkuje lety na Blízky východ s obsluhujúcimi destináciami v Ázii, Európe a Amerike. Flotilu tvorí 54 dvojpodlažných lietadiel (B747-400ER a A380), z toho 152 veľkých lietadiel (B777-300ER a A340) a 21 lietadiel (A330). Výpočet predstavuje potenciálne úspory odvodené zo zlepšených predpovedí vetra, výlučne z dôvodu dostupnosti údajov AMDAR a to nasledovne: Zníženie množstva spáleného paliva o približne 8 400 ton [+/- 25%]. To vedie k zníženiu emisií CO₂ o 26 500 T. Úspora 4,2 mil. USD alebo približne 18 000 dolárov za lietadlo za predpokladu, že cena paliva bude 0,5 USD / kg. Keby sa na programe AMDAR malo podieľať viac komerčných lietadiel, tak vo výsledku by bolo možné získať dostatočné, priestorové a časové pokrytie. Ďalšie zhromaždené údaje by ďalej pokračovali vo zvyšovaní presnosti predpovedí počasia, čo by viedlo k ešte vyššej úspore paliva. Napríklad aj hypotetické predpovedanie chýb vetra o 3 uzly, vedú k ročnej úspore paliva pre už spomenutú leteckú spoločnosť na 6,3 mil. USD [+/- 25%]. [4]

Tabuľka 3: Porovnanie metód získavania údajov na základe štúdie Strajnar a De Haan.

	NWP		Rádio-sonda	
	Skutočná odchýlka	Štandardná odchýlka	Skutočná odchýlka	Štandardná odchýlka
Teplota	0,34	0,82	-0,27	1,7
Rýchlosť vetra	0,11	2,5	-0,34	3
Smer vetra	0,15	12,69	-3,1	23

AMDAR	Mód S EHS	
	Skutočná odchýlka	Štandardná odchýlka
Teplota	-0,14	0,39
Rýchlosť vetra	0,01	0,83
Smer vetra	0,57	7,2

Údaje AMDAR v súčasnosti poskytujú veľa dobre zavedených výhod pre spoločnosť a životné prostredie prostredníctvom ich použitia v aplikáciách na meteorologické predpovede, leteckú dopravu, riadenie letovej prevádzky, skúmanie podnebia, kvality ovzdušia a taktiež aj pre poľnohospodárstvo. Do budúcnosti sa počíta s expanziou dát v týchto odvetviach spoločnosti, s čím prichádza aj veľké množstvo využiteľného potenciálu. Pozorovania AMDAR majú oproti tradičným zdrojom a zdrojom s diaľkovým snímaním mnoho výhod pri skúmaní meteorologických údajov o vzduchu vo vyšších vrstvách. Zatiaľ čo údaje z rádio-sond poskytujú pozorovania o vzduchu vo vyšších vrstvách atmosféry, ich priestorové a časové pokrytie je slabé. Satelitné údaje poskytujú globálne, diaľkovo zisťované, menej kvalitné pozorovania na úrovniach viditeľnosti. Údaje AMDAR tieto medzery tradičných zdrojov meteorologických údajov vyplňajú a zohrávajú doplňujúcu úlohu poskytovaním vysoko kvalitných a vysokofrekvenčných pozorovaní vo vyšších vrstvách atmosféry. Navyše, najväčší vplyv na jednotku nákladov v lietadle zo všetkých kategórií pozorovacích systémov majú práve tradičné zdroje meteorologických údajov.

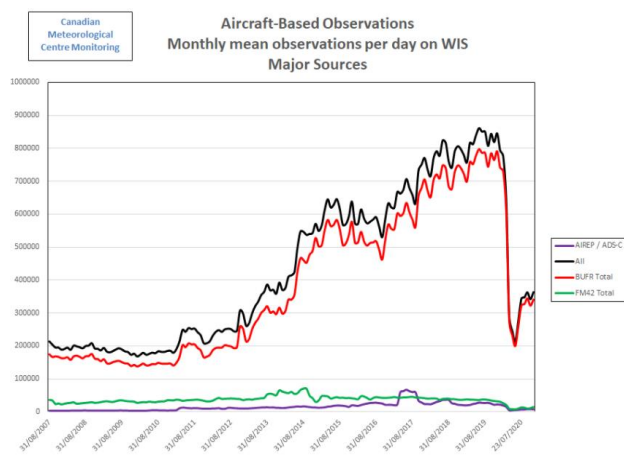
Využitie údajov AMDAR je možné v rade aplikácií vrátane meteorologického predpovedania, monitorovania a predpovede kvality podnebia a kvality ovzdušia, poľnohospodárskych štúdií a riadenia letovej prevádzky a letových operácií. Tieto údaje sú výsledkom efektívneho využitia, ktoré majú údaje AMDAR na tieto aplikácie. Jedná sa o výsledné výhody pre používateľov (spotrebiteľov) a následné zainteresované strany týchto aplikácií, ktoré budú identifikované, analyzované a v niektorých prípadoch kvantifikované ďalej v práci. [5]

S postupným rozširovaním pokrytia programu AMDAR a rozširovaním záznamu údajov AMDAR sa objavili nové oblasti použitia týchto dát. Dopad leteckej dopravy na životné prostredie nadobúda v posledných desaťročiach čoraz väčší význam, najmä vzhľadom na naliehavú otázku globálneho otepľovania spojenú so spaľovaním fosílnych palív. Z tohto dôvodu pripravuje Výbor ICAO pre ochranu životného prostredia v letectve (CAEP) projekcie environmentálnych trendov ako základ pre svoje rozhodovanie o záležitostiach týkajúcich sa životného prostredia. Využitie údajov AMDAR v rade aplikácií poskytuje priame aj nepriame výhody pre životné prostredie a spoločnosť v závislosti od konkrétnej oblasti použitia. Každá podkapitola časti praktické využitie dát predstavuje súčasné aplikácie a ich výhody a potom pojednáva o potenciálnych výhodách do budúcnosti. Medzi oblasti využitia AMDAR údajov patria: [5]

- Meteorologické predpovede
- Riadenie a manažment letovej prevádzky
- Klimatologická predpoveď a monitorovanie podnebia
- Monitorovanie kvality ovzdušia
- Štúdie a aplikácie pre poľnohospodárstvo

Pandémia COVID-19 viedla nedávno k masívnemu, globálnemu obmedzeniu komerčných letov a výraznému zníženiu priestorového a časového pokrytia ABO. Táto kríza zdôraznila význam dostupnosti dát z ABO pre asimiláciu údajov NWP, čo viedlo k návrhom, že pokračujúci pokles pokrytia pozorovaním by mohol nepriaznivo ovplyvniť schopnosť predpovedať NWP. Je

dôležité preskúmať túto hypotézu pomocou starostlivo kontrolovaných experimentov, ktoré si popíšeme aj v tejto práci. Pandémia Covid-19 samozrejme zasiahla aj širšiu komunitu okolo AMDAR či už vo verejnom, alebo súkromnom sektore. Mnohí čelia významným výzvam pri udržaní prevádzok v maximálnom rozsahu, v akom to podmienky umožňujú pri poskytovaní cenných údajov pre podniky na podporu poveternostných a leteckých operácií na zabezpečenie bezpečnosti. Vďaka mnohým novým online nástrojom na spoluprácu, úsilie získavať údaje pokračovalo, aj keď bolo obmedzené v schopnosti cestovať a stretávať sa osobne.



Graf 2: Pokles pozorovaní parametrov vplyvom pandémie COVID-19
Zdroj: <https://sites.google.com/a/wmo.int/amdar-news-and-events/newsletters/volume-20-october-2020>

5. Záver

Na základe viacerých dát zo štúdií meteorologických parametrov sa preukázalo, že vysoko kvalitné a vysokofrekvenčné pozorovania teploty a vetra AMDAR zvyšujú kvalitu predpovedí v regionálnom aj globálnom meradle. Aj naše výsledky ukazujú, že údaje z lietadiel letiacich v cestovných hladinách a počas stúpania a klesania poskytujú dôležité informácie na zlepšenie predpovedí, a to tak z hľadiska dlhodobých predpovedí, ako aj z hľadiska krátkodobých predpovedí. Aj keď globálne satelitné mikrovlnné pozorovania majú najväčší priemerný vplyv na globálne, predpovedné systémy, pozorovania AMDAR sa stali uznávaným zdrojom dát ako súčasť týchto systémov po celom svete.

V oblastiach s hustejším pokrytím radarmi sa využitie meteorologických údajov o vzduchu stalo najdôležitejším súborom údajov na použitie v regionálnych aplikáciách NWP, najmä ak sú tiež zahrnuté údaje o vlhkosti vzduchu. Jedinčnou vlastnosťou správ AMDAR je, že poskytujú údaje o teplote aj vetre na rovnakých miestach a v profiloch vytvorených počas stúpania a klesania, čím poskytujú explicitné dvojrozmerné informácie o baroklinických úpravách potrebných v systémoch pri tvorbe predpovedí. Pretože údaje sú k dispozícii nepretržite pozdĺž letových trás, pozorovania tiež poskytujú informácie o gradientoch vetra a teploty. Dostupnosť viacerých správ na letových trasách je dôležitá aj pre krížové overenie a kontrolu kvality (WMO 2014b).

K rastu systému AMDAR došlo hlavne v rozvinutých krajinách, zatiaľ čo v rozvojových a najmenej rozvinutých krajinách pokrok v implementácii zaostával a v súčasnosti zaostáva, pretože

zlepšenia, ktoré sa dajú pripísať pozorovaniam AMDAR, sa sústredili do oblastí s najvyššou dostupnosťou údajov. Je možné teda očakávať viaceré zlepšenia v odľahlých regiónoch, pretože sa globálne zvyšuje priestorové a časové pokrytie správ AMDAR. Ako prostriedok na podporu ďalšieho rozšírenia AMDAR by sa mali vyvinúť prostriedky spolupráce (vrátane možných príležitostí na zdieľanie nákladov), a to tak s cieľom pokračovať v rozširovaní pozorovacej siete AMDAR do oblastí, ktoré v súčasnosti nie sú primerane pokryté, a zvýšiť počet lietadiel poskytujúcich údaje, najmä v oblasti sveta, kde je veľmi slabé pokrytie radarmi. To by malo zahŕňať zavedenie osobitného úsilia v regionálnych a globálnych centrách NWP s cieľom pokračovať v hodnotení vplyvu a nákladovej efektívnosti všetkých komponentov pozorovacích systémov s cieľom podporiť rýchle rozšírenie tohto systému, ktoré majú vysokú hodnotu a nízke náklady.

Referencie

- [1] The AMDAR Observing System Description | World Meteorological Organization” [cit dec. 28, 2020], Dostupné na internete: <https://community.wmo.int/activity-areas/aircraft-based-observations/amdar/amdar-description>
- [2] W. M. Organization (WMO) a World Meteorological Organization (WMO), Guide to Aircraft-based Observations, 2017 edition. Geneva: WMO, 2017. [cit jan. 11, 2021] Dostupné na internete: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4120
- [3] Y. Zhang, K. Sun, Z. Gao, Z. Pan, M. A. Shook, a D. Li, “Diurnal Climatology of Planetary Boundary Layer Height Over the Contiguous United States Derived From AMDAR and Reanalysis Data”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, roč. 125, č. 20, 2020, [cit máj. 04, 2021] Dostupné na internete: [10.1029/2020JD032803](https://doi.org/10.1029/2020JD032803).
- [4] AMDAR Benefits to the Air Transport Industry”, World Meteorological Organization, jún. 26, 2018. [cit feb. 20, 2021] Dostupné na internete: <https://public.wmo.int/en/resources/library/amdar-benefits-air-transport-industry>
- [5] E. Avsar a W. M. Organization (WMO), WIGOS Technical Report, 2018-01. WIGOS, WMO Integrated Global Observing System - Benefits to the Environment and Society from the Availability and Use of AMDAR Data. Geneva: WMO, 2018. [cit jan. 13, 2021] Dostupné na internete: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5416
- [6] Novák, A., 2015. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5
- [7] Novák, A., Novák Sedlačková, A., Janovec, M., 2020. Komunikačné systémy v letectve EDIS - Žilina, Žilinská univerzita v Žiline, 2020, ISBN 978-80-554-1737-0

PROPOSAL OF MCC COURSE TRAINING MANUAL FOR L410 AIRCRAFT

NÁVRH MCC VÝCVIKOVEJ PRÍRUČKY PRE LIETADLO L410

Bohumír Coufal
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
bohus.coufal@gmail.com

Filip Škultéty
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
filip.skultety@fpedas.uniza.sk

Abstract

Subject of this paper is to propose a possible and notably practically useful training manual for multicrew cooperation training directly suited for use on L-410 airplane type simulator. This paper could be used as study material at LVVC or any other organisation providing MCC training on L-410 aircraft type simulator. Whole paper is divided into three parts: introduction, core and conclusion. Introduction can be understood as a proposition of a problem and determination of paper goals. In its core part, this paper is going to explain the current state of training, legislative issues, technical solutions, analyse possibilities and practical use of this proposed manual. Lastly, there will be evaluation of this topic in conclusion.

Keywords

Analysis, MCC, L410, Manual, Training course

1. Introduction

As we all know the importance of well-trained pilot in a commercial aviation environment is absolutely necessary, his piloting skills must be at the highest level of efficiency, consistency and accuracy, we cannot forget about his absolutely vital managing skills in a multicrew cockpit. His strong and independent decisions must come from an adequate decision-making process which is conditioned to his throughout training. Moreover, sometimes working according to predetermined procedures which then lead to an important action is more desirable than just flying alone. Which sets an essential role on pilot cooperation training in the aviation industry.

One could say that avoiding dangerous or potentially risky situations during a flight is sometimes inevitable, thus correct and rigorous training for coping with such situations with another pilot is highly appreciated. If such an event would ever occur it is essential for pilots to use right cooperative skills and are able to conclude correct decisions either on their own but mostly through cooperative thinking process with their colleague.

Although historically, flying was firstly considered as “one-man-show.” That means only one man could fly an aircraft. Moreover, the first Wright Flyer had only one “seat.” After that, most of the pioneer aircraft flew with one pilot since their inability to carry heavier payload was at that time significant. Despite these humble origins’ aviation technology registered a swift progression which cannot be stopped even today. Furthermore, the evolution and forward working is quicker than it was twenty or thirty years ago mainly because of advanced technology today. Similar to progression in technology, the need for more operations during the flight arose accordingly with

more advanced aircraft. This meant a change in cockpit operation was necessary and a role of second pilot was introduced. Flight duties were divided for captains and first officers. Although, this was such a big step forward there were a lot of hierarchy problems. Captains were considered as infallible as ship captains and first officers had only a small status.

Thankfully, this has changed during the years also thanks to implementation of Multi crew cooperation training. Nowadays cockpits are dynamic working places where captains and first officers are at the same level and their annotations, observations and ideas on how to fly safely and more efficiently are considered of equal value. Procedures are encouraging both pilots in symbiotic cooperation which leads to a smoother workflow with less possibilities to make a mistake. One could say this teamwork is less prone to mistakes too because of two-way work crosschecking between pilots.

Multi crew cooperation training is therefore one of the most important parts of proper flight training for young pilots who want to become professional airline pilots one day.

2. Background and state of the art

Every good flight school tries to provide the best possible solutions for its students. The same is valid for LVVC. This flight school which operates under Žilina university in Žilina is known as a pedagogical institute with one main purpose. To provide theoretical and practical flight training in the best possible circumstances and with the best equipment that money can buy.

In accordance with approved training organisation license (SK.ATO.01), LVVC provides a practical route to the cockpit by continual “integrated ATP flight training course” or by set of “modular training courses” while keeping CRM always in mind. Organisation also provides ICAO English level assessment and theoretical ATPL certification in partnership with the Aviation exam program. In every possible type of flight training provided by LVVC a big emphasis is on safety and liability in aviation. To help students to get used to such measures a program of managing threats and errors is used throughout every aspect of the learning and flying process. Lastly, at the end of the program each student will undergo a skill test to ensure he/she understand all aspects of training.

Good name and high quality can be seen in numbers too. Through the history of flight training at LVVC more than 110000 student flight hours have been flown, hundreds of CPL commercial pilots have been certified with licenses valid for instrument rating IR(A), single-engine SEP(L) and multi-engine MEP(L) capacity and have been provided with theoretical knowledge up to “frozen ATPL” level.

2.1. Let L-410 FNTP II / FTD /FFS Flight Simulator

The base for this paper and an actual merit for MCC training is foremost the flight simulator which is going to be used. Particularly, this flight simulator resembles actual cockpit from L-410 aircraft type UVP-E20. This airplane is a twin-engine, turbo-propeller driven, short range transport aircraft manufactured by Czech aircraft manufacturer Let Kunovice.

The Flight Simulator for LET-410 UVP-E20 aircraft represents a reliable and cost-effective flight training device. The system is designed for VFR/IFR training, cockpit procedures and conditional training, recurrent training and type rating. The simulator consists of realistic dual-seat pilot cockpit and of an instructor operating station. The cockpit can be modified under requirements of the customer and airplane version and

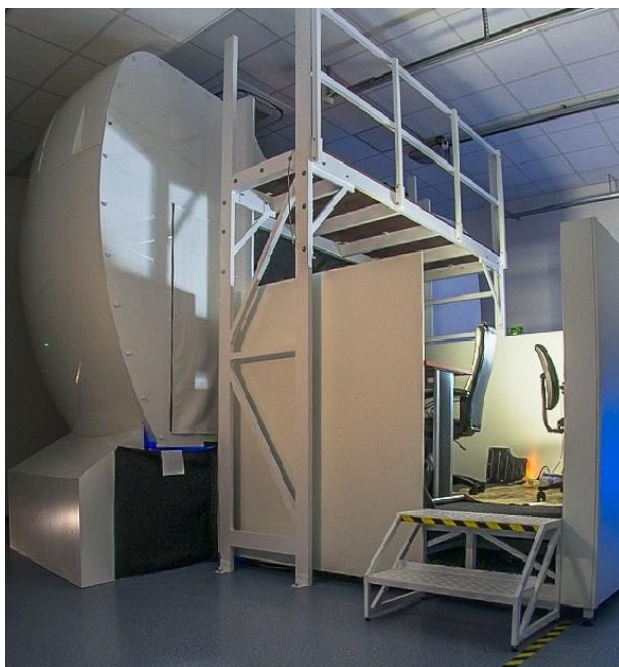


Figure 1: L-410 Flight simulator at UNIZA. Source: FB Zall Letov Simulators.

modification from older version L410 UVP up to UVP-E20 versions provided with EFIS/glass cockpit certified from FNPT II MCC or FTD level by EASA/FAA authorities, collimated visualisation or standard 3 channel HD projection and many optional modules (TCAS, weather radar etc). [2] This simulator was built by Czech company called Zall Letov Simulatory, s.r.o.

Specific system which is installed in LVVC was certified by Slovak Transportation Authority on May the 8th, 2018 for the level of FNTP II MCC. This particular simulator is provided with EFI Universal 890R configuration.



Figure 2: L-410 Flight simulator cockpit view. Source: FB Zall Letov Simulators.

3. Theoretical framework

Multi crew cooperation means the functioning of the flight crew as a synchronized group which consists of coactive members led by the pilot-in-command (PIC). Main purpose of this paper as an integral document is to provide theoretical background, practically useful manual and foremost to become a study material for pilot trainees who are going to complete this training at LVVC, particularly on flight simulator for L410 airplane. Paper is going to have throughout description of requirements which are necessary for inclusion of trainees into the program, furthermore each and every legislative demand on training as whole and lastly will provide practical and theoretical skills for conducting flight on multi-pilot aircraft or one-pilot airplane with multi-pilot operations.

Table 1: Theoretical training framework. Source: Authors.

Session	Contents	Learning time (h)
1.	Basics of CRM and MCC Accidents and incidents analysis considering CRM, MCC	10:00
2.	Multi-crew cooperation (analysis of specific SOP)	10:00
3.	Multi-crew cooperation (analysis of abnormal and emergency procedures)	5:00

Table 2: Practical training framework. Authors.

Session	Contents	Flight time (h)	Flights
MCC/1	Pre-flight preparation and briefing	2:00	12
MCC/2	Allocation of duties/roles	0:30	
MCC/3	Standard operational procedures		
	Taxiing	4:00	
	Departure briefing		
	Line up & take-off		
	After take-off and climb		
	Acceleration height	2:00	
	Cruise and cruise climb		
	Initial descent	2:00	
	Arrival & approach briefing		
	Final approach	2:30	
	Landing	2:30	
	Go-around		
Abnormal & emergency procedures	3:30		
Special procedures (TCAS, GWPS, incapacitation)	1:00		

4. Human element in MCC

The aim of whole MCC training is to teach future pilots how to cooperate and manage their resources accordingly whether it is time management or item management or anything else. This chapter is dedicated to explaining some basic principles of human interactions in cockpit. Firstly, SHELL model is proposed as a base for future explanation to help understand all interfaces which pilots are in cooperation with.

4.1. SHELL model

If we take a look inside this model, we can see that in centre there is one main attribute, the imperfect person (pilot). This component is the most critical one as humans tend to have variation in performance and certain limitations most of which are not easily predictable. In order to achieve optimal performance and cooperation with stress situations it is vital to set some characteristics which are of most importance for pilots to have.

- Physical shape and size;
- Personality and attitude;

- Input characteristics;
- Processing of information;
- Output characteristics;
- Environmental factors.

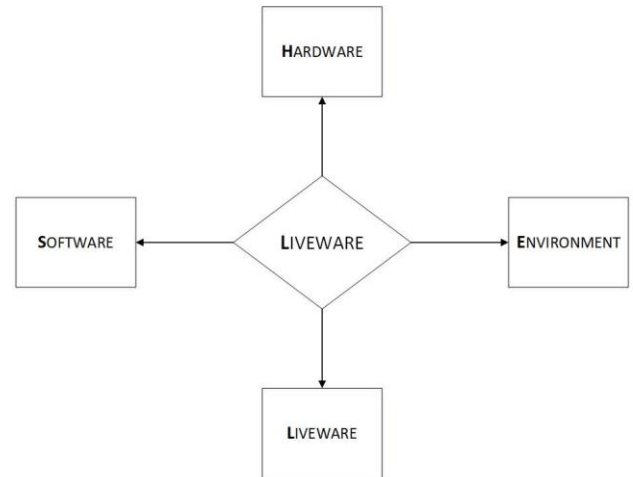


Figure 3: SHELL model. Source: Authors.

5. MCC training manual for L-410 aircraft

Standard operational procedures are the basis of cockpit working concepts. Standard operating procedures are the basis of cockpit working concepts. A defined task, e.g., flying an instrument approach to land, is always performed in the same manner with a defined course of actions. Of course, there are different procedures available to operate an aircraft on the same safety level but reducing the number of possible procedures to only one standard procedure has an enormous advantage: All crew members have the same mental model of the task to perform and any deviation from that mental model will be noticed immediately. SOP's are a form of anticipated communication and the basis for effective monitoring. Adhering to SOP's requires a high working discipline, any deviation from the pre-scribed course of action has to be announced beforehand. After discussion of the planned deviation and the conclusion that this deviation provides more efficiency and safety than adhering to the SOP, all crew members possess the same mental model again and the planned action may be performed. Within an airline SOP's are constructed on the same principles irrespective of the aircraft type, which has the advantage that after a transition to a new aircraft model, pilots do not have to change their working habits. [9]

Each operation and procedure regarding any of flight phases mentioned in this training manual is going to utilise optimal Crew Resource Management (CRM). While performing the training tasks the principle of continuous mutual briefings shall be practiced in coordination with mutual assistance between both pilots. During the MCC course all students will be encouraged to act as a commander in cockpit and therefore engage in open communication between their crew member e.g., another student flying in role as co-pilot.

Checklists and proper SOP are the main focus of this manual. Therefore their correct usage shall be encouraged all the time during normal operations training. While the L-410 can be flown from both sides of the cockpit, normally it is manoeuvred by one designed pilot. It can be either the commander of the aircraft or co-pilot designated by commander of the aircraft. This will depend on pre-flight briefing with both pilots and instructor. After this briefing the role of “pilot flying (PF)” and “pilot monitoring (PM)” is divided. The PF will actually manoeuvre the aircraft while the PM will cover all needed assistance work such as performance of checklists, aircraft configuration changes, ATC communication and other duties which could be allocated by PF. Such example could be during critical flight phases e.g., during take-off or landing when PM assists PF by monitoring all primary flight instruments and other necessary equipment which is crucial for proper continuation with training scenario. In table below there are the main duties regarding abovementioned positions in cockpit.

Table 3: Flight crew duties divided into roles. Source: Authors.

Pilot flying duties	Pilot monitoring duties
Controls the aircraft	With commands from PF controls engines (also according to simulated weather conditions)
Navigates the aircraft	Communicates with ATC (in simulation with instructor)
Issues of commands to PM to perform setting of navigation equipment	Performs navigation records of flight
Issues of commands for change of configuration	Sets up navigation equipment in accordance with PF commands
Issues of checklists performance from take-off to landing	Performs checklist in accordance with PF commands
Monitors PM communication with ATC (in training simulation instructor acts as ATC)	Monitors area in front of aircraft during flight checks (crash avoidance)
Checks correct navigation and communications frequency settings	Monitoring of weather conditions
Performs briefing before landing	Notifies PF to deviations in flight parameters (airspeed, altitude, bank angle...)
If autopilot is available decides its use	During climbs and descends reports before reaching and after reaching cleared altitude or FL.
	Notifies PF of any deviations during flight (take-off, en-route, approach, landing)

5.1. Debriefing after a flight session

When students are leaving simulator, either one or both pilots, instructor shall consult his/ her notes with them. During this

debrief all instructor concerns should be addressed and clarified by students themselves. The main point of debriefing is to evaluate, guide and open discussion with students. It should be led accordingly:

- Firstly, start with constructive points of student’s performance;
- Instructor shall identify errors and reasons why those errors took place in first-hand. Then find strategies for improvement and correction. Pinpoint maximum of three key areas to improve for better memorization;
- Approach technical and non-technical errors and clearly describe and explain them;
- Come to a conclusion but also encouragement for future motivation;
- Try to openly discuss issues with students.

At LVVC on L-410 flight simulator there is a possibility to watch a video recording (video playback) of session to show the student how the particular error has been made and how to successfully improve and overcome it. Other tools such as white board can be used to better explain the student how to improve his/her performance.

Student’s progress or regress shall be assessed against the required optimal standards but also progress of other students shall be taken into account. [14] In table below, “dos and don’ts” of instructor’s input are visible:

Table 4: Instructor’s input in debrief guidelines. Source: [14].

DO	DO NOT
Provide facts	Ask student to assess his/her performance
Fair evaluation	Be vague
Provide constructive critique	Use aggression, sarcasm or be irritated
Encouragement of self-analysis	Be apologetic
Try to include all fails	Focus on minor items
Listen careful	Exaggerate or personalise any issue
Be empathic	Talk about items if you are unsure of
	Impose own or specific company SOP

6. Cockpit familiarization

In this chapter a cockpit layout is going to be divided into sections and its details are going to be explained. It serves the purpose of cockpit familiarization for students. During flight training dashboard can be divided into PF part and PM part. PF is mainly fixed on his/her PFD unit and only monitors navigation and engine parameters from time to time. That is the PM job.

He/she has to monitor his/her PFD unit and also navigational and engine parameters unit. That is PM main duty.



Figure 4: Dashboard layout. Author: Ing. Filip Škultéty, PhD

7. Conclusion

With this paper, the author tried to create a general MCC training manual for use on the L-410 simulator located in the LVVC premises. It can be stated that the aim of the work to create such a manual is met and its implementation can be considered sufficient by the author. According to the author, this paper can be used as a study material or an aid in multi-crew cooperation training.

The Paper itself is divided into two parts. In the theoretical part, the author tried to clarify the basic information about the subject of the paper, i.e., the L-410 aircraft simulator itself, to approach the basic legislative requirements for the simulator itself, but also for students who complete this training. He also outlined the current state of MCC training in LVVC and its history.

In the practical part of the paper, the author deals with the explanation of the human factor associated with the cooperation of a multi-member crew and its proper functioning during the flight. Also, especially, the author tried to create so-called SOP procedures stylized for a specific type of aircraft L-410 UVP E20, which are the main content of MCC training. While compiling them, he relied on the knowledge of pilots who flew in person on this type of aircraft, as well as on the expert advice of his supervisor and other experts in the field of MCC training.

Finally, the author adds that the work can also serve as an aid in type training, but not as its main syllabus. The author sees its use as a basic summary of knowledge that pilots of a multi-member crew should have to best perform their duties on this type of aircraft. However, the principles of the procedures described by the author could be applied to other types of aircraft as well.

References

- [1] Letecké vzdelávacie a výcvikové centrum. www.lvvc.uniza.sk. [Online] <https://lvvc.uniza.sk/sk/katedra/o-lvvc/o-nas1>.
- [2] Zall Letov Simulators. [Online] <https://www.letovsim.cz/let-l410>.
- [3] Academy, Flying. www.flyingacademy.com. [Online] 28 July 2018. <https://flyingacademy.com/blog/courses/easa-mcc-multi-crew-cooperation/>.
- [4] Selected information on flight simulators - main requirements, categories and their development, production and using for flight crew training in both Slovak Republic and Czech Republic conditions. Kolben, Ivan; Kováčová, Jana. 3, 2012, Vol. IV. ISSN 2066-8201.
- [5] EASA. ANNEX 1 PART FCL. [Online] 6. June 2016. <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Part-FCL.pdf>.
- [6] EASA. Annex 1 to ED decision 2017/022/R AMC/GM to Part FCL - Amendment 3. [Online] <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Annex%20I%20to%20ED%20Decision%202017-022-R%20-%20AMC-GM%20to%20Part-FCL%2C%20Amendment%203.pdf>.
- [7] Kavková, A. *Úvod do štúdia sociológie podniku*. Bratislava: Alfa Bratislava, 1978.
- [8] *MCC training manual*. s.l. : Global Aviation S.A., 2012.
- [9] *Crew Coordination in Aviation*. Dehning, P. Wien: Springer-Verlag, 2001. Risk Control and Quality Management in Neurosurgery. Vol. 78, pp. 39-41. 978-3-7091-6237-8.
- [10] GreatFlyer. www.youtube.com. [Online] <https://www.youtube.com/watch?v=cBoDjNzTZQQ>.
- [11] LET, a.s. Airplane flight manual for the L-410 UVP -E20. Kunovice : LET, a.s., 1996.
- [12] SKYbrary. Flight Preparation and Conducting Effective Briefings (OGHFA BN). [Online] [https://www.skybrary.aero/index.php/Flight_Preparation_and_Conducting_Effective_Briefings_\(OGHFA_BN\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Flight_Preparation_and_Conducting_Effective_Briefings_(OGHFA_BN)).
- [13] LPS SR, Š. P. AIP AERONAUTICAL INFORMATION PUBLICATION AD 2 AERODROMES. *LZIB - Bratislava / M.R. Štefánik*. [Online] 2021. https://aim.lps.sk/eAIP/eAIP_SR/AIP_SR_valid/html/LZ-AD-2.LZIB-en-SK.html.
- [14] European Helicopter Safety Team. Teaching and testing in flight simulation training devices (FSTD). *Training leaflet*. [Online] https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/206904_EASA_EHEST_HE_10.pdf.
- [15] Authorities, Joint Aviation. JAR-FCL 1 - Flight Crew Licensing. [Online] 1 December 2006. https://www.caa.md/files/2014_01/556.pdf.
- [16] EASA. *ANNEX VII - Part ORA*. s.l. : European Communities , 2013. ISBN 13: 9789292101558.
- [17] University of Žilina. FSTD L410 UVP-E20 Flight manual. pp. 6-23.

POSSIBILITIES OF USING UNMANNED AERIAL VEHICLES IN FORESTRY AND AGRICULTURE

MOŽNOSTI VYUŽITIA BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV V LESNÍCTVE A POĽNOHOSPODÁRSTVE

Ondrej Ďatko
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
odatko7@gmail.com

Branislav Kandra
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
branislav.kandra@fpedas.uniza.sk

Abstract

This work analyzes the penetration of the aviation, forestry and agriculture sector and aims to present forestry and agricultural activities where there is the possibility of using unmanned aerial vehicles. In the first chapter, the work deals with the characteristics of unmanned aerial vehicles, remote sensing, forestry and agriculture. The second chapter deals with a particular analyzes of scientific papers, articles and internet research, and on the basis of these analyzes presents examples of activities in which unmanned aerial vehicles can be used. The third chapter provides an overview of technological and software equipment needed to perform such activities or aerial work. In the fourth chapter, through the practical part, work focuses on examining the use of the mid-class unmanned aerial vehicle model for the plant health analysis, while providing justifications and findings from the results. As part of the practical part, it also provides practical information for the individual steps during the planning and operation of flight. In the fifth chapter, the work briefly summarizes the information and results collected, from which it suggests some possibilities for the use of unmanned aerial vehicles, such as their use in the vaccination of foxes, and the recommended procedures for operating flights or aerial work.

Keywords

unmanned aerial vehicle, forestry, agriculture

1. Úvod

Bezpilotné prostriedky v dnešnej dobe predstavujú rýchlo sa rozvíjajúce odvetvie leteckého priemyslu, ktoré vďaka novým technológiám vstupuje do deja iných odvetví a ovplyvňuje ich vývoj. Takýmito odvetviami sa v posledných rokoch stali dva segmenty hospodárstva a to lesníctvo a poľnohospodárstvo, v ktorých sa bezpilotné prostriedky začínajú využívať čoraz viac.

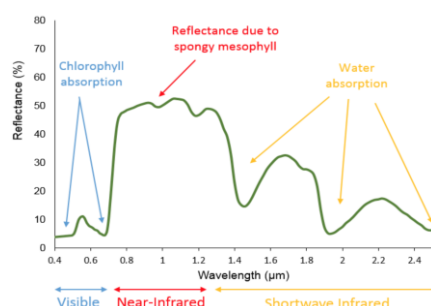
2. Charakteristika bezpilotných prostriedkov a segmentu lesníctva a poľnohospodárstva

Práca sa začína uvedením problematiky bezpilotných prostriedkov prostredníctvom historického vývoja modelov najmä z pohľadu využitia vo vojenskom sektore. Postupne prechádza ku charakterizácii a klasifikácii moderných modelov UAV v rámci kategórií a konštrukčného hľadiska. Dôležitými časťami tejto kapitoly sú hlavne teoretické poznatky o senzoch, ktoré sa vo veľkej miere využívajú v diaľkovom prieskume. Diaľkový prieskum a metódy diaľkového systému sa začínajú čoraz častejšie používať v segmentoch lesníctva a poľnohospodárstva a slúžia k vytváraniu rôznych analýz a modelov.

Diaľkový prieskum

Jednou z definícií diaľkového prieskumu je proces analyzovania fotografických snímok za účelom identifikovania objektov a posudzovania ich dôležitosti. Diaľkový prieskum môžeme teda charakterizovať ako nástroj, vďaka ktorému s použitím senzorov

zachytávajúcu elektromagnetickú energiu dokážeme získať dôležité informácie z objektov, rastlín alebo oblastí v pôde. Princíp diaľkového prieskumu spočíva v zaznamenávaní emitovanej radiácie, t.j. každá hmota alebo objekt vyžaruje radiáciu v rôznych množstvách a vlnových dĺžkach a takéto vlnové dĺžky, inak interpretované aj ako spektrá sa dajú zachytiť. Elektromagnetické spektrá sa skladajú z vlnových dĺžok a na ich snímanie sa používajú senzory. Tým, že diaľkový prieskum spočíva v analýze a zachytávaní vlnových dĺžok, bude preto využívať senzory. Existujú štyri možnosti, akými materiál dokáže na radiáciu zareagovať - absorbovať, odrážať, prenášať alebo rozptyľovať radiáciu. Všetky objekty teda odrážajú rozličné vlnové dĺžky svetla v rozličných rozsahoch a pri väčšine povrchov sa môže predpokladať, že zostávajúca časť, ktorá nebola odrazená od povrchu, bude pohltaná [1]. Príklad odrazivosti takéhoto žiarenia od rastlín je znázornený na Obrázku 1.



Obrázok 1: Odrazivosť žiarenia rastlín v rámci spektrier. Zdroj: [2].

Na princípe snímania vlnových dĺžok elektromagnetického žiarenia pracujú aj senzory, ktoré vedú na základe blízko-infračerveného a červeného žiarenia vypočítať tzv. *Normalised Different Vegetation Index* so skratkou NDVI a je jedným z najpoužívanejších indexov pri určovaní zdravotného stavu vegetácie [3].

V tejto kapitole sa ďalej nachádza stručná charakteristika lesného hospodárstva a poľnohospodárstva a uvedenie legislatívy UAV v rámci SR. Jej súčasťou je aj identifikácia chránených oblastí a možnosti využitia UAV v súlade so štátnou ochranou prírody SR, ktoré ovplyvňuje prevádzkovanie letov bezpilotných prostriedkov v určitých oblastiach a v určitom rozsahu v závislosti od stupňa ochrany prírody.

3. Analýza doterajších poznatkov o využívaní bezpilotných prostriedkov v lesníctve a poľnohospodárstve

Druhá kapitola práce sa venuje analýze niekoľkých vybraných štúdií a vedeckých článkov, v ktorých sa zahraniční a tuzemskí autori venovali výskumom, pri ktorých využívali bezpilotné systémy a modely UAV v segmentoch lesníctva a poľnohospodárstva. Niektoré príklady z doterajších poznatkov analyzovaných v práci sú uvedené v nasledovných častiach.

3.1. Analýza v segmente lesníctva

- Autori Eric Hyppä a kol. sa vo svojej práci s názvom „Laserové snímkovanie korún stromov pomocou UAV pre presné merania lesných porastov“, venovali meraniam lesného inventára pomocou modelu UAV a výsledky porovnávali so štandardnými a konvenčnými metódami využívanými pri inventarizácii [4].
- Autori Martin Slavík a kol. vo svojej práci s názvom „UAV laserové snímky umožňujú detekciu morfológických zmien v korunách stromov“, vďaka ktorej dospeli k výsledkom, že využívanie použitého modelu UAV a nimi zvolenej metódy merania umožňujú identifikáciu nárastu alebo straty stromovej zložky založenej na princípe leteckých snímok [5].
- Autori Luiz F.R. De Oliveira a kol. sa vo svojej práci s názvom „Prechod k automatizácii inventáru stromov: porovnanie UAV vybaveného LiDAR senzorom a fotogrametrickými dátami s ručnými manuálnymi odhadmi“, venovali inventarizácii stromov pričom využili niekoľko modelov UAV s rôznymi kamerovými a senzorovými konfiguráciami a z výsledkov usudzujú, že všetky merania boli úspešné [6].
- Juraj Galko a kol. z Národného lesníckeho centra vo Zvolene sa vo svojej práci s názvom „Praktické využitie dronov pri ochrane lesa“ venovali najmä zvyšovaniu povedomia o problematike UAV lesnému hospodárovi a opisovali činnosti, ktoré vykonávajú s vlastným modelom UAV [7].

3.2. Analýza v segmente poľnohospodárstva

- Autori Alfonso Lopéz a kol. sa vo svojej práci zaoberali s názvom „Rámec pre registráciu snímok z UAV pre sledovanie plodín v presnom poľnohospodárstve“ venovali využitím modelu UAV v presnom poľnohospodárstve na popísanie rámca, ktorý je schopný spojiť heterogénne

snímky vytvorené modelom UAV do jednotnej snímky s použitím nimi vytvoreného algoritmu [8].

- Autori Xu Xingang a kol. sa vo svojej práci s názvom „Odhadovanie obsahu dusíka z kukuričných listov na základe informačnej fúzie snímok z viacerých senzorov modelu UAV“ venovali preskúmaniu možností využitia snímkových informácií z dvoch rôznych senzorov na vyhodnotenie obsahu dusíka v kukuričných listoch. Z výsledkov autori dospeli k záveru, že použitím multi-spektrálneho senzora alebo RGB kamery sa dajú získať slubné a presné dáta o obsahu dusíka a majú potenciál do budúcnosti pri pravidelnom monitoringu [9].
- Autori E. Raymond Hunt a Silvia I. Rondon sa vo svojej práci s názvom „Zisťovanie poškodenia spôsobeného Pásavkou zemiakovou pomocou diaľkového prieskumu malými modelmi UAV“ zaoberali leteckým snímkaním zemiakových polí pomocou modelu UAV, avšak výsledky nepriniesli dôkazy o tom, že poškodenie týmto parazitom bolo výrazné [10].

3.3. Zalesňovanie a vysádzanie pomocou modelov UAV

Okrem využívania metód diaľkového prieskumu vo vybraných segmentoch hospodárstva sa podľa nasledujúcich projektov modely UAV využívajú aj pri činnostiach obnovy lesov a vysádzaniu nových rastlín. Príklady takýchto projektov sú nasledujúce.

- Spoločnosť DroneSeed so sídlom v Spojených štátoch sa zaoberá komerčným poskytovaním služieb pri zalesňovaní lesov. Modely, ktoré na zalesňovanie používa sú navrhnuté ich vlastným tímom a venujú sa aj vývoju úložných schránok pre semená stromov rôznych druhov. Spoločnosť deklaruje, že takáto metóda zalesňovania je šesťkrát rýchlejšia ako štandardná metóda, kedy sú lesy zalesňované človekom [11].
- Start-up projekt Dronecoria zo Španielska, je projekt zaoberajúci sa výskumom a konštrukciou modelov UAV, ktorých konštrukčný návod je voľne dostupný pre každého. Takýto open-source projekt je závislý od verejných dotácií, avšak aj napriek nestálemu rozvoju je projekt úspešný a spomínaný model je vybavený mechanizmom, ktorý umožňuje zhadzovanie semien do polí. Projekt sa dodatočne venuje výskumu peletizovaných semien, ktoré sú charakterizované ochranným a zároveň vyživovacím obalom semien [12].

Na základe vykonanej analýzy vybraných vedeckých článkov, štúdií a spoločností vykonávajúcich letecké práce využívajúce modely UAV, práca v tejto časti kompletizuje možnosti využitia bezpilotných systémov a prostriedkov v segmentoch lesníctva a poľnohospodárstva.

3.4. Možnosti využitia bezpilotných prostriedkov v lesníctve

- zisťovanie zdravotného stavu lesných porastov,
- zisťovanie rozsahu a štruktúry kalamít,
- zalesňovanie a vysádzanie sadeníc lesných drevín,

- inventarizácia lesných porastov,
- zisťovanie morfológických zmien v korunách stromov,
- mapovanie lesných porastov,
- plánovanie vyžínania na základe merania rozsahu zaburinenia mladých porastov.

3.5. Možnosti využitia bezpilotných prostriedkov v poľnohospodárstve

- Kontrola zavlažovacích systémov na poliach,
- Kontrola zdravotného stavu plodín,
- Zaťaženie vodou a stres spôsobený nadmernou vodou v plodinách,
- Odhadovanie obsahu dusíka v listoch rastlín,
- Zisťovanie poškodenia plodín napadnutých škodcami alebo parazitmi,
- Kontrola rozlohy parciel a polí.

4. Prehľad hardvérového a softvérového vybavenia bezpilotných prostriedkov

Na základe teoretických poznatkov a analýzy práca preukázala, na aké účely sa využívajú modely UAV v lešníctve a poľnohospodárstve. Za účelom komplexného zhrnutia o využití týchto prostriedkov, práca zahŕňa kapitolu, v ktorej sa nachádza prieskum hardvérového a softvérového vybavenia UAV. Hardvérové vybavenie je označenie, ktorým práca popisuje hmatateľné komponenty ako sú senzory a modely UAV a softvérovým vybavením označuje komponenty v nehmotnej forme, ktoré sa používajú na plánovanie, analýzu a vyhodnotenie obstaraných dát. Takýto prehľad slúži na priblíženie obsahu čitateľovi a poskytuje mu predstavu o hodnote využitia bezpilotných prostriedkov v týchto segmentoch. Práca sa zamerala na tri, z nášho pohľadu, najdôležitejšie spoločnosti, ktoré ponúkajú svoje produkty so zameraním na poľnohospodárstvo a obhospodarovanie lesov. Sú to spoločnosti DJI, Sentera a MicaSense, pričom výnimku tvorí prehľad softvérového vybavenia, v ktorom opisujeme aj iné spoločnosti zaoberajúce sa vývojom softvérových programov.

Spoločnosť Sentera

Americká spoločnosť SENTERA so sídlom v Minneapolise, USA sa zaoberá vývojom a výrobou širokej rady produktov pre poľnohospodárov. Patria sem rôzne druhy senzorov modifikovaných bezpilotných lietadiel a softvérové programy, ktoré umožňujú plne integrovanú spoluprácu so senzormi a UAV. Pri tejto spoločnosti je potrebné zmieniť aj upozornenie, že vlastná montáž senzora, ako aj akýkoľvek fyzický zásah do UAV, ruší záruku, ktorú výrobca Sentera deklaruje [13].

Spoločnosť DJI

Svetovo najznámejšou a najuznávanejšou značkou a spoločnosťou, ktorá sa zaoberá výrobou a predajom modelov UAV je čínska spoločnosť DJI, ktorej sídlo je v meste Shenzhen.

Pre širokú verejnosť je spoločnosť známa prostredníctvom foto- a video-príslušenstvom ako aj modelmi UAV určenými na fotografovanie alebo tvorbu kinematických záberov. Avšak, v posledných rokoch spoločnosť rozšírila svoju pôsobnosť o poľnohospodárstvo - do svojej výroby a ponuky zaradila modely UAV ako sériu DJI modelov Agras a model DJI Phantom P4 Multispectral. Pre poľnohospodárske účely DJI vytvorilo softvér s názvom DJI Terra, vďaka ktorému je možné vyhodnocovať a spracovávať databázu nasnímaných údajov. Výhoda takejto konfigurácie je spoľahlivosť a jednoduchá kompatibilita s inými produktami od spoločnosti DJI prostredníctvom produktového ekosystému, t.j. zariadenia DJI so sebou spoľahlivo a intuitívne spolupracujú, čím skrátujú čas na ich obsluhu [14].

Spoločnosť MicaSense

Spoločnosť MicaSense je americkým výrobcom hardvérového vybavenia pre UAV so sídlom v meste Seattle a svoje produkty distribuujú do 70 krajín vo svete. MicaSense sa zaoberá prevažne výrobou senzorov a montážnych komponentov pre UAV, pričom sa nevenuje predaju vlastných modelov UAV alebo plno konfigurovanými modelmi UAV so senzormi [15].

V práci sa nachádzajú konkrétne príklady modelov a produktov od spomínaných výrobcov spolu s prehľadom technických parametrov.

5. Praktické využitie modelu UAV so vstavanou RGB kamerou na snímkovanie

V tejto časti sa práca zaoberá využitím modelu UAV so vstavanou RGB kamerou za účelom snímkovania stromov a analýzy zdravotného stavu. Súčasťou je opis použitého modelu UAV DJI Phantom 4 Advanced a softvéru, ktorý sa používal na plánovanie trate letu a vyhodnocovanie údajov a taktiež opis oblastí demonštračných letov.[16, 17, 18]

Územie lesnej správy Duchonka

Na území lesnej správy Duchonka boli vykonané demonštračné lety v dvoch oblastiach. Jednou bola lesná škôlka so zastúpením jedle kaukazskej, pri ktorej bol vykonaný let za účelom zisťovania zdravotného stavu stromčekov. Druhou oblasťou bol lesný porast Duba lesného, napadnutého parazitom Imelovcom európskym, pri ktorom bol vytvorený video-záznam slúžiaci k vizuálnej kontrole pri monitorovaní parazita.

Priebeh merania

Priebeh merania pozostával z nasledovných činností.

1. Vytvorenie plánu automatizovaného letu v softvéri DroneDeploy s presným zadaním lokality a vymedzeniu hraníc trasy letu.
2. Vykonanie predletovej prípravy, ktorá pozostávala z kontroly vzdušného priestoru a kontroly územia v ktorom sa plánuje lietať.
3. Vykonania samotného letu.

Výsledky merania

Po vykonaní letu boli nasnímané fotografie zvlášť nahrané do softvérov DroneDeploy a Pix4D.

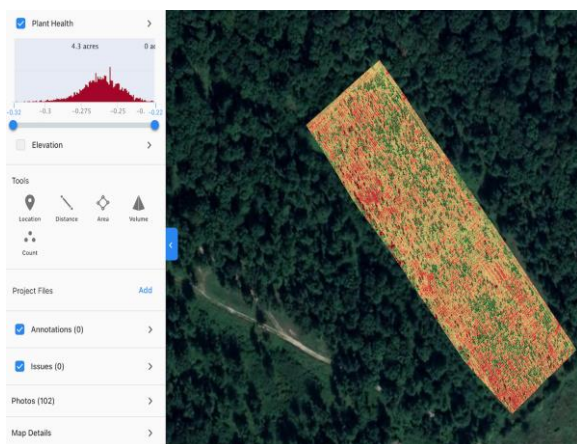
5.1. Analýza a výsledky v prostredí softvéru DroneDeploy

Po nahraní snímok ich softvér začal spracovávať, pričom po dokončení procesu . Prvým vyhodnoteným údajom bola ortomozaická snímka znázornená na Obrázku 2, zložená zo 102 fotografií a na ktorej je možné vizuálne rozlíšiť hustotu stromov jedle kaukazskej v lesnej škôlke.



Obrázok 2: Ortomozaická mapa lesnej škôlky. Zdroj: Autori, vytvorené v prostredí softvéru DroneDeploy.

Druhým vyhodnoteným údajom, ktorý bol aj hlavným zámerom v tejto časti práce, bola analýza zdravotného stavu stromov. Použitím nástroja „plant health“, sme získali grafické znázornenie ortomozaickej mapy s indexom VARI (Visible Atmospherically Resistant Index), ktorý dokáže pracovať s údajmi obstaranými RGB kamerou. Takéto použitie indexu vyhodnocuje to, ako zelená je snímka a tým zdravotný stav vegetácie len odhaduje podľa algoritmov softvéru DroneDeploy. Takáto snímka v indexe VARI je znázornená na Obrázku 3.



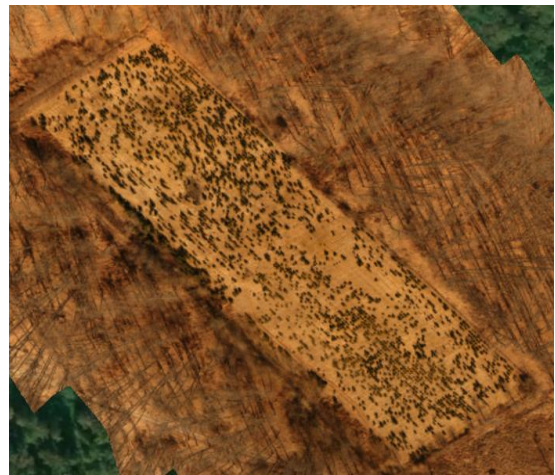
Obrázok 3: Použitie indexu VARI v rámci ortomozaickej mapy. Zdroj: Autori, vytvorené v prostredí softvéru DroneDeploy.

Z Obrázka 3 je vidieť farebné rozlíšenie jednotlivých častí lesnej škôlky. Zelenou farbou sú vyznačené miesta, na ktorých sa

nachádzajú stromy alebo vegetácia, ktorú softvér vyhodnotil ako zelenú a s najväčšou pravdepodobnosťou budú mať najväčší obsah zeleného farbiva chlorofylu. Miesta vyznačené žltou farbou znázorňujú miesta s vegetáciou, ktorá je pravdepodobne postihnutá určitým stresom, avšak softvér aj v takýchto miestach predpokladá, že sa v rastlinách nachádza určitý obsah chlorofylu, aj keď nižší. Miesta, v ktorých sú stromy najviac postihnuté nejakým druhom stresu, alebo sú uhynuté, sú vyznačené červenou až bordovou farbou.

5.2. Analýza a výsledky v prostredí softvéru Pix4D

Po analýze v softvéri DroneDeploy bola vykonaná analýza snímok v prostredí Pix4D. Avšak pri použití tohto softvéru neboli výsledky príliš spoľahlivé ako je možné vidieť aj na Obrázku 4 a Obrázku 6.



Obrázok 4: Ortomozaická mapa lesnej škôlky. Zdroj: Autori, vytvorené v prostredí softvéru Pix4D.

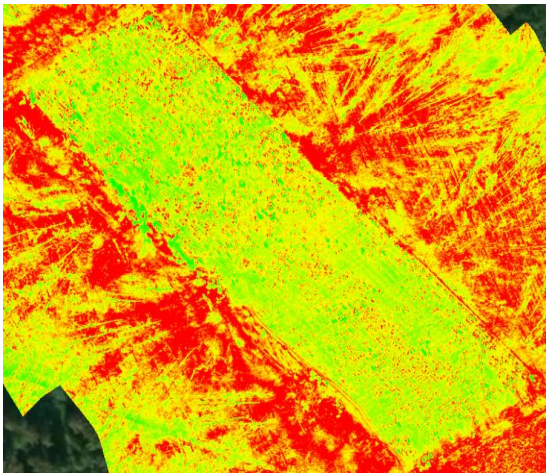
Pri vytvorení ortomozaickej snímky (Obrázok 4) softvér nedokázal rozlíšiť územné ohraničenie ako v prípade softvéru DroneDeploy, v ktorom bol automatizovaný let naplánovaný a preto softvér vytvoril mozaiku snímok, v ktorých sú zahrnuté aj okolité stromy z porastov obklopujúcich lesnú škôlku.

Pri analýze zdravotného stavu neboli k dispozícii pomocné nástroje, ktoré by vytvorili takúto analýzu automaticky. Z toho dôvodu bolo nutné vytvoriť index podľa nasledujúceho vzorca VARI do prostredia softvéru, ktorý je znázornený na Obrázku 5.



Obrázok 5: Zadanie rovnice pre výpočet indexu VARI. Zdroj: Autori, vytvorené v prostredí softvéru Pix4D.

Po zadání vzorca softvér vygeneroval snímku znázornenú na Obrázku 6 a interpretácia hodnôt v závislosti od farieb je rovnaká ako pri softvéri DroneDeploy. V práci sa ďalej uvádza, že práca v softvéri Pix4D je komplikovaná a vyhodnotené výsledky autori nepokladajú za plnohodnotné.



Obrázok 6: Vygenerovaná snímka v indexe VARI v rámci ortomosaickej mapy. Zdroj: Autori, vytvorené v prostredí softvéru Pix4D.

Druhý vykonaný let bol za účelom vizuálneho monitorovania stromového parazita Imelovca európskeho [19]. Výsledkom bolo vytvorenie videozáznamu, ktorý poskytuje prevádzkovateľovi vizuálne identifikovať jednotlivé stromy napadnuté parazitom a v akom rozsahu sa na stromoch vyskytuje. Na základe konzultácie výsledkov s konkrétnym lesníkom je takáto metóda spoľahlivá, účinná a v porovnaní so štandardným vizuálnym monitorovaním zo zeme je obstaranie dát rýchlejšie. Podľa jeho slov má potenciál do budúcnosti, kedy by mohla byť využívaná aj ako primárna metóda pre monitorovanie imelovca alebo iných stromových parazitov. Snímky z videozáznamu sú zobrazené v koláži fotografií ilustrovaných na Obrázku 7.



Obrázok 7: Koláž fotografií výskytu Imelovca európskeho vytvorených z videozáznamu. Zdroj: Autori, vytvorené modelom UAV DJI Phantom 4 Advanced.

6. Zhrnutie poznatkov a navrhované využitie bezpilotných prostriedkov v podmienkach slovenskej republiky

Na základe analýzy práca dospela k záverom, že existuje veľa možností využitia bezpilotných prostriedkov v segmentoch lesníctva a poľnohospodárstva. Avšak je potrebné zhodnotiť reálne využitie takýchto prostriedkov pri implementácii v podmienkach Slovenskej republiky. Dôležitým aspektom pri rozhodovaní o vhodnosti využitia modelov UAV v lesníctve a poľnohospodárstve je nielen aktuálna legislatíva – čo predstavujú letecké práce, kto môže vykonávať takéto letecké práce a podľa akého zákona sa musia riadiť, ale aj voľnosť pri vykonávaní leteckých, ktorá je do určitej miery ovplyvnená rozsahom chránených oblastí na území Slovenskej republiky.

Výber hardvérového a softvérového vybavenia je individuálny a závisí od osobných preferencií, avšak z ekonomického hľadiska a hľadiska spoľahlivej a plynulej spolupráce zariadení práca odporúča model UAV a softvér od spoločnosti DJI, ktorý pokladá za najoptimálnejšie riešenie, vzhľadom k tomu, že sú to produkty jedného výrobcu a ich používanie je synergické.

Zhrňa metodiku postupovania pri plánovaní a vykonávaní leteckých prác s ohľadom na legislatívu, vzdušný priestor, chránené oblasti a predletovú prípravu. Súčasťou tohto zhrnutia je aj stručný opis vykonaných demonštračných letov a postupom pri spracovaní údajov a ich vyhodnotenie.

Do práce bola zahrnutá aj myšlienka, ktorá slúži ako inšpirácia pre vypracovanie budúcich prác. Myšlienka sa týka vytvorenia modelu a konštrukcie mechanizmu, prispôbeného pre konkrétny model UAV. Tento mechanizmus má slúžiť na spúšťanie vakcín pre líšky, ktoré sú vakcinované z dôvodu eliminácie šírenia besnoty v prírode. Súčasťou je stručný opis odporúčaných pomôcok a autormi navrhnutý postup, ktorý by mohol byť použitý pri vypracovaní práce.

Podakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky KEGA 046ŽU-4/2019 s názvom „Inovácia vzdelávania v oblasti prevádzky lietadiel spôsobilých lietať bez pilota“.

7. Záver

Na záver práca hovorí o tom, že naplnila ciele, ktoré si v úvode vytýčila. V prvých častiach na základe teoretických poznatkov o bezpilotných prostriedkoch uviedli ich charakteristiku z historického, legislatívneho a užívateľského hľadiska. Zaoberali sa segmentami lesníctva a poľnohospodárstva a diaľkovým prieskumom, ktorý využíva bezpilotné prostriedky a prídavné príslušenstvo ako senzory nevyhnuté pre akvizíciu dát.

Na základe analýzy dostupnej literatúry, vedeckých článkov a internetového prieskumu, vďaka ktorým práca dokázala identifikovať konkrétne činnosti a možnosti využitia bezpilotných prostriedkov v lesníctve a poľnohospodárstve.

Pre vykonanie činností s použitím bezpilotných prostriedkov sa zaoberala prieskumom hardvérového a softvérového vybavenia a spracovala ponúkané produkty na trhu vybraných výrobcov. Práca sa zaoberala podmienkami, ktoré treba dodržať pri

plánovaní letu a medzi ktoré patrí kontrola vzdušného priestoru Slovenskej republiky, chránené oblasti a územia a opis postupov pri identifikovaní takýchto území.

Ďalším naplneným cieľom práce bolo pomocou modelu UAV strednej triedy vykonať lety za účelom obstarania a analýzy snímok s RGB kamerou. V tejto časti bol opísaný postup pri plánovaní letu, predletovej príprave a s výsledkami, že cieľ sa podarilo naplniť len čiastočne z dôvodu komplikácií pri vyhodnocovaní údajov v softvéri Pix4D.

V poslednej časti práca kompletizovala nadobudnuté poznatky, ktoré boli doplnené o myšlienku spúšťacieho mechanizmu pre konkrétny model UAV za účelom vakcinácie líšok, pričom táto myšlienka má slúžiť k inšpirácii pre vypracovávanie budúcich prác iných študentov.

Referencie

- [1] N. PETTORELLI. 2013. *The Normalized Difference Vegetation Index*. OUP Oxford, s.194, 2013.
- [2] HUMBOLDT STATE UNIVERSITY. 2014. *Vegetation Spectral Reflectance Curves* [online] Dostupné na internete: http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson2-1/vegetation.html
- [3] NETTORELLI N. a kol. 2013. *Normalized difference vegetation index (NDVI) as a predictor of forage availability of ungulates in forest and field habitats*. 2013. [online]. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/publication/257496930_Normalized_difference_vegetation_index_NDVI_as_a_predictor_of_forage_availability_for_ungulates_in_forest_and_field_habitats
- [4] E. HYYPPA a kol., 2020. *Under-canopy UAV laser scanning for accurate forest field measurements*, *ISPRS-J. Photogramm. Remote Sens.*, roč. 164, s. 41–60, jún. 2020, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.03.021.
- [5] M. SLAVÍK a kol., 2020. *UAV Laser Scans Allow Detection of Morphological Changes in Tree Canopy*, *Remote Sensing*, roč. 12, č. 22, Art. č. 22, jan. 2020, doi: 10.3390/rs12223829.
- [6] L. F. RAMALHO DE OLIVEIRA a kol., *Moving to Automated Tree Inventory: Comparison of UAS-Derived Lidar and Photogrammetric Data with Manual Ground Estimates*, *Remote Sensing*, roč. 13, č. 1, Art. č. 1, jan. 2021, doi: 10.3390/rs13010072.
- [7] J. GALKO a kol., *Practical use of drones in forest protection*. 2019. APOL, 2019, vol. 1, no. 1, s. 28–33. 2019
- [8] A. LÓPEZ a kol. 2021 *A framework for registering UAV-based imagery for crop-tracking in Precision Agriculture*, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, roč. 97, s. 102274, máj. 2021
- [9] X. XU a kol. 2021. *Estimating Leaf Nitrogen Content in Corn Based on Information Fusion of Multiple-Sensor Imagery from UAV*, *Remote Sens.*, roč. 13, č. 3, s. 340, feb. 2021
- [10] E. R. HUNT A S. I. RONDON, 2017. *Detection of potato beetle damage using remote sensing from small unmanned aircraft systems*, *J. Appl. Remote Sens.*, roč. 11, s. 026013, máj. 2017
- [11] DRONE SEED. 2020. *Rapid Reforestation*. [online] Dostupné na internete: <https://www.droneSeed.com>
- [12] DRONECORIA, 2018. *Open Technologies*. [online] Dostupné na internete: <https://dronecoria.org/en/open-technologies/>
- [13] SENTERA. 2021. *About Us* [online] Dostupné na internete: <http://sentera.com/about-sentera/>
- [14] DJI. 2021. *P4 Multispectral*. [online] Dostupné na internete: <https://www.dji.com/sk/p4-multispectral>
- [15] MICASENSE. 2021. *About*. [online] Dostupné na internete: <https://micasense.com/about/>
- [16] DJI. 2021. *Phantom 4 Advanced - Product Information* [online] Dostupné na internete: <https://www.dji.com/sk/phantom-4-adv/info>
- [17] DRONEDEPLOY. 2021. *Pricing & Plans*. [online] Dostupné na internete: <https://www.droneDeploy.com/pricing.html>
- [18] PIX4D. 2020. *Pricing plans for Pix4Dfields agriculture mapping software*. [online] Dostupné na internete: <https://www.pix4d.com/pricing/pix4dfields>
- [19] ELIÁŠ P. 2007. *Úhyn Imelovca (Lorathus europaeus Jacq.) na severnej hranici rozšírenia v Európe: Slovensko. Dreviny v mestskom prostredí a v krajine. Aktuálne trendy dendrologického výskumu a praxe*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2007. ISBN 978-80-8069-964-2.

SYSTEM FOR EARLY IDENTIFICATION OF LOCAL ATMOSPHERIC CHANGES IN FLIGHT

SYSTÉM VČASNEJ IDENTIFIKÁCIE LOKÁLNYCH ATMOSFERICKÝCH ZMIEN POČAS LETU

Richard Dvorský
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
richard.dvorsky1@gmail.com

Pavol Pecho
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
pavol.pecho@fpedas.uniza.sk

Abstract

Paper "System for early identification of local atmospheric changes in flight" is aimed at creating a model of a new variant of instrumentation of non-powered aircraft by monitoring air parameters such as air temperature, static pressure and air humidity. We will use modern technologies to create this device. This created device will work in the search for thermal currents. After next research as a tool in powered aircraft where it will function as a system for identifying local atmospheric changes that are dangerous for flight itself. Another possible use will be in transport aircraft to predict turbulence.

Keywords

non - powered flying, aircraft instruments, atmospheric changes, meteorology, experimental flight

1. Úvod

Bezmotorové lietanie stálo pri zrode samotného lietania. Tento fenomén sa postupne vyvíjal a bol využívaný pri výcvikoch vojenských pilotov. Je považovaný za najlepší spôsob ako sa naučiť lietať. Bezmotorové lietanie je úzko späté s chuťou pretekať sa a zlepšovať svoje výkony. Postupom času prichádzalo k zlepšovaniu výkonov pilotov, čo bolo podmienené lepším pochopením podmienok pre vytvorenie termických stúpavých prúdov a ich využitím. Na vylepšovanie leteckej techniky bolo potrebné reagovať vylepšovaním prístrojového vybavenia. Vývoj prístrojového vybavenia súvisel s úrovňou technológií, ktoré boli v daných obdobiach využívané. Technologická úroveň prístrojov bola vždy spojená so zvyšovaním výkonov zaznamenaných pilotmi bezmotorových lietadiel. Cieľom diplomovej práce bolo navrhnutie nového systému, ktorý bude využitý ako prístrojová výbava bezmotorových lietadiel na monitorovanie zmien parametrov atmosféry pre identifikáciu možnej prítomnosti stúpavých prúdov. Návrh systému a jeho zostrojenie bude zamerané na využitie moderných technológií s veľkou presnosťou a vhodnými vlastnosťami. Tento systém by mal priniesť možnosť využitia systému pri vyhľadávaní termických prúdov v atmosfére za letu. V porovnaní s klasickým prístrojovým vybavením prinesie najmä lacnejšiu a dostupnejšiu verziu tohto vybavenia. Po navrhnutí a zostrojení tohto systému bude práca zameraná na následné experimentálne testovanie systému s cieľom overiť jeho funkčnosť a prínos.

2. Vlastnosti vzduchu vhodné na monitorovanie

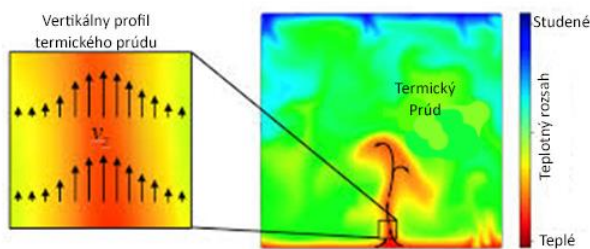
Aby bolo možné efektívne identifikovať možnú prítomnosť termických prúdov, musia byť analyzované charakteristiky

parametrov okolitého vzduchu. Na základe premien hodnôt parametrov vzduchu bude možné určiť prítomnosť stúpavého, respektíve klesavého prúdu. Parametre vzduchu, ktoré boli vybrané na skúmanie prítomnosti termického prúdenia sú: teplota vzduchu v okolí lietadla, vlhkosť vzduchu v okolí lietadla, tlak vzduchu v okolí lietadla.

Teplota vzduchu v okolí lietadla : Parameter vzduchu, ktorý je najviac závislý od výšky letu. Za predpokladu, že vo vrstve vzduchu v rovnakej výške je rovnaká teplota vzduchu a teploty v rovnakých výškach. Závisí to aj na prítomnosti rôznych meteorologických frontových útvarov alebo prítomnosti tlakových útvarov, v ktorých sa môžu vyskytnúť teplotné anomálie. Za predpokladu, že letíme nad územím, ktoré je ovplyvňované rovnakou meteorologickou situáciou, môžeme predpokladať, že teplota je konštantná vo výške. V prípade, že príde k narušeniu stabilného teplotného zvrstvenia termickým prúdením, môže prísť k výkyvu pozorovanej teploty. Ak ide o stúpavý prúd, príde k zvýšeniu teploty oproti stabilnému zvrstveniu. V prípade, ak ide o klesavý prúd, teplota sa zníži.

Vlhkosť vzduchu v okolí lietadla – Vlhkosť okolitého vzduchu môže byť tak isto využívaná na identifikáciu prítomnosti stúpavého prúdu. Môže tomu byť za predpokladu, že hodnota vzdušnej vlhkosti je rovnaká v stabilnom zvrstvení vzduchu a pri rovnakých meteorologických podmienkach nad územím, nad ktorým je vykonávaný let. Tento parameter vzduchu je možné sledovať, ak je na povrchu, nad ktorým letíme dostatočná hladina atmosférickej vlhkosti. V prípade, ak príde k vytvoreniu stúpavého termického prúdu, príde k odovzdaniu vlhkosti okolitému vzduchu. Táto odovzdaná vlhkosť vzduchu môže byť zaznamenaná a za pomoci nej môžeme určiť prítomnosť stúpavého prúdu.

Tlak vzduchu v okolí lietadla – Monitorovanie tohto parametra vychádza zo štandardnej metódy identifikácie stúpavých prúdov. Vychádzame z poznatku, že vzdušné tlakové pole je stabilne rozložené. Z toho vyplýva, že v stabilnom nenarušovanom prostredí je tlakové rozloženie konštantné. V prípade, že príde k narušeniu stabilného poľa termickým prúdom, príde k zmeneniu hodnoty podľa druhu termického prúdu. Ak pôjde o stúpavý prúd, bude tlak konštantného tlaku vyšší. V prípade klesavého prúdu, bude toto tlakové rozrušenie s nižšou hodnotou tlaku



Obrázok 1: Schéma profilu stúpavého prúdu.

Zdroj: <https://www.microsoft.com/en-us/research/uploads/prod/2019/04/thermal-and-approximate-vertical-wind.png>

Na základe určených parametrov môžeme vytvoriť návrh systému, ktorý sa bude venovať analýze prostredia okolo lietadla a monitorovaním parametrov vzduchu. Na základe zistených odchýlok v parametroch vzduchu bude možné identifikovať prítomnosť termických prúdov v mieste, v ktorom lietadlo letí.

3. Návrh monitorovacieho systému vybraných parametrov

V tejto časti sa výskum bude venovať návrhu a zostaveniu monitorovacieho systému, ktorý bude možné využiť na monitorovanie parametrov vzduchu, ktoré po vyhodnotení budú identifikovať prítomnosť termického prúdenia.

3.1. Hardvérová časť

Ako základná jednotka systému bude využívaná vývojová doska ARDUINO, ktorá bude fungovať ako základná jednotka pre spracovanie údajov a ich následné spracovanie. Jednotka bude fungovať nezávisle od iných jednotiek v porovnaní s pôvodným návrhom, kde bola navrhovaná spolupráca dvoch na seba závislých jednotiek. Realizáciou tejto úpravy predpokladáme zjednodušenie celého systému, a takisto zlepšenie interpretácie dát pre používateľa. Ako základ tohto systému bola vybraná vývojová doska ARDUINO MEGA. Vývojová doska ARDUINO MEGA dosahuje dostatočné výkonové parametre potrebné na správnu funkciu navrhovaného systému. Zaznamenávanie priebehu parametrov okolitého vzduchu bude zabezpečené senzormi. Pre snímanie tlaku v okolitom vzduchu za letu bol vybraný senzor, ktorý je využívaný aj v profesionálnych prístrojoch, ktoré sú súčasťou prístrojového vybavenia bezmotorových klzákov. Preto je predpoklad, že tento senzor bude schopný zaznamenať aj malé zmeny v atmosfére a jeho fungovanie bude bez výrazných porúch. Na analyzovanie parametru tlaku vzduchu bol vybraný senzor MS5611. Zlúčenie senzorov prišlo pri parametroch teplota okolitého vzduchu a vlhkosť okolitého vzduchu. K tomuto kroku bolo pristúpené

najmä kvôli tomu, že senzor je schopný monitorovať 2 parametre bez toho, aby prišlo k porušeniu kvality výstupu alebo citlivosti daného zariadenia. Zároveň sme k výberu tohto senzoru pristúpili z toho dôvodu, že senzor je schopný slúžiť ako záloha pri výpadku primárneho senzora na monitorovanie tlaku v okolí lietadla. Pre tento účel sme vybrali senzor BME 280. Ako zobrazovacia jednotka informácií pre pilota bude slúžiť displej. Je to zobrazovacia jednotka, ktorá je kompatibilná s vývojovou doskou ARDUINO. Daná zobrazovacia jednotka bola zvolená preto, aby bolo možné zabezpečiť čo najprehľadnejšie poskytovanie informácií pilotovi. V súvislosti s výberom zobrazovacej jednotky bolo uvažované s možnosťou ovládania celého systému. Pre tento účel bol zvolený dotykový displej Nextion NX8048T050.

3.2. Softvérová časť

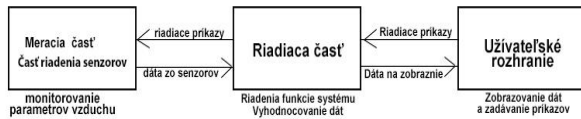
Softvérová časť projektu bude koncipovaná na jednej platforme. Táto skutočnosť pozitívne ovplyvní náročnosť projektu. Taktiež to bude mať vplyv na fungovanie celého systému, v ktorom príde k zmenšeniu možnosti na chybovosť v komunikácii medzi dvoma platformami. To znamená, že nebude nutné spracovávať dáta získané pomocou senzorov do formátu, v ktorom budú spracované druhou platformou. Táto konverzia by mohla mať vplyv na rýchlosť spracovania dát v druhom zariadení, poprípade by mohlo prísť k interferenciám, ktoré by mohli viesť k nepresnostiam v určovaní prítomnosti termických prúdov. Softvér bude vykonávať spracovanie a zobrazovanie informácií na jednej platforme. Základná funkcia softvéru bude získavanie dát zo senzorov a ich následné spracovanie. Ovládanie fungovania a funkcií softvéru bude zabezpečované za pomoci dotykového displeja. Na dotykovom displeji budú prítomné virtuálne tlačidlá, ktoré pri ich aktivovaní budú odosielať signál do vývojovej dosky ARDUINO za pomoci softvérového ovládača. Na základe povelového signálu potom vývojová doska ARDUINO bude zahajovať procedúry naprogramované pod týmto signálom. Tieto procedúry budú v súvislosti so spracovaním určených parametrov vzduchu, ktoré budú využívané na identifikáciu termického prúdu. Tieto procedúry sa budú primárne venovať jednému parametru. Budú však sledované aj ostatné parametre, ktoré budú pilotovi poskytovať informácie o ich hodnotách.

4. Konštrukcia a overovanie funkčnosti systému monitorovania atmosferických zmien

4.1. Softvérová časť systému

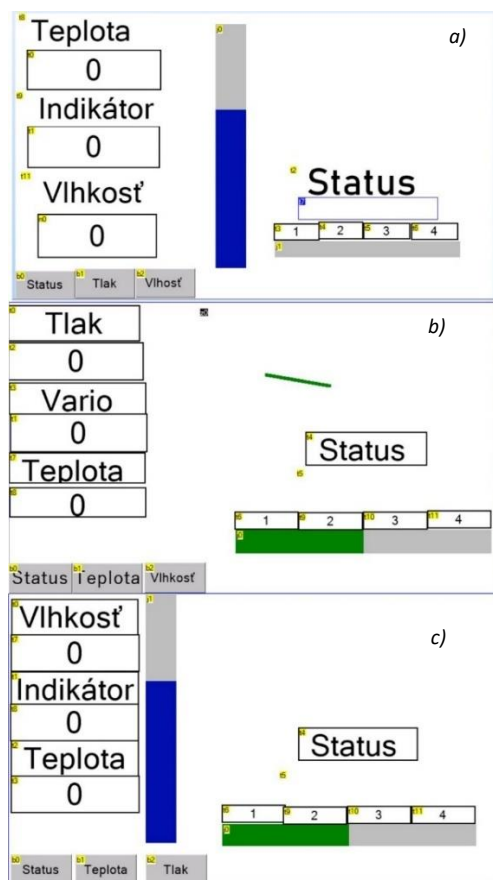
Systémová časť softvéru je rozdelená na tri časti, ktoré medzi sebou spolupracujú a budú na seba nadväzovať. Prvý oddiel systému je pomenovaný ako časť merania a riadenia senzorov. Základnou funkciou tejto časti softvéru je získavanie dát z pripojených senzorov. Táto procedúra bude dosahovaná na základe využitia softvérových ovládačov jednotlivých senzorov. Ďalšou časťou softvérovej časti systému, ktorá je považovaná za najdôležitejšiu časť, je spracovateľská, vyhodnocovacia a riadiaca časť softvéru. Táto časť je určená na spracovanie hodnôt, ktoré prídu z meracej časti softvéru. Softvér spracováva a vyhodnocuje hodnoty parametrov atmosféry, ktoré sú určené v danej procedúre programu. Procedúra začne vyhodnocovať hodnoty dodané z meracej časti. Vyhodnocovanie prebieha na základe zadaného vzorca alebo postupu, ktorý je zadaný v každej procedúre pre každú hodnotu zvlášť. Na základe

spracovania týchto údajov v spracovateľskej časti, posieľa táto časť informácie do užívateľskej časti systému, v ktorej prichádza k interpretácii. Užívateľská časť prístroja slúži na zadávanie príkazov od užívateľa pomocou navrhnutého a naprogramovaného rozhrania na dotykovej obrazovke Nextion. Interpretáciu informácií a situácie letu používateľ získava zo zobrazovacieho modulu, ktorý je pre tento variant systému navrhnutý – dotykový displej.



Obrázok 2: Zjednodušená schéma fungovania systému. Zdroj: Autori.

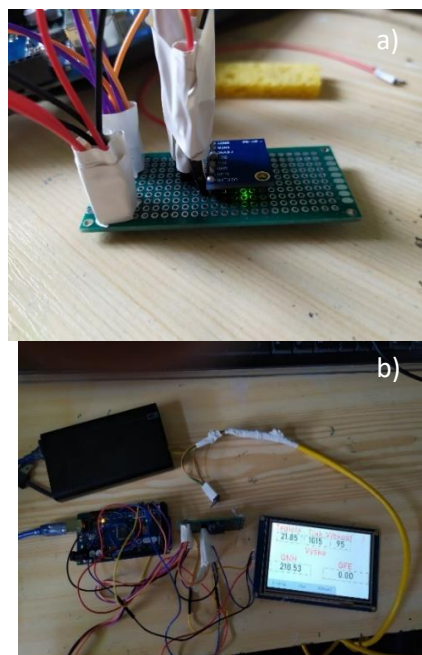
Dáta spracovávané a vyhodnocované systémom je potrebné interpretovať zrozumiteľne a prehľadne pre používateľa systému. Musí byť dosiahnuté čo najefektívnejšie zobrazenie informácií z meraní dosiahnutých systémom. Z tohto dôvodu bol zvolený systém zobrazenia, v ktorom má každý z procedúr merania a vyhodnocovania parametrov systému svoju informačnú stránku, ktorá zobrazuje informácie o meraní a vyhodnotení súčasnej situácie za letu. Stránku si používateľ vyvolá povelom zadaným cez dotykové tlačidlá umiestnené na spodnej lište každej z obrazoviek, ktorá je zobrazovaná na obrazovke systému.



Obrázok 3: Obrazovky pre jednotlivé procedúry a) Obrazovka teploty b) Obrazovka tlaku c) Obrazovka vlhkosti. Zdroj: Autori.

4.2. Hardvérová časť

Ako základ celého systému je určená vývojová doska ARDUINO. Na tomto základe bolo nutné vytvoriť takú schému pripojenia poskytujúcu bezproblémové pripojenie všetkých senzorov systému tak, aby bolo možné vytvoriť stabilnú dodávku zdroja energie a zabezpečenie stabilného dátového toku od a k senzoru systému. . Bolo prístupné k vytvoreniu dvoch vetiev pripojenia. Jedna vetva je vyhradená výlučne pre pripojenie zobrazovacej časti prístroja, aby bolo dosiahnutá nerušená a stabilná dátová komunikácia a spoľahlivá dodávka prúdu. Druhá vetva je vyhradená pre fungovanie senzorov. Základ pre pripájanie druhej vetvy tvorí PCB doska. Na dosku plošných spojov sú privedené a zapojené vodiče z vstupov na vývojovej doske ARDUINO. Na PCB doske je integrovaný senzor tlaku MS5611.



Obrázok 4: A) usporiadanie PCB dosky B) zobrazenie celého systému. Zdroj: Autori.

4.2.1. Umiestnenie senzorov

Pre správne fungovanie systému je nutné správne umiestniť senzory snímajúce parametre vzduchu. Z tohto dôvodu je potrebné určenie správneho miesta pre umiestnenie senzorov. V rámci teplotného senzora vlhkosti musí byť zabezpečené to, aby bolo možné dosiahnuť prísun náporového vzduchu, a to hlavne z dôvodu, aby bolo možné zabezpečiť meranie aktuálnych dát. Rozhodované bolo medzi dvomi pozíciami senzoru. V prvom variante išlo o umiestnenie senzora na trupe lietadla a druhým variantom bolo umiestnenie senzora v náporovom vetraní, v ktorom prichádza k prívodu vzduchu otvorom na to vyhradeným. bolo prístupné k druhému variantu, ktorý sa ukázal rovnako presný a účinný, ako pri umiestnení priamo na trup lietadla. Zvolením tohto umiestnenia odpadá potreba otvoreného vetracieho okienka za letu alebo nutnosti úpravy konštrukcie vetroňa, respektíve vytvorenia otvoru pre vyvedenie kabláže nutnej pre umožnenie prenosu a napájania senzora. Pre umiestnenie senzora monitorovania okolitého tlaku vzduchu boli taktiež vybrané dva varianty umiestnenia. Po testovacích letoch, pri ktorých boli overené oba varianty, bolo

dokázané, že oba varianty umiestnenia senzora poskytujú rovnakú presnosť merania. Preto bolo rozhodnuté, z dôvodu zjednodušenia konštrukčných požiadaviek zástavby systému do lietadla, o umiestnení senzora ako súčasť dosky plošných spojov systému.

4.3. Experimentálne overenie funkčnosti systému

Po zostrojení funkčného prototypu systému bolo nutné experimentálne overenie funkčnosti systému. Bolo potrebné vykonať overenia umiestnenia senzorov, aby bolo možné určiť ich optimálnu polohu, a to s prihliadnutím na obťažnosť zabudovania senzora a jeho následného fungovania a presnosti merania. Následne bolo prístupné k overovaniu funkčnosti samotného systému ako celku.

4.3.1. Experimentálne overovanie umiestnenia senzorov

Experimentálne overovanie umiestnenia senzorov bolo vykonávané letovými skúškami. Letové skúšky boli zamerané na zistenie funkčnosti a presnosti meraní jednotlivých senzorov pre stanovenie najvhodnejšieho umiestnenia senzorov. Pre toto overenie slúžili krátke lety v termickom počasí. Bol vytvorený pokusný systém zameraný na využitie vždy dvoch rovnakých senzorov. Na programovateľnom mikropočítači bol vytvorený program zameraný na získavanie dát z oboch senzorov a odosielanie informácií o výsledkoch merania na zobrazovaciu jednotku. Boli vykonané 4 lety zamerané na vyhľadávanie termických stúpaných prúdov. Dva lety boli vykonané za použitia dvoch senzorov BME 280, ktoré boli zamerané na monitorovanie teploty okolitého vzduchu a vlhkosti vzduchu. Ostatné dva lety sa vykonali za použitia dvoch senzorov MS5611 monitorujúcich tlak okolitého vzduchu. Po určení umiestnenia senzorov bolo možné prístupiť k experimentálnemu overeniu celého systému ako celku

4.3.2. Experimentálne overovanie funkčnosti systémového celku

Na tento účel boli naplánované ďalšie termické lety v dlhšom trvaní, za využitia denného termického intervalu pri prelete na čo najdlhšej vzdialenosti.

Spôsob vykonania experimentálneho letu

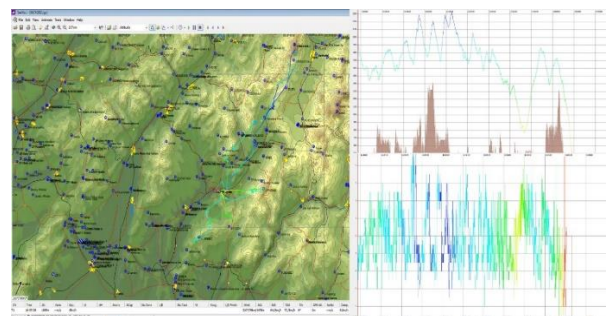
Počas letu bol použitý navrhovaný systém pre zistenie prítomnosti a optimalizáciu využitia stúpaného termického prúdovania. Systém, jeho fungovanie a následné poskytovanie informácií o výskytoch termických prúdov bolo počas celej doby letu monitorované pomocou záznamovej kamery Gopro. Celý priebeh letu bol zaznamenaný za pomoci schváleného zapisovača letových údajov pre použitie v bezmotorových lietadlách LX Nano 3. Ako pomocný zapisovač letových údajov bol použitý softvér XCSoar bežiaci v navigačnom zariadení pilota.



Obrázok 5: Zobrazenie zaznamenávania funkčnosti systému a ukážka vyhodnocovaného záberu. Zdroj: Autori.

Analýza vykonaného experimentálneho letu

Na základe dát zozbieraných z letového zapisovača vieme určiť niekoľko základných informácií o lete. Maximálna výška letu bola 2300 metrov nad morom. Maximálne stúpanie bolo zaznamenané na hodnote 4,2 m/s maximálna hodnota klesania bola 4,2 m/s. Celkový čas strávený v stúpaní počas letu bol 1 hodina a 21 minút s celkovým ziskom 3869 metrov, čo predstavovalo 30% letu



Obrázok 6: Analýza letu v programe Naviter SeeYou. Zdroj : Autori.

Taktiež bolo vykonané vzájomné porovnanie letov v programe See You. Podmienkou pre porovnanie bola celková dĺžka letu. Obidva lety majú rovnakú dĺžku letu. Jeden let bol vykonaný za využitia systému a druhý bez využitia systému. Porovnanie bolo zamerané na dáta o vykonanom stúpaní za letu. Predmetom skúmania bol celkový čas lietadla v stúpaní a následné vyjadrenie celkového času letu v percentuálnom porovnaní času stráveného v stúpaní. Analýza sa venuje popisu stúpania. Celkové stúpanie zabralo pri lete 1: 21: 32, čo v percentuálnom vyjadrení predstavuje 30% letu. V prípade letu, ktorý porovnáваме, predstavovala doba v stúpaní 1: 59: 40, čo predstavovalo 44% letu. Prišli sme k výsledku, že pri využití systému nastalo zlepšenie, a to konkrétne o 37minút a 08 sekúnd, čo predstavovalo v percentuálnom vyjadrení 14%. Takisto na základe hodnoty priemerného stúpania môže byť skonštatované, že experimentálny let bol vykonaný v slabších termických podmienkach. Vyskytovali sa teda slabšie stúpania, ako pri lete bez systému. Pri vyhodnocovaní týchto parametrov sme prišli k výsledku, že pri lete s využitím systému bolo zaznamenané percentuálne zlepšenie využitia času v stúpaní a zníženie času v stúpaní.

Circling:	Time	Vario	Alt.Gain	Alt.Loss	Thermals
Total	01:21:32 (30%)	1,1m/s	6077m	-642m	34
Left	00:39:30 (48%)	1,1m/s	2932m	-403m	17
Right	00:37:14 (46%)	1,1m/s	2743m	-187m	15
Mixed	00:04:48 (6%)	1,2m/s	402m	-52m	2
Tries (<45s)	00:14:22 (6%)	-0,2m/s	394m	-554m	19

a)

Circling:	Time	Vario	Alt.Gain	Alt.Loss	Thermals
Total	01:59:40 (44%)	1,4m/s	10303m	-441m	38
Left	01:38:56 (83%)	1,4m/s	8671m	-393m	31
Right	00:17:22 (15%)	1,3m/s	1400m	-35m	5
Mixed	00:03:22 (3%)	1,1m/s	232m	-13m	2
Tries (<45s)	00:06:54 (3%)	0,2m/s	338m	-268m	15

b)

Obrázok 7: Analýza času v stúpaní a) let z využitím systému b) let bez použitia systému. Zdroj : Autori.

Tabuľka 1 Výsledky porovnávania letov. Zdroj: Autori.

Celkový čas režimu letu v stúpanom prúde s využitím navrhovaného systému / percentuálne vyjadrenie	Celkový čas režimu letu v stúpanom prúde v štandardnom prístrojovom vybavení/ percentuálne vyjadrenie
1:21:32 / 30%	1:59:40 / 44%

Celková úspora času s využitím navrhovaného systému 0:37:08 / celkové zvýšenie efektívnosti využitia stúpavých prúdov 14%

5. Záver

bolo vykonané experimentálne testovanie. Predmetom experimentálneho testovania bolo preukázanie funkčnosti a prínosov systému. Na základe testovania bolo možné určiť prínos zariadenia pri využití v bezmotorovom letaní. Výsledkom vyhodnocovania bolo preukázané zefektívnenie využívania termických prúdov. Tento fakt je preukázaný tým, že pri využití systému je zaznamenaný úbytok času stráveného v stúpaní, čo má za následok percentuálne menšiu časť letu strávenú v stúpaní. Toto zlepšenie bolo dosiahnuté tým, že prichádzalo k využívaniu jadier termických prúdov a eliminovalo sa využitie termických bublín. Zefektívnilo sa teda využitie týchto stúpavých prúdov. Na základe úspešnej analýzy parametrov vzduchu bude možné pokračovať vo výskume zameranom na implikáciu upravenej verzie navrhovaného systému do motorových lietadiel. Implikácia do motorových lietadiel bude slúžiť na identifikáciu nebezpečných javov v atmosfére. Medzi tieto javy sa zahrňuje termická turbulencia, microburst a iné. Tieto javy majú negatívny vplyv na bezpečnosť letu. V prípade využitia systému aj na tento účel, by mohlo prísť k zlepšeniu bezpečnosti letov.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj využiteľnosti autonómnych lietajúcich prostriedkov v boji proti pandémie spôsobenej COVID-19, kód ITMS 313011ATR9, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- [1] World Meteorological Organization, Weather forecasting for soaring flight, Geneva: Chaiperson, Publications Board, 2009.
- [2] P. Dvořák, Termika aneb vyšší škola plachtění., Cheb: Svět křidel, 2002.
- [3] P. Dvořák, Letecká meteorologie, Svět křidel, 2010.
- [4] N. Camacho, Cooperative Autonomy of Multiple Solar-Powered Thermal Gliders, 2014.
- [5] K. Andersson, Thermal Centering Control for Autonomous Soaring; Stability Analysis and Flight Test Results, 2012.
- [6] W. Vallejo, C. Diaz-Urbe and C. Fajardo, „Do-it-yourself methodology for calorimeter construction based in arduino data acquisition device for introductory chemical laboratories“, Heliyon, 2020.
- [7] P. Pecho, V. Ažaltovič, B. Kandra and M. Bugaj, „Introduction study of design and layout of UAVs 3d printed wings in relation to optimal lightweight and load distribution“, Transportation Research Procedia, pp. 861-868, 2019.
- [8] C. J. Pennycuik, „Chapter 10 Gliding Flight and Soaring“, rev. Pennycuik, C. J. (2008). Chapter 10 Gliding Flight and Soaring. Modelling the Flying Bird, , 2008, pp. 271-304.
- [9] Bugaj, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.

STATE AID TO AIRPORTS AS A PROBLEM OF COMPETITION IN THE EU

ŠTÁTNA POMOC LETISKÁM AKO PROBLÉM HOSPODÁRSKEJ SÚŤAŽE EÚ

Stanislava Furčáková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
s.furcakova@gmail.com

Anna Tomová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
tomova@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper deals with the issues of state aid to airports in the context of pandemic and competition in the European Union. Covering the current pandemic, the paper brings findings on the number of state aid cases, forms of state aids, chronology of state aids, and the time duration between the notification and the decision of European Commission. In the conclusions, old member states of the European Union are compared with newer member states in this regard. As it shows that European Commission understands current aviation situation and approves measures notified by the Member states of Union.

Keywords

state aid, airports, COVID-19, European Commission, legislation framework, pandemic

1. Úvod

Téma štátnych pomoci v oblasti leteckej dopravy Európskej únie bola zaujímavá a aktuálna už pred pandémiou, najmä z hľadiska vytvorenia nových pravidiel štátnej pomoci. Po vypuknutí krízy a poskytovaní pomoci zo strany štátov viacerým odvetviami je ešte aktuálnejšia.

Pandémia ovplyvnila celosvetové dianie, ovplyvnila každodenný život a ochromila odvetvie leteckej dopravy. Podniky, ktoré boli pred pandémiou schopné samofinancovania, dnes čelia finančným ťažkostiam. Európska komisia preto umožnila členským štátom poskytnúť podnikom pomoc v rôznych formách na základe dočasného rámca štátnej pomoci.

Článok je zameraný na analýzu legislatívneho rámca štátnej pomoci v odvetví leteckej dopravy, najmä na letiská. Ďalej sa článok venuje analýze štátnej pomoci pre vypuknutím štátnej pomoci a najmä na analýzu štátnej pomoci v období koronakrízy.

2. Stručný prehľad rámca pre štátnu pomoc

Štátna pomoc je definovaná ako konanie orgánu na vnútroštátnej, regionálnej alebo lokálnej úrovni s využitím verejných zdrojov v prospech určitých podnikov alebo výroby určitého tovaru. Podnik, ktorému je poskytnutá určitá forma štátnej pomoci v súlade s platnými pravidlami. Štátna pomoc – verejné financovanie, ktorá nie je poskytnutá v súlade s pravidlami, môže viesť k narušeniu hospodárskej súťaže.

Štátne financovanie letísk, ktoré bolo bežné pred vytvorením jednotného európskeho trhu, nebolo zo strany Európskej Komisie vnímané ako narušenie trhu. Po završení liberalizácie v roku 1997 boli pravidlá pre verejné financovanie letísk minimálne. Členské štáty únie využili nedokonalosť pravidiel

financovania a Európska Komisia ako odpoveď na danú situáciu vytvorila pravidlá pre financovanie letísk vo forme *Usmernenia Spoločenstva týkajúce sa financovania letísk a štátnej pomoci na začatie činnosti pre letecké spoločnosti s odletom z regionálnych letísk 2005/C 312/01*. Po určitom čase, kedy boli pravidlá súčasťou praxe a po verejnej konzultácii, vytvorila Európska Komisia nové pravidlá štátnej pomoci pre letiská, ktoré lepšie odpovedali novej situácii na trhu - *Nariadenie EÚ č. 651/2014 o vyhlásení určitých kategórií pomoci za zlučiteľné s vnútorným trhom podľa článkov 107 a 108 zmluvy a Usmernenie štátnej pomoci pre letiská a letecké spoločnosti 2014/C 99/03 – Oznámenie komisie*. V roku 2017 Európska Komisia prostredníctvom *Nariadenia Komisie EÚ 2017/1084* udelila výnimku pre letiská s ročným objemom dopravy do 200 000 cestujúcich. [1, 2, 3]

Situácia na trhu sa mení a preto sa Európska Komisia rozhodla aktualizovať pravidlá štátnej pomoci v odvetví leteckej dopravy. V roku 2019 otvorila verejnú konzultáciu k aktuálnym pravidlám. V tejto konzultácii sa mali možnosť vyjadriť členské štáty, letiská, leteckí dopravcovia a iné subjekty, ktoré sú zahrnuté v procesoch poskytovania štátnej pomoci letiskám. Najčastejšie pripomienky subjektov sú:

- zložitnosť pravidiel, ktoré sú tvorené viacerými dokumentmi;
- celková dĺžka procesu žiadosti a nákladnosť procesu najmä pri malých regionálnych letiskách;
- nedostatočná definícia určitých oblastí – napr. financovanie neehospodárskych činností;
- investície do ochrany životného prostredia;

- kategorizácia letísk – nové možnosti kategorizácie s ohľadom aj na iné parametre ako ročný objem dopravy a zohľadnenie sezónnych výkyvov;
- zmena maximálnej intenzity investičnej pomoci pre letiská s ročným objemom dopravy do 1 mil. pasažierov;
- pravidlá investičnej pomoci do pozemnej infraštruktúry letísk;
- dĺžka prechodného obdobia, ktorá nemusí byť dostatočná, pretože mnohé letiská nebudú schopné samofinancovania;
- definícia spádovej oblasti, ktorá nie je dostatočná a je v rozpore s Nariadením 1008/2008. [4, 5]

2.1. Štátna pomoc v kontexte koronakrízy

Celosvetová pandémia ovplyvnila celý svet – boli zavedené opatrenia na zníženie šírenia vírusu COVID-19, ktoré ovplyvnili celkovú ekonomickú situáciu. Európska Komisia v *Oznámení Komisie: Koordinovaná hospodárska reakcia na vypuknutie nákazy COVID-19* uviedla, že medzinárodný aj európsky sektor leteckej dopravy bol výrazne zasiahnutý. V danom dokumente boli stanovené podmienky poskytovania štátnej pomoci, nutnosti notifikácie štátnej pomoci Komisii a možné formy štátnej pomoci nie len pre odvetvie leteckej dopravy. Členské štáty začali notifikovať a poskytovať štátne pomoci v rôznych formách, ktoré sa Komisia prostredníctvom *Oznámenia Komisie: Dočasný právny rámec pre opatrenia štátnej pomoci na podporu hospodárstva v súčasnej situácii spôsobenej nákazou COVID-19* snažila dosiahnuť rovnaké podmienky pre všetky štáty, aby zabránila súťaženiu v poskytovaní štátnych pomoci. [6, 7]

3. Prípadové štúdie

Štátna pomoc v odvetví leteckej dopravy môže spôsobiť narušenie hospodárskej súťaže, no v niektorých prípadoch poskytnutie pomoci prináša výhody pre určitý región alebo je potrebné ju poskytnúť pre zachovanie spojenia určitého regiónu. Komisia preto posudzuje každý prípad samostatne a dôkladne skúma dopady poskytnutej štátnej pomoci na hospodársku súťaž. Prípadové štúdie sú vypracované na základe databázy Európskej Komisie o štátnych pomociach.

Financovanie z verejných zdrojov – teda poskytovanie štátnej pomoci je problémom, ktorý môže narušovať hospodársku súťaž v rámci vnútorného trhu Európskej únie. No na trhu môže dochádzať k deformáciám, ktoré môžu byť štátnymi kompenzované. V Zmluve o fungovaní Európskej únie sú definované situácie, kedy je štátna pomoc zlučiteľná s vnútorným trhom v článku 107 ods. 2 písmeno a – c a článku 107 ods. 3 písmeno a – e. [8]

3.1. Štátna pomoc notifikovaná pred koronakrízou

Štátne pomoci v odvetví leteckej dopravy poskytované v období pred vypuknutím pandémie vírusu COVID-19 sa primárne notifikujú na základe pravidiel z roku 2014 a na základe týchto pravidiel sú posudzované Komisiou. Počet prípadov, ktoré boli notifikované podľa týchto pravidiel alebo boli posudzované podľa týchto pravidiel je 105. Databáza štátnej pomoci okrem notifikovaných prípadov štátnej pomoci obsahuje aj sťažnosti spojené s údajnou štátnou pomocou.

Niektoré z týchto prípadov boli notifikované ešte pred prijatím týchto pravidiel, no neskôr boli na základe týchto pravidiel posudzované. Komisia po posúdení jednotlivých prípadov konštatovala, že určité opatrenie je štátna pomoc zlučiteľná s vnútorným trhom, dané opatrenie nie je štátnou pomocou alebo započala formálne vyšetrovanie. Ak notifikovaný prípad obsahoval viacero opatrení, Komisia vydala viacero rozhodnutí.

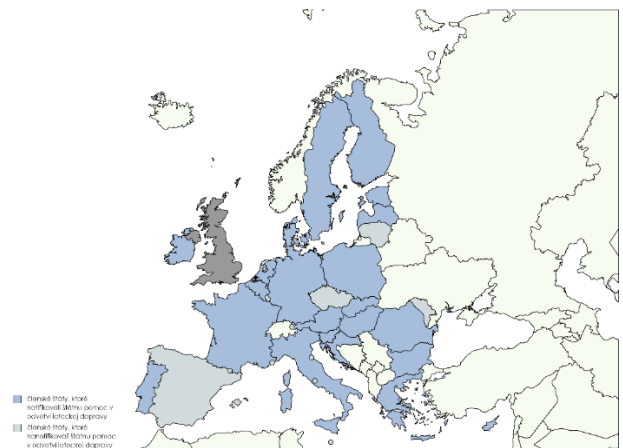
Členské štáty zvyčajne v danom období notifikovali schémy pomoci, pomoci ad hoc ale aj individuálne pomoci. Celkové rozdelenie je takmer proporčné, no najviac bolo notifikovaných prípadov ad hoc pomoci, nasledované individuálnou pomocou a schémami pomoci. [9]

Tabuľka 1: Rozdelenie typov štátnych pomoci v období pred koronakrízou. Zdroj: Autori.

Štátna pomoc	
ad hoc	42
individuálna	36
schéma pomoci	27

3.2. Štátna pomoc notifikovaná v súvislosti s koronakrízou

Kríza spôsobená pandemiou vírusu COVID-19 spôsobila ekonomické straty, ktoré je možné na základe pravidiel kompenzovať. Členské štáty mohli v rámci opatrení notifikovať celonárodné opatrenia, opatrenia pre jednotlivé sektory alebo štátnu pomoc pre jednotlivé subjekty. Na základe databázy Komisie o štátnych pomociach bolo notifikovaných 59 prípadov štátnej pomoci v odvetví leteckej dopravy v kontexte koronakrízy počas sledovaného obdobia. [10, 11]

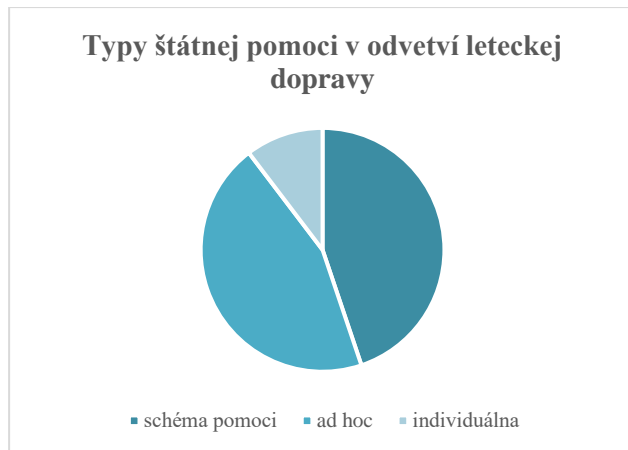


Obrázok 1: Členské štáty, ktoré notifikovali štátnu pomoc v odvetví leteckej dopravy v kontexte koronakrízy. Zdroj: Autori.

Štátnu pomoc v odvetví leteckej dopravy notifikovali takmer všetky členské štáty Európskej únie. Na Obrázku 1 sú zobrazené členské štáty, ktoré notifikovali štátnu pomoc. Štáty, ktoré nenotifikovali štátnu pomoc v odvetví leteckej dopravy sú Česko, Litva, Malta a Španielsko. Tieto štáty mohli notifikovať všeobecnú štátnu pomoc, ktorá sa uplatňuje aj na odvetvie leteckej dopravy.

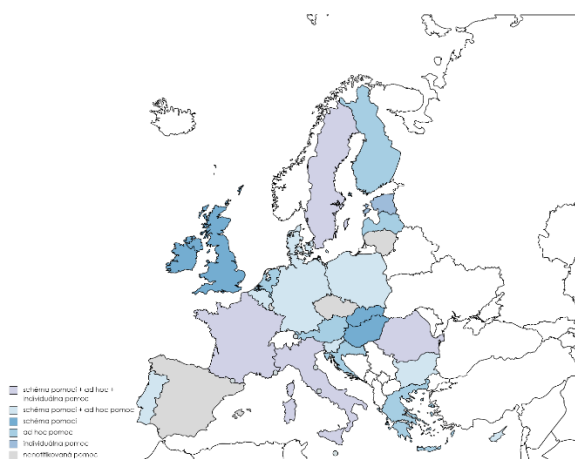
Členské štáty najčastejšie notifikovali štátnu pomoc leteckým dopravcom – v 34 prípadoch, v 16 prípadoch išlo o štátnu pomoc letiskám, 8 prípadov bolo spojených s celkovým odvetvím leteckej dopravy a jeden prípad štátnej pomoci

handlingovej spoločnosti a jeden prípad štátnej pomoci poskytovateľovi leteckých navigačných služieb. [10, 11]



Graf 1: Typy štátnej pomoci v odvetví leteckej dopravy v kontexte koronakrízy. Zdroj: Autori.

Pri porovnaní jednotlivých typov štátnych v období koronakrízy (Graf) bolo notifikovaných najviac schém štátnych pomoci, porovnateľne bolo notifikovaných ad hoc prípadov a najmenej individuálnych prihlášok. [10, 11]



Obrázok 2: Rozdelenie členských štátov na základe notifikovaných typov štátnych pomoci v kontexte koronakrízy. Zdroj: Autori.

Notifikovaná pomoc v jednotlivých štátoch mala rôznu intenzitu. Na základe databázy Európskej Komisie je možné identifikovať rôzne kombinácie typov pomoci (Obrázok):

- Schéma pomoci + ad hoc pomoc + individuálna pomoc bola poskytnutá najmä staršími členskými štátmi – Švédsko, Francúzsko, Taliansko a jedným novším štátom - Rumunskom;
- schéma pomoci + ad hoc pomoc bola notifikovaná v rovnakom počte staršími (Belgicko, Portugalsko, Nemecko, Dánsko) a novšími členskými štátmi (Bulharsko, Cyprus, Poľsko, Slovinsko);
- schéma pomoci bola notifikovaná rovnakým počtom starších a novších členských štátov – Veľká Británia, Írsko spolu s Maďarskom a Slovenskom;

- ad hoc pomoc bola notifikovaná štyrmi staršími (Fínsko, Holandsko, Rakúsko, Grécko) a dvomi novšími členskými štátmi (Lotyšsko a Chorvátsko);
- individuálna pomoc bola notifikovaná Estónskom.

Časová os notifikácie štátnej pomoci letiskám je zobrazená na Obrázku 3. Staršie členské štáty (na Obrázku zvýraznené) notifikovali najmä schémy pomoci. Výnimkou je Taliansko, ktoré notifikovalo individuálnu pomoc letiskám Toscana – Pisa a Florencia. Novšie členské štáty notifikovali schémy pomoci, ad hoc pomoci a aj individuálnu pomoc.

Letiská patria do infraštruktúrneho stupňa leteckej dopravy. Sú poskytovateľmi potrebnej infraštruktúry a teda na území štátu sa ich môže nachádzať niekoľko. Preto väčšina štátov notifikovala najmä schémy pomoci, aby tak prostredníctvom jedného notifikované prípadu poskytli pomoc viacerým subjektom. Schémy pomoci boli notifikované najmä staršími členskými, novšie členské štáty notifikovali schémy pomoci, ale aj jednotlivé pomoci. Novšie členské štáty teda neposkytovali komplexnú pomoc, čo môže súvisieť s infraštruktúrou letísk alebo s menšími skúsenosťami s notifikáciou štátnej pomoci. [10, 11]

Dátum notifikácie

24.3.2020	28.4.2020	11.6.2020	22.6.2020	20.7.2020	24.7.2020
Belgicko Walon airports	Rumunsko Timisoara Airport	Nemecko letiská	Lotyšsko Medzinárodné letisko v Ríge	Bulharsko letiská Burgas a Varna	Dánsko letiská a leteckí dopravcovia
31.7.2020	6.8.2020	25.8.2020	18.9.2020	8.10.2020	14.10.2020
Poľsko letiská	Belgicko Flemish airports	Veľká Británia škótske letiská	Rumunsko regionálne letiská	Cyprus letiská Hermes	Poľsko letiská
27.10.2020	13.11.2020	23.11.2020	4.12.2020	18.12.2020	
Slovensko letiská	Taliansko Letisko Toscana	Írsko letiská	Slovinsko Fraport	Dánsko prevádzková pomoc menším regionálnym letiskám	

Obrázok 3: Časová os notifikácie štátnych pomoci letiskám jednotlivými členskými štátmi v kontexte koronakrízy. Zdroj: Autori.

V prvých mesiacoch vypuknutia krízy notifikovali členské štáty najmä štátnu pomoc leteckým dopravcom. Letiská sú subjektmi, ktoré sú v porovnaní s leteckými dopravcami menej náchylné subjekty na zmeny v rámci daného odvetvia – zníženie objemu prevádzky. Toto môže byť jeden z dôvodov neskoršej notifikácie štátnej pomoci letiskám v porovnaní s notifikáciou štátnej pomoci leteckým dopravcom.

Prvými štátmi, ktoré notifikovali štátnu pomoc letiskám sú Belgicko, ktoré túto pomoc notifikovalo v mesiaci marec 2020, a Rumunsko, ktoré ju notifikovalo v apríli 2020. Ďalšia notifikovaná štátna pomoc letiskám bola až v júni 2020, teda tri mesiace od rozšírenia vírusu COVID-19. V priebehu sledovaného obdobia boli štátne pomoci letiskám notifikované súbežne staršími aj novšími členskými štátmi.

Okrem notifikácie je dôležitou súčasťou procesu schvaľovania štátnej pomoci aj rozhodnutie Komisie (Obrázok). K rozhodnutiu Komisie sa viaže dátum rozhodnutia a teda aj čas medzi dátumom notifikácie a dátumom rozhodnutia. V prvých notifikovaných prípadoch je zachované aj poradie, rozdiely v poradí je možné pozorovať až neskôr. Na základe porovnania časovej osi je možné tvrdiť, že Európska Komisia sa snažila prípady schvaľovať v rovnakom poradí v akom boli notifikované.

Priemerná dĺžka rozhodovacieho procesu v kontexte koronakrízy je 57 dní. [10, 11]

Dátum rozhodnutia					
11.4.2020	5.8.2020	11.8.2020	14.8.2020	3.9.2020	28.9.2020
Belgicko Waloni airports	Rumunsko Timisoara Airport	Nemecko letiská	Bulharsko letiská Burgas a Varna	Dánsko letiská a leteckí dopravcovia	Poľsko letiská
29.9.2020	26.10.2020	17.11.2020	23.11.2020	2.12.2020	22.12.2020
Belgicko Flemish airports	Poľsko letiská	Cyprus letiská Hermes	Rumunsko regionálne letiská	Veľká Británia škótske letiská	Slovensko letiská
	1.2.2021	23.2.2021	1.3.2021	8.3.2021	
	Slovensko Fraport	Írsko letiská	Taliansko Letisko Toscana	Lotyšsko Medzinárodné letisko v Ríge	

Obrazok 4: Časová os rozhodnutí Komisie o štátnych pomociach letiskám v kontexte koronakrízy. Zdroj: Autori.

4. Konfrontácia zistení

Pohľad na štátnu pomoc sa počas rokov menil, v určitých obdobiach bolo verejné financovanie vnímané ako bežná prax, inokedy ako výnimočná situácia. Pred zjednotením európskeho trhu nebolo verejné financovanie upravované na európskej úrovni a štáty mohli dotovať subjekty na základe ich možností. Po vytvorení jednotného trhu, boli nastavené určité pravidlá, ktoré boli niekoľkokrát upravované tak, aby odpovedali situácií na trhu. Zo strany Komisie má byť štátna pomoc udeľovaná len v určitých situáciách a v súlade s platnými pravidlami. Okrem notifikovaných štátnych pomoci, môžu členské štáty poskytnúť aj nenotifikovanú pomoc subjektom, ktorým verejné financovanie neprinesie výhodu a nenaruší hospodársku súťaž medzi subjektmi v danom odvetví.

Pred vypuknutím pandémie vírusu COVID-19 otvorila Komisia verejnú konzultáciu k súčasným pravidlám poskytovania štátnej pomoci letiskám a leteckým dopravcom vydaním v roku 2014 a roku 2017. Verejná konzultácia má priniesť pohľad subjektov zapojených do procesov poskytovania štátnych pomoci. Pripomienky subjektov by mohla Komisia využiť pri vypracovávaní nového právneho rámca.

Od roku 2014, kedy vstúpili do platnosti súčasné pravidlá štátnej pomoci v odvetví leteckej dopravy obsahuje databáza 105 prípadov, ktoré nie sú notifikované v súvislosti s pandemiou vírusu COVID-19. V sledovanom období koronakrízy bolo notifikovaných 59 prípadov štátnej pomoci v odvetví leteckej dopravy.

Pri porovnaní počtu prípadov je zrejmé, že odvetvie leteckej dopravy bolo zasiahnuté vypuknutím pandémie vírusu COVID-19. Počas krátkeho obdobia pandémie členské štáty notifikovali viac ako polovicu prípadov štátnych pomoci v období pred krízou. Jednotlivé členské štáty sa snažia podporiť ako letiská, tak aj leteckých dopravcov, ktorí trpia nedostatkom likvidity ako mnoho iných subjektov.

Komisia rozumie situácií, ktorú pandémia priniesla. Obmedzenie pohybu obyvateľov členských štátov v rámci únie alebo medzi tretími krajinami, spôsobilo prepad v leteckej doprave a stratu výnosov. Aj toto potvrdzuje to, že letiská čelia situácií aká tu ešte nebola a zahrnuté subjekty majú záujem o záchranu infraštruktúry. Otázkou však zostáva aký bude prístup po ukončení pandémie a následne aký prístup zvolí Komisia pri reštrukturalizácii. Štátne pomoci, ktoré sú poskytnuté podľa dočasného právneho rámca nemajú slúžiť na reštrukturalizáciu infraštruktúry po pandémii. V súčasnosti je cieľom Komisie

zachovanie letiskovej infraštruktúry a leteckých dopravcov, aby bolo zachované letecké spojenie.

Priemerný rozhodovací čas Komisie prípadov, ktoré boli notifikované pred krízou je 474, 48 dňa. Toto dokazuje, že podávanie žiadostí a schvaľovací proces súvisiaci s poskytovaním štátnych pomoci je momentálne administratívne náročný. Rovnako to potvrdzuje, že Komisia v niektorých prípadoch potrebuje dlhší čas rozhodovacieho procesu a to najmä v prípadoch, ktoré môžu byť neoprávnenou pomocou. Počas koronakrízy je priemerný schvaľovací čas 53 dní, pričom Komisia schválila všetky žiadosti počas sledovaného obdobia. Komisia momentálne schvaľuje všetky žiadosti, pretože štátna pomoc nepredstavuje narušenie trhu, ale slúži na jeho zachovanie.

Dopad pandémie je možné vidieť aj na jednotlivých typoch notifikovaných pomoci. Pred jej vypuknutím boli najčastejšie notifikované prípady ad hoc, po jej vypuknutí boli najčastejšie notifikované ad hoc prípady, no aj schémy štátnej pomoci. Členské štáty sa snažia notifikovať štátnu pomoc pre čo najviac subjektov. Okrem štátnej pomoci notifikovanej v rámci odvetvia leteckej dopravy, mohla byť pomoc poskytnutá aj prostredníctvom iných prípadov, ktoré boli notifikované štátmi ako celoplošné opatrenia – daňové úľavy a pod..

Pri porovnaní notifikácií členskými štátmi je zrejmé, že staršie členské štáty notifikovali pomoc promptnejšie ako novšie členské štáty. Aj napriek možnému neschváleniu pomoci alebo potrebe upravenia notifikovaných opatrení, ju notifikovali a následne poskytli. Niektoré staršie členské štáty notifikovali pomoc už niekoľko dní po vypuknutí pandémie, pri novších členských štátoch je možné pozorovať, že reakcia trvala dlhšie. Dôvodom môže byť to, že staršie členské štáty sú viacej oboznámené s procesom notifikovania a poskytovania štátnej pomoci.

V prípade starších členských štátov je častejšie viacnásobné notifikovanie štátnych pomoci v porovnaní s novšími členskými štátmi. Novšie členské štáty notifikovali najčastejšie jednu až dve štátne pomoci v odvetví leteckej dopravy. Prijímateľmi väčšiny štátnych pomoci sú letecké spoločnosti, ktoré sú náchylnejšie na nedostatok likvidity ako letiská, preto sa členské štáty zamerali najmä na tieto subjekty. Na viacerých letiskách nie je dostatok kapacity a preto bol na nich zavedený systém slotov, pri ktorom je potrebné jeho aktívne využívanie leteckými spoločnosťami. Ak letecké spoločnosti nechceli prísť o daný slot museli ho lietať, aj keď im to prinášalo straty a preto sa ich problémy s likviditou prejavili skôr ako pri letiskách. Aj napriek poklesu leteckej dopravy veľa letísk ostávalo naďalej otvorených, aj napriek tomu, že finančne by bolo rentabilnejšie ich uzatvorenie. Tieto letiská boli vstupnými bránami do štátov pre potreby repatričných letov, štátnych letov alebo cargo letov so zdravotníckymi pomôckami.

Komisia pred vypuknutím pandémie otvorila pripomienkové konanie pre pravidlá štátnej pomoci v odvetví leteckej dopravy. Pri ich revidovaní bude musieť Komisia brať do úvahy aj danú situáciu alebo vytvoriť všeobecné usmernenia pre najviac zasiahnuté odvetvia. Ďalším dôležitým aspektom obnovy leteckej dopravy budú možnosti medzištátneho cestovania, či pre potreby biznis alebo voľnočasového cestovania a dôvera ľudí k bezpečnosti leteckej dopravy.

Na základe analýzy sa dajú členské štáty rozdeliť na tie, ktoré sú s pravidlami notifikovania štátnych pomoci oboznámené lepšie a tými, ktoré zaostávajú. Pravidlá štátnych pomoci nie len pre odvetvie leteckej dopravy sú komplexné a zvyčajne administratívne náročné. Preto by mala Komisia tento proces zjednodušiť, pretože niektoré štáty, aj keď sú si vedomé nutnosti štátnej intervencie, no nemajú na to dostatočné skúsenosti. Jedným z ďalších riešení je aj vychovávanie odborníkov na štátnu pomoc, nie len pre leteckú dopravu. Vytvorenie študijného programu, ktorý by sa zaoberal právnymi aspektmi štátnej pomoci by mohol priniesť zjednodušenie procesu a možnosť niektorých štátov podporovať svoje podniky, ktoré to potrebujú.

PodĎakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky VEGA 1/0695/21 „Letecká doprava a COVID-19: Výskum dopadov krízy so zameraním na možnosti revitalizácie odvetia“.

Referencie

- [1] Európska komisia. 2005. *Oznámenie Komisie: Usmernenie spoločenstva týkajúce sa financovania letísk a štátnej pomoci na začatie činnosti pre letecké spoločnosti s odletom z regionálnych letísk (2005/C 99/03)*[online]. Brusel: Európska komisia, 9.12.2005. [citované 10.2.2021] Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52005XC1209%2803%29>.
- [2] Európska komisia. 2014. *Oznámenie Komisie: Usmernenia o štátnej pomoci pre letiská a letecké spoločnosti (2014/C 99/03)*. [online]. Brusel: Európska komisia, 4.4.2014. [citované 8.2.2021] Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52014XC0404%2801%29>
- [3] Európska komisia 2017. *Nariadenie Komisie (EÚ) 2017/1084 zo 14. júna 2017, ktorým sa mení nariadenie (EÚ) č. 651/2014, pokiaľ ide o pomoc na prístavnú a letiskovú infraštruktúru* [online]. Brusel: Európska komisia, 20.6.2017. [citované 10.2.2021]. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/1084/oj>.
- [4] Európska komisia: 2019. *Targeted consultation on the ex-post evaluation of the 2014 Aviation Guidelines* [online]. Dostupné na internete: https://ec.europa.eu/competition-policy/public-consultations/closed-consultations/2019-aviation-guidelines_en (citované: 22.2.2021).
- [5] Členské štáty; letiská; letecké spoločnosti; iné subjekty: 2019. *Pripomienky k súčasnému právnemu rámcu štátnej pomoci v oblasti leteckej dopravy (List of contributions)* [online]. Dostupné na internete: https://ec.europa.eu/competition-policy/public-consultations/closed-consultations/2019-aviation-guidelines_en. (citované. 23.2.2021)
- [6] Európska komisia: 2020. *Dočasný rámec pre opatrenia štátnej pomoci na podporu hospodárstva v súčasnej situácii spôsobenej nákazou COVID-19* [online]. Brusel: Európska komisia, 20.3.2020 [citované 24.2.2020]. Dostupné na internete: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOC_2020_091_I_0001
- [7] Európska komisia: 2020. *Oznámenie Komisie: Koordinovaná hospodárska reakcia na vypuknutie nákazy COVID-19* [online]. Brusel: Európska komisia, 13.3.2020. [citované 24.2.2020]. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0112>
- [8] Európska komisia: 2016. *Zmluva o fungovaní Európskej únie (Konsolidované znenie)* [online]. Brusel: Európska komisia, 7.6.2016 [citované:12.4.2021] Dostupné na internete: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9e8d52e1-2c70-11e6-b497-01aa75ed71a1.0021.01/DOC_3&format=PDF.
- [9] Európska komisia: *State aid database: Policy Area: State aid; Decision Date: since 4.4.2014 Economic sector (NACE CODE): H.51 - Air Transport until february 2020* [online]. Dostupné na internete: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/index.cfm?fuseaction=dsp_result&policy_area_id=3. (citované 14.3.2021)
- [10] Európska komisia: *State aid Database: Policy Area: State Aid; Decision date: since february 2020; Economic sector: H.51 - Air Transport; COVID-19 related cases* [online]. Dostupné na internete : https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/index.cfm?fuseaction=dsp_result&policy_area_id=3. (citované: 12.3.2021)
- [11] Európska komisia: 2021. *Coronavirus Outbreak - List of Member State Measures approved under Articles 107(2)b, 107(3)b and 107(3)c TFEU and under the State Air Temporary Framework* [online]. Brusel: Európska Komisia 2021. [citované: 29.3.2021]. Dostupné na internete: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/what_is_new/State_aid_decisions_TF_and_107_2b_107_3b_107_3c.pdf

PROGRESSIVE METHODS OF ELIMINATING DANGEROUS BEHAVIOUR OF AIR TRANSPORT PASSENGERS

PROGRESÍVNE METÓDY ELIMINOVANIA NEBEZPEČNÉHO SPRÁVANIA SA PASAŽIEROV V LETECKEJ DOPRAVE

Miroslava Gáborová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
gaborova9@stud.uniza.sk

Ján Rostáš
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jan.rostas@fpedas.uniza.sk

Abstract

This paper analyses the topic of dangerous behaviour of air passengers, focusing on the design of progressive methods that would contribute to the elimination of such incidents. The content of the work is divided into three main parts. The first part is dedicated to the overview of regulations and international organizations which deal with this issue. The second part is devoted to the processing of statistical data and the results of a questionnaire focused on cabin crew. By analyzing of these data, we defined the basic factors that contribute to the dangerous behaviour of passengers and described the consequences which results from such behaviour. In this section, we also address the impact of the coronavirus pandemic as a major influencing factor. The third part is providing suggestions for technical and procedural elimination of dangerous behaviour of passengers, focusing on the area of prevention. In the proposals, we target to improving existing conventional methods and also to the design of progressive methods that would provide new manners of prevention against unruly passengers. For assessment of selected methods we carried out an experimental verification. The results of this experiment confirmed the capability of the proposed methods for eliminating dangerous behaviour of air passengers.

Keywords

Unruly passenger, Air rage, Elimination methods

1. Úvod

Tento článok je zameraný na oblasť pasažierov v leteckej doprave, ktorí svojim konaním nepriaznivo ovplyvňujú zabezpečenie plynulosti a bezpečnosti tohto sektoru. Cestujúci svojím neprispôsobivým správaním denne narúšajú komfort a bezpečnosť ostatných cestujúcich, sťažujú prácu palubnému personálu, ale tiež zvyšujú náklady leteckých spoločností a ovplyvňujú ich reputáciu. Aj napriek v súčasnosti aplikovaným opatreniam dochádza podľa štatistík EASA v priemere každé tri hodiny k ohrozeniu bezpečnosti letu vplyvom nebezpečného správania sa pasažierov. Takýto cestujúci predstavuje počas letu mimoriadne bezpečnostné riziko, keďže špecificky izolovaný priestor lietadla neumožňuje uniknúť pred jeho konaním alebo privolať pomoc. Primárnym cieľom práce je poskytnúť návrh, jednak pre zlepšenie súčasne aplikovaných konvenčných metód, ale taktiež pre zavedenie progresívnych metód, ktoré by mohli byť vhodným novým nástrojom pre elimináciu skúmanej problematiky. V procese návrhu nových metód bolo našim hlavným cieľom definovať, ktoré faktory a podnety v najväčšej miere prispievajú k vzniku incidentov a následne určiť oblasti, v ktorých sú súčasné opatrenia voči neprispôsobivým pasažierom nedostatočné a je potrebné ich skvalitniť. Pre overenie funkčnosti vybraných návrhov bolo experimentálnou formou otestované aplikovanie navrhovaných metód profilovania pasažierov v simulovaných podmienkach.

1.1. Súčasný stav riešenej problematiky

Letecká doprava prechádza v posledných rokoch obdobím rozmachu. Pozorujeme značný rast odvetvia v počte letov, aj prepravených cestujúcich. Vyrábajú sa väčšie lietadlá, vo vyššom štandarde a celkovo sú zavádzané nové metódy a inovácie, ktoré majú za úlohu zvýšiť komfort cestujúcich. Tiež sa kladie väčší dôraz na bezpečnosť. Frekvencia nebezpečných prejavov správania pasažierov na palube lietadiel sa aj napriek tomu v období posledných desaťročí dramaticky zvýšila. Spomenuté vylepšenia totiž so sebou prinášajú aj negatívne stránky. Tými sú napríklad preťažené lety a letiská, tlak súvisiaci s prísnyimi bezpečnostnými opatreniami, stiesnenejšie sedadlá v lietadlách, či chaoticky sa meniace podmienky najmä u nízko-nákladových dopravcov. Taktiež pozitívum finančnej dostupnosti leteckej dopravy so sebou prináša aj riziko nevhodného správania cestujúcich, ktorí využívajú leteckú dopravu po prvýkrát v živote.

Letecká preprava tovaru a osôb je uskutočňovaná na globálnej úrovni, čomu podlieha aj potreba nadnárodnej regulácie nariadení. Problematika nebezpečného správania sa pasažierov bola po dlhé obdobie upravovaná jurisdikciou pramenciou z Tokijského dohovoru, s ktorou súviselo viacero nedostatkov. Častým problémom bolo, že po odovzdaní pasažiera orgánom činným v trestnom konaní miestne orgány nevedeli, na základe akej jurisdikcie majú postupovať a teda pasažiera prepustili s minimálnym trestom alebo úplne bez udelenia sankcie.

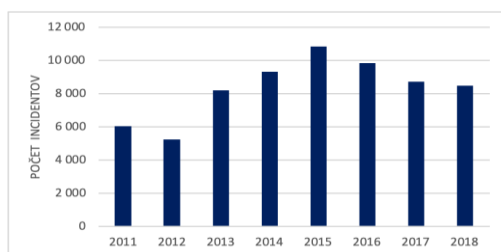
Zvýšenie počtu incidentov súvisiacich s nebezpečným správaním sa pasažierov v roku 2009 vyústilo k žiadosti Medzinárodného združenia leteckých dopravcov IATA o prehodnotenie platného dohovoru. Ich štatistiky preukázali, že až v 60% incidentov bol nedostatok jurisdikcie hlavným dôvodom, prečo nebolo nebezpečné konanie cestujúceho potrestané. Z tohto dôvodu bol ako jeden z posledných dokumentov upravujúci túto problematiku prijatý v roku 2014 Montrealský protokol, ktorý nadobudol platnosť 1. januára 2020 po ratifikácii 22 členskými štátmi ICAO, čo bol minimálny počet krajín potrebných pre uznanie platnosti dokumentu. Pre efektívnu aplikáciu nových právnych noriem na globálnej úrovni je však potrebné prijatie omnoho väčšieho počtu krajín.

Téma disciplinovanosti pasažierov sa stala dôležitým aspektom aj v súčasnej dobe, kedy je kriticky ovplyvnená pandemickou situáciou vo svete. Od globálneho rozšírenia pandémie bolo zaznamenaných množstvo prípadov, ktoré opisujú práve neprispôsobivé správanie cestujúceho, vyvolané alebo ovplyvnené pandemickou situáciou. V najväčšej miere je to porušenie povinnosti prekrytia dýchacích ciest ale spúšťačom neprimeraného konania pasažierov môže byť aj nadmerný stres vyvolaný strachom z ochorenia COVID-19.

2. Rozbor konania neprispôsobivého pasažiera

Jednou z metód v procese stanovenia cieľov, bolo vykonanie štatistického výskumu. Keďže pre dosiahnutie komplexnej štatistiky incidentov je potrebný zber dát z veľkého množstva zdrojov, využili sme pre tento účel údaje zaznamenané prostredníctvom programu STEADES, zverejnené v Správe o bezpečnosti za rok 2018 vydané združením IATA [1]. Pre obširnejší prehľad vývoja incidentov boli do štatistiky pre túto prácu vybrané dáta od roku 2011 až po posledné dostupné dáta z roku 2018.

Obrázok 1 zobrazuje vývoj počtu nahlásených incidentov v období ôsmich rokov. Štatistika vypovedá o zhruba stabilne vysokom počte incidentov, ktorý v období 2013 - 2018 neklesol pod hranicu 8000 hlásení za rok. Značný nárast v roku 2015 sa čiastočne pripisuje zavedeniu štandardizovaného formulára pre reportovanie do systému STEADES. Od roku 2015 pozorujeme mierne klesajúci trend nahlásených incidentov. Tento jav mohlo vyvolať najmä proaktívny prístup leteckých dopravcov a aplikovanie prvotných nástrojov pri riešení tejto problematiky.



Obrázok 1: Vývoj počtu nahlásených incidentov v období 2011 – 2018. Zdroj: Autori.

V roku 2018 sa do zberu dát zapojilo 213 leteckých spoločností, ktoré nahlásili 8503 bezpečnostných incidentov. V roku 2017 boli údaje o viac ako 9 miliónoch letov zozbierané od 81 leteckých spoločností, ktoré reportovali 8731 incidentov. To značí 1 incident pripadajúci na každých 1053 vykonaných letov.

Dostupná dlhodobá analýza z rokov 2007 až 2015 hovorí v priemere o 1 incidente na 1613 letov [2].

2.1. Identifikácia faktorov neprispôsobivého konania

Zásadným krokom pri snahe eliminovať nebezpečné správanie pasažierov je definovať konkrétne činitele, ktoré ho vyvolávajú, a tak lepšie pochopiť takéto konanie. K vzniku fenoménu neprispôsobivého pasažiera a možnému ohrozeniu bezpečnosti letu dochádza až v kombinácii stresových faktorov s ďalšími podnetmi, ktoré majú vplyv na naše správanie. Pôvod týchto činiteľov môže súvisieť s intoxikáciou pasažiera, psychickými problémami pasažiera alebo nepríjemnými situáciami, v ktorých sa vyskytne pred, či počas letu. V tabuľke 1 sme pre lepšiu prehľad rozdelili faktory ovplyvňujúce správanie pasažierov do troch kategórií [4].

Tabuľka 2: Prehľad faktorov ovplyvňujúcich správanie pasažierov. Zdroj: Autori.

Intoxikácia	Psychologické podnety	Situačné podnety
Alkohol	Fóbie	Krizové situácie
Fajčenie	Poruchy správania	Zákaznícky servis
Liečivá / drogy	Neadekvátne správanie	Kategorizácia pasažierov
	Spánková deprivácia	Pandémia COVID-19

Pre definovanie najčastejších spúšťačov konfliktného správania, bol ako ďalší metodický postup vykonaný kvalitatívny výskum prostredníctvom dotazníka. Dotazník bol určený pre palubných sprievodcov s cieľom zmapovať ich reálne skúsenosti a poznatky. Z odpovedí vyplýva, že jednoznačne najčastejší faktor je intoxikácia alkoholom, ktorú potvrdilo až 92% opýtaných. Zároveň polovica respondentov označila za častý spúšťač zákaz fajčenia a 46% respondentov označilo za rizikové aj situačné podnety. Za menej frekvencovaným podnetom je považovaná intoxikácia inou návykovou látkou, ktorú označilo 19 % respondentov a 11 % označilo psychologické podnety.

Tento prieskum potvrdil aj údaje z programu STEADES kde sa intoxikácia sa zaraďuje taktiež k najčastejšie identifikovaným príčinám nebezpečného správania sa pasažierov. V roku 2018 bola zaradená ako príčina konfliktu na palube pri 2451 hláseniach.

Najhorším dopadom konania neprispôsobivého pasažiera je ohrozenie celkovej bezpečnosti letu napríklad zasahovaním do práce posádky alebo komplikovaním núdzových situácií a postupov. Nedodržovanie pokynov personálu alebo nerešpektovanie disciplíny a zásad slušného správania sa však môžu odzrkadliť aj sekundárnymi následkami, ktoré priamo neohrozia bezpečnosť daného letu, ale majú zásadný dopad na palubný personál, spolucestujúcich aj dotknuté letecké spoločnosti.

3. Návrh eliminácie nebezpečných udalostí

Na základe definovania faktorov, ktoré prispievajú k vzniku neprispôsobivého správania pasažierov, pokladáme zameranie sa na prevenciu za primárne opatrenie, ktoré je nutné vykonať k eliminácii nebezpečného správania sa leteckých

pasážerov. Konvenčné metódy prevencie aktuálne používané k zamedzeniu tejto problematiky sú vo viacerých oblastiach neuspokojivé alebo sú v praxi nedostatočne využívané. Naším cieľom bolo preto zamerať sa na vybrané konvenčné metódy a navrhnúť zlepšenia, ktoré by mohli byť implementované pre lepšiu funkčnosť už jestvujúcich metód eliminácie. Druhým zameraním je poskytnúť funkčné návrhy v oblasti nových prostriedkov aplikovaných v tomto odvetví. Návrh progresívnych metód je zacielený na skvalitnenie prevencie pomocou prostriedkov technického a procedurálneho charakteru. Zameriavame sa tu na metódy eliminácie vychádzajúce z konvenčných spôsobov, avšak modifikované o nové postupy, pričom sa opierame o výsledky vykonaného štatistického výskumu.

3.1. Konvenčné metódy eliminácie nebezpečného správania sa pasažírov

Ako prvý krok presadzujeme zlepšenie nedostatkov niektorých už jestvujúcich metód :

- **Posilnenie odvetvia legislatívy**, pre zjednotenie medzinárodných právnych predpisov v oblasti civilného letectva.
- **Vytvorenie osvetových a varovných mediálnych kampaní** pre cestujúcich s cieľom poukázať na následky nebezpečného konania a spôsoby, akými môže byť cestujúci potrestaný, ktorými by dopravcovia naliehavejšie komunikovali túto problematiku a dali jasne najavo nulovú toleranciu voči neprispôsobivým pasažierom.
- **Proaktívny prístup leteckých spoločností** zameraný na zvyšovanie úrovne poskytovaných služieb a budovanie lepšej atmosféry počas letu.
- **Sky Marshals**, dôstojníci bezpečnostnej služby na palube lietadiel a ich využívanie najmä pri problémových letoch do kritických oblastí. Takéto lety predstavujú napríklad linky z „párty“ destinácií, lety obsadené športovými fanúškami alebo väčšími skupinami cestujúcich.

3.2. Progresívne metódy eliminácie nebezpečného správania sa pasažírov

Zameraním sa na nedostatky v súčasných metódach prevencie a modifikáciou niektorých jestvujúcich postupov sme vytvorili návrh progresívnych metód eliminácie nebezpečného správania sa pasažírov založený na štyroch strategických bodoch:

- **Profilovanie pasažírov**

Včasnú odhalenie pasažiera považujeme za jedno z najefektívnejších riešení pri eliminácii neprispôsobivých pasažírov, ktorým by sa zabránilo potenciálnemu ohrozovateľovi nastúpiť na palubu lietadla. V mnohých prípadoch vykazuje cestujúci náznaky neprispôsobivosti už v priestoroch terminálu letiska. Pracovníci letísk, leteckých spoločností aj ostatný personál by mali byť príslušne vyškolení a následne sa spolupodieľať na prevencii a včasnom odhalení problémového cestujúceho. Na základe štatistických údajov o neprispôsobivých cestujúcich zverejnených asociáciou IATA a zároveň vyhodnotením dotazníka, ktorý sa zameriaval na skúsenosti palubného personálu, bolo v oboch prípadoch neprispôsobivé správanie cestujúcich najčastejšie spájané

s intoxikáciou alkoholom. V oblasti profilovania, sme sa preto zamerali na návrh postupov, ktoré sa primárne orientujú na odhalenie intoxikovaného cestujúceho ešte v priestoroch letiska. Prvým navrhovaným spôsobom je vizuálne resp. fyziologické profilovanie pasažiera intoxikovaného alkoholom. Zamestnanec by prostredníctvom bežných úkonov, ktoré cestujúci vykonáva pri prechode bezpečnostnou kontrolou, mohol sledovať konkrétne prejavy správania. Pri intoxikácii je potrebné sústrediť sa na prejavy zamerané na oblasť motoriky a verbálneho prejavu ako najviditeľnejších oblastí, kde môže byť vplyv alkoholu spozorovaný. Ďalšou formou profilovania je zavedenie digitálnych technológií detekcie správania do bezpečnostných procesov v rámci letiskovej kontroly. Medzi sledované parametre patria napríklad výraz tváre, biometria, telesná teplota, potenie, nedostatok očného kontaktu, neprirodené pohyby, skrývanie tváre alebo nezvyčajné množstvo príručnej batožiny. Tieto prejavy je možné sledovať pomocou 360-stupňových kamier vo vysokom rozlíšení, so zabudovaním špeciálnych senzorov, ktoré by boli inštalované v priestoroch letiskového terminálu.

- **Unruly Passengers Book**

Vytvorenie medzinárodnej zdieľanej databázy pasažírov. Do tejto databázy by bol zaradený každý pasažier, ktorý počas procesu leteckej prepravy nerespektoval pravidlá, pokyny zamestnancov alebo jeho správanie akokoľvek ohrozilo bezpečnosť letu alebo bezpečnosť ostatných osôb na palube lietadla. Podstatou existencie takejto databázy by bolo dočasné vylúčenie pasažiera z dopravy prostredníctvom nemožnosti vytvorenia rezervácie v online rezervačných systémoch. Doba zákazu využívania leteckej dopravy by bola definovaná vzhľadom na závažnosť incidentu, za ktorý bol pasažier do systému zaradený. Zaradenie osoby do databázy by bolo pasažierovi vopred oznámené, aj s náležitým odôvodnením a platnosťou tohto opatrenia. Dôležitým rámcom by bolo aj prepojenie takejto databázy do štruktúry globálnych distribučných systémov (GDS). Tento krok by umožnil využitie už existujúceho online systému pre zdieľanie zoznamu vylúčených pasažírov. Prísna forma trestu, ktorú predstavuje aj zavedenie Unruly Passengers Book, by mohla fungovať aj ako účinný odstrašujúci prostriedok pre elimináciu neprispôsobivého správania pasažírov.

- **Povinné nahlasovanie incidentov**

Koordinované nahlasovanie incidentov na globálnej úrovni je chýbajúcim prvkom pri riešení tejto problematiky. Niektoré letecké spoločnosti si vytvárajú svoje interné systémy ohlasovania incidentov, čo môže byť vnímané ako proaktívny krok jednotlivých dopravcov, avšak takáto forma zberu dát neumožňuje efektívne zvýšenie bezpečnosti na nadnárodnej úrovni. Udalosti by mohli byť nahlasované leteckým úradom jednotlivých krajín alebo priamo nadnárodným organizáciám, pre vypracovanie štatistik a aplikovanie čo najefektívnejších postupov. Len takouto formou môže výmena informácií dopomôcť k definovaniu rizikových oblastí a aplikovaniu lepšej prevencie k predídaniu incidentov s neprispôsobivými pasažiermi.

- **Nové metódy výcviku posádky**

zamerané pre čo najlepšie zvládnutie vypätých situácií na palube. Potrebnou súčasťou výcviku posádky je tréning zacielený na zvládnutie psychicky vypätých situácií a osôb

a praktické ovládanie metód de-eskalácie. Hlavným cieľom tejto taktiky je ukľudnenie situácie a navrátenie cestujúceho do stavu, v ktorom je ochotný komunikovať a dobrovoľne spolupracovať. Pre vzrastajúci počet incidentov zahŕňajúcich agresiu na palube je potrebné zamerať výcvik palubných sprievodcov aj na oblasť fyzického zneškodnenia osoby, ktorej správanie môže závažne ovplyvniť priebeh letu a bezpečnosť ostatných ľudí na palube. Novým prístupom, pri ktorom sa posádka môže vyhnúť fyzickému zneškodneniu pasažiera, je použitie mechanických zadržiacich prostriedkov alebo tzv. security kit-u (obr. 2). Obsah setu tvoria pevné alebo pružné putá a rôzne typy popruhov pre zabezpečenie ramien a členkov. Výhodou takejto formy zadržania je rýchla manipulácia a nasadenie prostriedkov, pričom sa zamedzí ublíženiu pasažiera, keďže popruhy sú vyrobené z pevných, ale dostatočne mäkkých materiálov, ktoré nebránia prietoku krvi. Použitie takejto metódy môže dopomôcť, aby let mohol pokračovať do svojej cieľovej destinácie, namiesto núteného divertu a zároveň nevyžaduje od palubného personálu aplikovať násilné postupy zneškodnenia pasažiera.



Obrázok 2: Použitie security kit-u v praxi [Zdroj: <https://runwaygirlnetwork.com/2018/05/01/new-restraint-system-addresses-airline-passenger-violence/>]

3.3. Experimentálne overenie vybraných metód

Na základe štatistík vyplývajúcich zo zberu dát organizáciou IATA a zároveň vyhodnotením dotazníka orientovaného na skúsenosti palubných sprievodcov s nebezpečným správaním sa pasažierov, bola za najčastejšiu príčinu nebezpečného správania pasažierov definovaná intoxikácia alkoholom. Pri návrhu progresívnych metód eliminácie nebezpečného správania pasažierov sme sa preto okrem návrhu všeobecne zacielených metód eliminácie nebezpečného správania zamerali aj na spôsoby profilovania pasažierov, ktoré by zabezpečili práve vylúčenie alkoholom intoxikovaného pasažiera z letu ešte pred jeho nástupom do lietadla. Pre včasné odhalenie intoxikácie alkoholom boli navrhnuté dve metódy, akými by bolo možné v priestoroch letiska odhaliť prejavy podozrivého správania. Metódy sú založené na rozličnej forme posúdenia vplyvu alkoholu, pričom ich aplikovanie počas prechodu letiskovým terminálom by nemalo mať zásadný vplyv na dĺžku odbavenia alebo komfort pasažiera. Naším zámerom bolo, aby pasažier prvotne nevnímal aplikovanie týchto metód ako spôsoby testovania vplyvu alkoholu, ale chápal ich skôr ako bežnú súčasť odbavenia v priestoroch letiskového terminálu. Experimentálnym overením týchto vybraných metód sme sa pokúsili overiť, či by praktické využitie navrhovaných metód profilovania bol účinný nástroj pre elimináciu alkoholom intoxikovaných pasažierov.

Priebeh experimentu

Testovanie bolo vykonané na vzorke ôsmich osôb (2 ženy a 6 mužov vo vekovom rozmedzí 23 - 27 rokov), ktoré reprezentovali cestujúcich. Vykonané boli 4 pozorovania v časových rozstupoch minimálne 30-tich minút. Pre možnosť pozorovať rozdiely reakcií a konania figurantov bolo vykonané prvé referenčné pozorovanie. Po jeho ukončení požili traja figuranti alkohol, zvyšní piati figuranti neužili žiadnu alkoholickú látku. Pred každým pozorovaním boli figuranti, ktorí konzumovali alkohol otestovaní alkohol testerom. Dosiagnuté hladiny alkoholu u figurantov zaznamenané tesne pred meraniami sú zapísané v tabuľke 2.

Tabuľka 2: Namerané hodnoty alkoholu u figurantov v priebehu experimentu. Zdroj: Autori,

	1. referenčné meranie	2. meranie	3. meranie	4. meranie
Figurant 1.	0,00 ‰	0,33 ‰	0,46 ‰	0,76 ‰
Figurant 2.	0,00 ‰	0,49 ‰	0,58 ‰	1,00 ‰
Figurant 3.	0,00 ‰	0,32 ‰	0,41 ‰	0,64 ‰

Experiment 1. - Posúdenie intoxikácie pozorovaním vonkajších prejavov

Prvou experimentálne overenou metódou bolo vizuálne resp. fyziologické odhalenie intoxikácie alkoholom založené na subjektívnom hodnotení vonkajších znakov intoxikácie. V rámci tohto experimentu bola uplatnená metóda pozorovania prejavu v oblastiach, ktoré sú najzreteľnejšie ovplyvnené po požití alkoholu a to konkrétne neštandardné prejavy jemnej a hrubej motoriky a verbálny prejav. Pre testovanie funkčnosti motoriky sme využili imitovanú čítačku pasov, do ktorej bolo potrebné doklad vsunúť, pričom bolo možné zreteľne posúdiť či je vykonanie tejto úlohy pre pasažiera problémové. Pozorovanie verbálneho prejavu spočívalo v položení otázok súvisiacich s cieľom jeho cesty, množstvom batožiny, časom odletu a i. Oba spôsoby testovania boli navrhnuté s dôrazom na formu prevedenia, pričom našim cieľom bolo, aby si osoba (cestujúci), na ktorom bude takéto testovanie aplikované primárne neuvedomil, že otázky alebo požiadavky zamestnanca letiska sú cielené na odhalenie vplyvu alkoholu. Zhodnotením chybovosti pri vykonaní praktických testov by sme mali byť schopní posúdiť, či je možné na základe takejto formy testov zameraných na vonkajšie prejavy intoxikácie správne vyprofilovať osobu, ktorá je pod vplyvom alkoholických látok.

Výsledok experimentu:

Keďže základnou metódou pri tomto experimente bolo pozorovanie, pre stanovenie výsledku bolo rozhodujúce subjektívne zhodnotenie vykonaných úloh. Po zhodnutí konštatujeme, že pri vykonávaní úloh figurantami bolo možné čiastočne identifikovať, ktoré osoby požili alkoholickú látku. Pri pozorovaní motorických prejavov figurantov bolo zaznamenané pochybenie dvoch figurantov, ktorí požili alkohol. Konkrétne v čase štvrtého merania, teda cca 1,5h po začatí konzumácie alkoholu, nevykonali vloženie pasu do čítačky na prvý pokus, čo

môžeme považovať za indikáciu zhoršenej motoriky. Pri ostatných figurantoch neboli zaznamenané pri vykonaní úlohy výraznejšie odchýlky. Pri testovaní verbálnej komunikácie bolo možné pri treťom a štvrtom kole meraní postrehnúť mierne zhoršenú artikuláciu a tiež väčšiu výrečnosť respondentov pod vplyvom alkoholu v porovnaní s predchádzajúcimi meraniami. Na základe tohto praktického experimentu môžeme konštatovať, že zámer nášho pozorovania bol dosiahnutý, pričom zameranie sa na vonkajšie prejavy osoby počas odbavenia pasažiera by podľa našich zistení mohlo byť využité ako sekundárny spôsob indikácie intoxikovaného pasažiera.

Experiment 2. - Posúdenie intoxikácie využitím termokamery

Druhá metóda sa zameriavala na pozorovanie telesnej teploty ako vnútorného prejavu intoxikácie, pričom na objektívne posúdenie sme využili identifikáciu prostredníctvom termokamery. Túto metódu sme aplikovali na základe vedeckého výskumu ktorý preukázal, že pri intoxikácii alkoholom dochádza k rozdielnemu prejavu teplôt na vybraných miestach tváre [3]. V uvedenom výskume bolo preukázané, že primárnou oblasťou, kde teplota vystupuje na povrch tváre je nos človeka, ktorý sa stáva najteplejším bodom tváre. Na tomto princípe bolo pozorovanie zmeny teploty pri realizácii experimentu vykonávané v oblasti tváre so zameraním na nos figuranta, pričom sme teplotu zaznamenávali na dvoch skupinách figurantov. Jedna skupina užila počas experimentu alkoholickú látku a druhá časť figurantov nebola pod vplyvom žiadnych omamných látok. Pre správne posúdenie súvisu zaznamenatej teploty a požitia alkoholu boli figuranti pred každým meraním testovaní s využitím alkohol testera. Použitá termokamera zaznamenávala teplotu prostredníctvom zobrazenia jednotlivých farieb z farebnej škály (obrázok 3) pričom najtmavšie farby indikovali najnižšie teploty a bledšia oblasť spektra indikovala vyššie teploty. Zaznamenaný rozdiel teplôt pozorovaný zmenou farby danej oblasti tváre vo viacerých časových intervaloch bol určujúcim indikátorom pre posúdenie toho, či by mohla byť daná osoba pod vplyvom alkoholických látok. Na základe záznamov z termokamery bolo možné pozorovať zmenu teploty v oblasti tváre pri jednotlivých osobách a zhodnotiť, či a po akej dobe od požitia alkoholu a pri akej úrovni požitého alkoholu by bolo možné meraním teploty spoľahlivo odhaliť vplyv intoxikácie alkoholom u cestujúceho.



Obrázok 3: Farebná škála termokamery. Zdroj: Autori.

Výsledok experimentu:

Analyzovaním nahrávok termokamery a vytvorením snímok figurantov z jednotlivých meraní sme posudzovali, či je možné viditeľne definovať teplotnú zmenu v okolí nosa u jednotlivých figurantov. Po posúdení vytvorených snímok môžeme konštatovať, že pri figurantoch, ktorí boli počas experimentu pod vplyvom alkoholu je možné pozorovať zmenu teploty v oblasti nosa. Na obrázku č. 4, 5 a 6 je možné zreteľne pozorovať, ako teplota nosa narastala so zvýšeným množstvom konzumovaného alkoholu. Sekvencia obrázkov zachytáva snímku 1. referenčného merania (vľavo), snímku 2. merania (v strede) a snímku 4. merania (vpravo). Snímka z 3. kola merania

bola pri všetkých figurantoch veľmi podobná so snímku 2. merania a preto bola pre lepšiu prehľadnosť výstupu vynechaná. Pri figurantovi č. 3 je zaznamenaný rozdiel teplôt medzi jednotlivými snímkami menší. Predpokladáme, že tento jav mohol byť spôsobený viacerými faktormi ako sú fyzická dispozícia figuranta alebo nosenie dioptrických okuliarov.



Obrázok 4: Porovnanie záberov z termokamery u figuranta č. 1. Zdroj: Autori



Obrázok 5: Porovnanie záberov z termokamery u figuranta č. 2. Zdroj: Autori



Obrázok 6: Porovnanie záberov z termokamery u figuranta č. 3. Zdroj: Autori

Pri analýze termokamerových záznamov sme sa taktiež zacielili na komparáciu dvoch skupín figurantov porovnaním snímok osôb, ktoré konzumovali alkohol voči snímkam osôb, ktoré neboli pod vplyvom alkoholu. Zamerali sme sa opäť na rovnakú časť tváre, pričom sme zistili, že teplota v oblasti nosa u všetkých figurantov, ktorí nepožili alkohol, ostala počas štyroch meraní približne rovnaká, a teda na snímkach nie je možné evidovať žiadnu výraznejšiu zmenu farby. Ako príklad uvádzame obrázok č. 7.



Obrázok 7: Porovnanie záberov z termokamery u figuranta č.4. Zdroj: Autori

Zhodnotenie výsledkov

Cieľom praktického experimentu bolo overiť, či by aplikovanie nami navrhovaných progresívnych metód mohlo byť prínosným nástrojom pre elimináciu nebezpečného správania sa pasažierov. Experimentom zameraným na sledovanie motoriky bolo dokázané, že pri poslednom meraní bolo u figurantov, ktorí

konzumovali alkohol možné pozorovať mierne ťažkosti trafiť predmet do imitovanej čítačky. Z tohto dôvodu dedukujeme, že aplikovanie podobného zariadenia do odbavovacích hál letísk by mohlo byť užitočným prínosom pri profilovaní pasažierov. Výhodou je multifunkčnosť takéhoto zariadenia, ktorým si pasažier zároveň naskenuje svoj identifikačný doklad, čím odbremení o tento úkon zamestnanca letiska. Práve viacúčelovosť tohto zariadenia by mohla vyvážiť vyššiu prvotnú investíciu potrebnú pre zakúpenie zariadení. Takáto čítačka by mohla byť umiestnená napríklad v priestore odbavovacieho pultu či odletovej brány, v ktorých sa pasažier musí vždy preukazovať identifikačným dokladom. Samozrejme pri hodnotení tohto úkonu zamestnancom je potrebné vziať do úvahy, či cestujúci nemá zrakový alebo iný zdravotný problém, ktorý mu nedovoľuje bezproblémovo vykonať potrebný úkon.

V oblasti verbálnej komunikácie bolo možné pri väčšom množstve skonzumovaného alkoholu zaznamenať určité špecifické prejavy. Napriek kladným dosiahnutým výsledkom je potrebné dôkladne zvážiť správnu formu aplikovania tejto metódy napríklad v priestore odbavovacieho pultu v odletovej hale letiska tak, aby analyzovanie komunikácie nebolo pre zamestnancov letiska príliš zdĺhavé a rušivé. Aj keď táto metóda nepredstavuje 100 % spoľahlivosť pri odhalení intoxikovaného cestujúceho, je potrebné poukázať na jej nulovú finančnú náročnosť. K realizácii tejto formy profilovania nie je potrebné žiadne technické vybavenie, a preto by jej využitie mohlo byť jednoducho zaradené do pracovných procesov zamestnancov letísk.

Pri druhom experimente bolo dokázané, že s rastúcim množstvom prijatého alkoholu je možné zreteľne pozorovať zmenu teploty nosa, ako znak intoxikácie pasažiera, čím môžeme predpokladať, že aplikovanie navrhovanej metódy by mohlo byť efektívnou formou pre profilovanie cestujúcich v priestoroch letiska. Viacnásobným umiestnením termokamier v termináli letiska by mohlo byť realizované porovnanie teploty danej osoby pri vstupe do terminálu a naopak pri výstupe v priestoroch odletovej brány. Opäť by bolo potrebné vziať do úvahy faktory, ktoré môžu v tomto prípade ovplyvniť teplotu nosa cestujúceho, ako napríklad zvýšenie teploty v dôsledku choroby alebo nosenie dioptrických okuliarov. Vplyv týchto rušivých faktorov by bol pre úplnú funkčnosť technológie predmetom ďalšieho testovania. Aplikovanie nami navrhovanej technológie by si vyžadovalo určitú finančnú investíciu do vybavenia letiskového terminálu. V súčasnosti však viaceré svetové letiská disponujú termokamerami, ktoré boli inštalované pre odhalenie zvýšenej teploty v dôsledku koronavírusu. Práve využitie týchto jestvujúcich zariadení, s implementáciou nového algoritmu cieleného na odhalenie intoxikácie, by mohol byť spôsob ich ďalšieho využívania po skončení pandémie a zároveň zníženia nákladov pri zavedení tohto nástroja profilovania.

4. Záver

Nielen pri problematike neprispôsobivých pasažierov platí zásada, že bezpečnosť lietadla vo vzduchu začína na zemi. Za kľúčový prvok v stratégii boja voči neprispôsobivým cestujúcim preto pokladáme najmä nutnosť zavedenia preventívnych a proaktívnych iniciatív, ktoré budú založené na využití nových technológií a spolupráci medzi leteckými subjektami na nadnárodnej úrovni. Pri návrhu progresívnych metód sme sa zamerali najmä na skvalitnenie prevencie pomocou

prostriedkov technického a procedurálneho charakteru a vytvorili štyri strategické nástroje. Profilovanie pasažierov ešte pred vstupom do lietadla pokladáme za jeden z najdôležitejších nástrojov prevencie. So zameraním na intoxikáciu alkoholom, ako najčastejšiu príčinu agresie na palube, sme navrhli viaceré nové metódy profilovania. Experimentálnym overením bolo potvrdené, že prostredníctvom sledovania verbálneho prejavu pasažiera, zavedením čítačky pasov pre posúdenie funkčnosti motoriky a tiež snímaním tváre termokamerou je možné identifikovať cestujúceho pod vplyvom alkoholu. Ako ďalšie nástroje navrhujeme vytvorenie databázy neprispôsobivých pasažierov s prepojením na globálne distribučné systémy, nové postupy výcviku palubných sprievodcov a povinné nahlasovanie incidentov, ktorého nízka úroveň v súčasnosti sa prejavuje nedostatkom dostupných dát, ktoré pojednávajú o tejto problematike. Veríme, že navrhnuté progresívne metódy v oblasti nebezpečného správania sa pasažierov by mohli prispieť k eliminovaniu rizík a byť tak prínosom pri ďalšom rozvoji civilného letectva, ako najbezpečnejšieho spôsobu prepravy.

Referencie

- [1] International Air Transport Association, Safety report 2018. IATA, 55th Edition, 2019. ISBN 978-92-9229-887-6
- [2] ICAO DCTC Doc 23 The Views on Some Practical Aspects of the Issue of Unruly Passengers, 2014. [Online]. Dostupné na: https://www.icao.int/Meetings/AirLaw/Documents/DCTC_23_en.pdf
- [3] KOUKIOU, G., ANASTASSOPOULOS, V.: Neural networks for identifying drunk persons using thermal infrared imagery, Forensic Science International, Volume 252, 2015, Pages 69-76, ISSN 0379-0738. [Online]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073815001681/>
- [4] Novák Sedlačková, A., Kandra, B. 2015. Medzinárodnoprávna úprava ochrany civilného letectva pred činmi protiprávneho zasahovania. Bratislava : DOLIS, 2015. - 132 s., ilustr. - ISBN 978-80-8181-028-2.

THE IMPORTANCE OF SCHEDULED AIR TRAFFIC FOR AIRPORT EXISTENCE

VÝZNAM PRAVIDELNEJ LETECKEJ DOPRAVY PRE EXISTENCIU LETÍSK

Martina Hromcová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
mhromcova@gmail.com

Anna Tomová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
anna.tomova@fpedas.uniza.sk

Abstract

The importance of scheduled air transport for the existence of airports is a topic that is constantly relevant, especially during the Covid-19 pandemic, which has negatively affected operations at all world airports, disrupted its regularity and thus its direct and indirect effects on the region. This work focuses on airports dependent on the operation of scheduled air transport from several perspectives. After an initial study of the available literature on the importance of scheduled air transport for the existence of airports, we defined the terms demand and supply factors of the airport influencing scheduled air transport. One of the key parts of the work is the calculation of the critical number of airport movements, which represents the break even point in the amount of production in which the airport shows no loss but also no profit. The reasons for the abolition of scheduled air services, such as the occurrence of a military conflict near the airport or insufficient research of the demand for air traffic in the area, are described in the chapter analyzing European and global airports with canceled scheduled air traffic in individual case studies. The chapter also deals with the alternative uses of airports themselves, which were forced to terminate their function for the public. Airports and their equipment are highly specialized for use in air transport operations and therefore operators and their subsequent owners often face difficulties in finding alternative uses. An essential part of this work is an analysis of the response of selected European airports to the outbreak of Covid-19 in 2020 and a comparison of the number of passengers carried at these airports in 2019 and 2020. The final chapter contains a summary of findings and the call to change transport policies in the benefit of airports and their protection from future aviation pitfalls such as the Covid-19 pandemic.

Keywords

scheduled air traffic, impact of Covid-19 on aviation, break even point

1. Úvod

Pravidelná letecká prevádzka na letisku predstavuje zložitý systém činností, ktoré, ak sú vykonávané správne, vedú priniesť samostatne fungujúci systém generujúci pravidelné výnosy. Niekedy však nastane situácia, ktorá letisku prevádzkujúcemu pravidelnú leteckú dopravu znemožní v danej činnosti pokračovať. Na letiskách, ktoré sú od takéhoto typu leteckej prevádzky závislé a nie sú prispôbené na prevádzkovanie nepravidelnej dopravy či biznis letov, je veľmi pravdepodobné, že bude ich existencia ohrozená.

2. Význam pravidelnej leteckej dopravy pre existenciu letísk na základe dostupnej teórie

Pravidelná letecká doprava je z mnohých hľadísk významná pre správne fungovanie letísk. Pravidelnosť letov, resp. prevádzka pravidelnej leteckej dopravy na určitom letisku je pre cestujúcich jedným z dôležitých faktorov, na základe ktorých si vyberajú letisko vo svojej spádovej oblasti. S pravidelnosťou leteckej dopravy zároveň úzko súvisia ďalšie faktory ovplyvňujúce dopyt po leteckej doprave na danom letisku. Dopytové faktory predstavujú určité vlastnosti alebo kvality letiska, ktoré vyžadujú ich zákazníci (môžu to byť cestujúci aj letecké spoločnosti) a na základe ktorých sa rozhodujú, ktoré letisko preferujú. Ponukové faktory sú, naopak, služby a produkty, ktoré ponúkajú letiská a lákajú nimi potenciálnych zákazníkov.

2.1. Dopytové a ponukové faktory ovplyvňujúce pravidelnú leteckú dopravu letiska

Dopytové faktory súvisia s dopytom zákazníkov po určitých rozhodujúcich službách letiska, ktoré ovplyvňujú jeho výber spomedzi ostatných. Je nutné spomenúť, že zákazník vo väčšine prípadov vyžaduje od letiska, na ktoré prilieta iné služby ako od letiska, z ktorého odlieta. Inak povedané – in-bound (prichádzajúca) prevádzka súvisí s inými dopytovými faktormi ako out-bound (odchádzajúca) prevádzka letiska. Sú však aj určité spoločné faktory, ktoré ovplyvňujú dopyt po službách letísk bez ohľadu na smer prevádzky. Medzi dopytové faktory teda patria napríklad dostupnosť letiska, intermodálne faktory, atraktivita destinácie, počet ponúkaných destinácií a konektivita letiska, úroveň služieb ponúkaných letiskom a v súčasnosti veľmi dôležitá dostupnosť nízkych cien leteniek. Faktory, ktoré zahŕňajú ponuku, ktorú dané letisko ponúka, prípadne situáciu v jeho okolí, ktorá by mohla ovplyvniť prevádzku letiska, sa nazývajú ponukové faktory. Ponuka jednotlivých služieb letísk je dôležitá ako pre potenciálnych cestujúcich, tak aj pre samotné letecké spoločnosti, ktoré sú závislé na službách letísk. V ich prípade je dôležité pri výbere novej základne, prípadne novej destinácie v podobe letiska, sledovať viacero parametrov a skutočností, ako napríklad kapacita letiska, jeho lokalizácia a jeho vybavenie, existencia konkurenčných letísk v blízkosti letiska či celkový prieskum dopytu po leteckej doprave v jeho spádovej oblasti. [1]

2.2. Bod zvratu množstva produkcie pre dosiahnutie vyrovnaného výsledku hospodárenia

V súvislosti s množstvom cestujúcich patriacich do in-bound aj out-bound prevádzky letísk existuje spôsob, ako vypočítať kritickú hodnotu počtu pohybov, pri ktorej letisko neprodukuje žiaden zisk ani stratu. Túto hodnotu možno považovať za bod zvratu množstva produkcie pre dosiahnutie vyrovnaného výsledku hospodárenia, ktorý nastáva pri rovnosti celkových nákladov a celkových výnosov letiska. Túto kritickú hodnotu a jej výpočet sme sa rozhodli spomenúť v našej práci preto, aby sme poukázali na dôležitosť existencie pravidelnej leteckej dopravy. Pre pochopenie jej významnosti je nutné poznať výšku prevádzkových nákladov letiska a pomer jeho fixných a variabilných nákladov. [2]

Prevádzkové náklady letiska sú tvorené fixnými nákladmi, ktoré tvoria ich prevažnú časť a variabilnými nákladmi. Fixné náklady sú v súvislosti so zmenou rozsahu prevádzky nemenné, to znamená, že bez ohľadu na veľkosť objemu prevádzky na danom letisku zostávajú tieto fixné náklady rovnaké. S rastom výkonu letiska (napr. zvýšením počtu pohybov lietadiel a zvyšovaním pravidelnosti letov) sa však jeho jednotkové fixné náklady znižujú. Predpokladá sa, že tvoria približne 60% prevádzkových nákladov¹. Zvyšok tvoria variabilné náklady. Pre zjednodušenie je možné povedať, že výška variabilných nákladov sa môže odvíjať napríklad od počtu pohybov (rozsahu prevádzky), avšak nie je to pravidlom. [3]

2.2.1. Príklad na Letisku M.R. Štefánika, Bratislava

Prevádzkové náklady Letiska Bratislava v roku 2019 predstavovali 34 793 tis. eur. Približná hodnota fixných nákladov letísk podľa ACI predstavuje 60% z prevádzkových nákladov, čo predstavuje v tomto prípade hodnotu 20 875 tis. eur. Ďalšou dôležitou hodnotou je počet pohybov na letisku, ktorý bol v roku 2019 vo výške 28 745. Podielom ostatných 40% prevádzkových nákladov, ktoré predstavujú variabilné náklady Letiska Bratislava a počtu pohybov na letisku je možné vyrátať jednotkové variabilné náklady vo výške približne 484 eur. Výnos za jeden let predstavoval v sledovanom roku približne 695 eur. Dosadením hodnôt je možné zistiť kritickú hodnotu pohybov letiska za rok (keďže všetky hodnoty sú za rok 2019) potrebnú na pokrytie nákladov tohto letiska:

$$695 \times Q = 20\,875\,000 + 484 \times Q$$

Z toho výpočet kritického počtu pohybov je nasledovný:

$$Q = \frac{20\,875\,000}{695 - 484} = 98\,933,64 \text{ letov/rok}$$

Pre reálne hodnoty Letiska Bratislava za rok 2019 sme vypočítali kritický počet pohybov (po zaokrúhlení na celé) vo výške 98 934. Skutočný počet pohybov pre toto letisko však bol iba 28 745, čo predstavuje iba 29,05% letov potrebných na pokrytie nákladov. Letisko Bratislava by teda podľa nášho výpočtu malo každý deň prevádzkovať v priemere aspoň 271 letov, aby dosiahla tzv. bod

zvratu množstva produkcie pre dosiahnutie vyrovnaného výsledku hospodárenia.

2.3. Príčiny zrušenia pravidelnej leteckej prevádzky na letiskách

Vypuknutie pandémie ochorenia Covid-19 v roku 2020 nie je jedinou nástrahou, ktorá v širokom rozsahu ovplyvnila plynulosť pravidelnej leteckej dopravy na letiskách. Tejto kríze predchádzali mnohé iné udalosti, ako napríklad finančná kríza alebo útoky z 11. septembra 2001, ktoré výrazným spôsobom ovplyvnili dopyt po leteckej doprave a ktorých dopad na prevádzku letísk a leteckých spoločností nevedeli tieto inštitúcie sami ovplyvniť. Sú však aj situácie, kedy letiská prichádzajú o svoju pravidelnú leteckú prevádzku vlastnými neuváženými rozhodnutiami, prípadne rozhodnutiami ich vlastníkov. Príčiny, ktoré sme v práci vyhodnotili ako najčastejšie sa vyskytujúce sú výskyt vojnového konfliktu v blízkosti letiska, výstavba konkurenčného letiska v blízkosti letiska, nedostatočný prieskum dopytu po leteckej doprave pred výstavbou letiska a špeciálne prípady zrušenia, ako napríklad nedodržanie bezpečnostných zásad pri výstavbe letiska alebo výskyt prírodných katastrof alebo javov. [4]

3. Letiská so zrušenou pravidelnou leteckou dopravou (prípadové štúdie)

Nasledujúce podkapitoly obsahujú prípadové štúdie európskych a mimoeurópskych letísk, ktoré museli z rôznych, už spomínaných dôvodov, svoju pravidelnú leteckú prevádzku ukončiť.

3.1. Prípadové štúdie letísk so zrušenou pravidelnou leteckou dopravou

3.1.1. Letisko Berlín-Tempelhof v Nemecku

Nastávajú však aj také situácie, kedy je letisko obsadené armádou a jeho prevádzka sa tak zmení na výlučne vojenské účely. Počas posledného najväčšieho ozbrojeného vojnového konfliktu súčasnej doby, Druhej svetovej vojny, bolo takto obsadených mnoho dovtedy prosperujúcich letísk. Letisko Berlín-Tempelhof, známe tiež ako Zentralflughafen Berlin-Tempelhof, bolo vôbec prvým dopravným letiskom na svete. V tridsiatych rokoch patrilo k najviac frekventovaným na svete a čoskoro dosiahlo hranice svojich kapacít. Po nástupe národnosocialistického režimu bolo však letisko prebudované podľa želania nacistického vedenia na ústredné letisko nacistického Nemecka a v roku 1945 bolo letisko obsadené sovietskou armádou a už 4. júla toho istého roku bolo v súvislosti so zriadením spojeneckých sektorov pridelené americkej správe. Počas berlínskej blokády sa stalo jedným z dvoch letísk tzv. leteckého mosta. Všetky tieto udalosti a zmeny vlastníctva a prevádzky Letiska Berlín-Tempelhof, ktoré boli vojenského charakteru, mali veľký vplyv na existenciu pravidelnej leteckej prevádzky. V súčasnosti nie je na tomto letisku žiadna prevádzka. Uzavretiu predchádzalo mnoho faktorov - okrem vojnovéj minulosti, ktorá spomalila vývoj pravidelnej civilnej leteckej prevádzky, aj poloha letiska v centre mesta v zastavanej

oblasti a napokon aj vysoká konkurencia v podobe dvoch ďalších a väčších letísk v blízkosti. [5]

3.1.2. *Medzinárodné letisko Kai Tak v Hongkongu*

Letisko bolo otvorené v roku 1925 a jeho dráha presahovala do prístavu Victoria. Z pohľadu cestujúcich boli pristátia a vzlety zážitkom, avšak pre pilotov išlo o náročné a nebezpečné úkony, keďže sa dráha nachádzala na vodnej ploche a zároveň uprostred rušného mesta. Letisko Kai Tak bolo primárnym letiskom Hongkongu niekoľko desaťročí a prevádzkovalo pravidelné lety, avšak kvôli čoraz nebezpečnejším pristátiam a potrebe vybudovania letiska s väčšou kapacitou bolo rozhodnuté o výstavbe nového medzinárodného letiska v Hongkongu vzdialeného 30 kilometrov na západ od letiska Kai Tak. Posledné pristátie na tomto letisku sa uskutočnilo 6. júla 1998 a následne bola celá prevádzka, vrátane väčšiny mobilných strojov, presunutá na novopostavené Medzinárodné letisko Hong Kong, tiež známe ako Medzinárodné letisko Chek Lap Kok. Niektoré časti pôvodného letiska boli použité na rôzne účely, ale prevažná časť zostala nevyužitá a to aj napriek mnohým plánom na opätovné použitie pozemkov a budov. [6]

3.2. *Využitie letísk po zrušení ich pravidelnej leteckej prevádzky a následnom zatvorení*

V súčasnosti je vybavenie letísk však omnoho špecifickejšie, rozsiahlejšie, finančne náročnejšie a vývojovo nevyspytateľnejšie. Odhliadnuc od v súčasnosti pretrvávajúcej pandémie Covid-19, vývoj a objem leteckej dopravy rastie každým rokom. Niektoré donedávna moderné letiská sa preto vývojom stali zastaranými alebo kapacitne nedostačujúcimi a boli nahradené novými, modernejšími letiskami (napríklad Medzinárodné letisko Ellinikon v Grécku bolo nahradené modernejším Letiskom Eleftheriosia Venizelosa Atény). Z tohto dôvodu je vo svete mnoho letísk, ktorých vybavenie je síce funkčné a nebolo poškodené v súvislosti s vojenským konfliktom, avšak aj napriek tomu už nie je (prípadne nikdy nebolo) používané na svoje účely. Takýmto letiskám je mnohokrát problém nájsť nový spôsob využitia. Niekedy je preto jednou z možností aj likvidácia letiska (napríklad zbúranie budovy terminálu na bývalom Medzinárodnom letisku Montreal-Mirabel). Pokiaľ letisko nie je zbúrané alebo nechátra, môže byť využité rôznymi spôsobmi:

- bývalý areál letiska ako verejný park slúžiaci pre verejnosť,
- odbavovacie plochy, vzletové a pristávacie dráhy a rolovacie dráhy ako športové závodné dráhy,
- terminály letísk a celý areál letiska ako priestor pre natáčanie filmov alebo fotografovanie,
- letisko využívané na všeobecné letectvo, prípadne pre letecké školy,
- bývalé budovy letiska a areál používané ako letecké múzeum
- bývalé budovy letiska ako reštaurácie, obchody, obchodné centrá,
- areál letiska využívaný na rôzne kultúrne podujatia (koncerty, festivaly či divadelné predstavenia),

- terminály využívané na kancelárie či ateliéry tvoriace biznis centrá, resp. kultúrne a umelecké centrá. [7]

4. **Sumarizácia poznatkov o dôvodoch a spôsoboch riešenia (s aktualizáciou Covid-19)**

Ako sme už načrtli pri niektorých prípadových štúdiách letísk so zrušenou pravidelnou leteckou prevádzkou, sú letiská, ktoré sa vplyvom vojenského konfliktu stali znovu nepoužiteľnými na akúkoľvek leteckú prevádzku, či už verejnú alebo súkromnú, ale aj na využitie iného charakteru. Zaujímavý však môže byť pohľad na ostatné letiská, ktorých vybavenie je doposiaľ použiteľné a môže byť využívané rôzne, a ich reakciu na v súvislosti pretrvávajúcu pandémiu Covid-19. V situácii, kedy majú takmer všetky letiská na svete problém udržať kritickú hodnotu počtu pohybov na dosiahnutie vyrovnaného výsledku hospodárenia sa pozrieme na tie letiská, ktoré sa v takejto situácii nachádzali už pred vypuknutím pandémie.

Rozličné hygienické a protipandemické opatrenia krajín po celom svete spolu s obavami cestujúcich z prenosu ochorenia Covid-19 pri využívaní leteckej dopravy či núteným znížením nákladov leteckých spoločností majú za následok veľký počet nevyužívaných lietadiel. Problém parkovania takýchto lietadiel môžu riešiť práve letiská so zrušenou pravidelnou leteckou dopravou, akým je napríklad Letisko Don Quijote v Španielsku. V júni v roku 2020 privítalo toto letisko 12 neaktívnych lietadiel a poskytlo im nielen priestor na parkovanie, ale aj údržbu pneumatík, motorov či okien, čím letisko nadobudlo nové využitie a taktiež novú líniu biznisu.

Po tom, ako bola celá prevádzka primárneho letiska Berlína, Medzinárodného letiska Tegel, presunutá na Letisko Brandenburg, začalo toto letisko, aj napriek svojej minulosti, prevádzkovať pravidelnú leteckú dopravu. Keďže Letisko Tegel patrilo počtom prepravených pasažierov k najväčším v Nemecku, podobný prívlastok sa očakával aj od jeho nasledovníka, Letiska Brandenburg. Súčasná prevládajúca pandémie Covid-19 však jeho vývoj výrazne spomalila a v súčasnosti na svojej webovej stránke uvádza, že v priemere za deň odbaví 25 letov do rôznych strategických destinácií (napr. Frankfurt, Paríž, Viedeň, Istanbul či Madrid). V súčasnosti však už môžeme toto letisko považovať za letisko poskytujúce pravidelnú leteckú dopravu aj napriek jeho minulosti a zároveň súčasnej pandemickej situácii. [8]

Ďalším letiskom, ktoré po zrušení celej svojej verejnej leteckej prevádzky našlo inú možnosť využitia, je Letisko Floyd Benneta v New Yorku. Väčšina rekreačných možností pre návštevníkov na tomto letisku je však pozastavená z dôvodu prevládajúcej koronakrízy. K 16. marcu 2021 bola prevádzka letiska obmedzená vo veľkej miere, pričom dostupné boli iba činnosti pre jednotlivcov, resp. izolovanú spoločnosť (napr. lukostreľba, spustenie kajaku hydroplánom či letecké športy). Aktivity na tomto letisku, ako napríklad návšteva Múzea Floyd Benneta, Hangár B či Kemping na Letisku Floyd Benneta musia byť aktuálne zatvorené kvôli pandémie. [9]

4.1. *Situácia na európskych letiskách počas pandémie Covid-19*

Prepuknutie pandémie Covid-19 v roku 2020 narušilo plynulý priebeh rozbehnutých ekonomík po celom svete. Opäť sa potvrdilo, že letecká doprava a dopyt po nej veľmi citlivo reaguje

na znižujúcu sa prosperitu ekonomík jednotlivých krajín. Navyše, najnovšia celosvetová kríza spôsobená pandemiou so sebou prináša aj celkový zákaz využívania leteckej dopravy aj strach z nákazy tohto infekčného ochorenia, čo taktiež výrazne vplýva na výšku dopytu po tomto type dopravy. V apríli v roku 2020 sa prejavil extrémny prepád dopytu po leteckej doprave na európskych letiskách v podobe poklesu počtu prepravených pasažierov až o -88% oproti počtu prepravených pasažierov v apríli v roku 2019. Podľa ACI celkovo stratili európske letiská v roku 2020 až 1,72 mld. pasažierov a v porovnaní s predchádzajúcim rokom prepravilo o 70,4% pasažierov menej. Je zrejmé, že každé európske i mimoeurópske letisko bolo a stále je do výraznej miery ovplyvnené pretrvávajúcou krízou. Od vypuknutia pandémie Covid-19 bol však na území Európy za rok 2020 pozorovateľný mierny rozdiel v prepade prevádzky na letiskách v rámci Európskej únie (-73%) a mimo Európskej únie (-61,9%), ktorý mohol byť spôsobený najmä veľkosťou a odolnosťou domácich trhov predovšetkým v Rusku ale aj Turecku v kombinácii s menej prísnyimi cestovnými obmedzeniami v porovnaní s tými v Európskej únii. Slovenská republika navyše v poslednom štvrtroku roku 2020 pozorovala spolu s Rakúskom, Českou republikou, Fínskom, Írskom a Slovinskom prepád prepravených PAX vyše -90%.

V nasledujúcich kapitolách budeme opisovať, do akej miery boli ovplyvnené európske letiská a ich prevádzka (počet prepravených PAX) pandemiou Covid-19 v roku 2020 v porovnaní s rokom 2019 a to jednotlivo v štyroch rôznych veľkostných kategóriách – nad 10 mil. PAX, nad 5 mil. PAX, nad 3 mil. PAX a pod 3 mil. PAX v roku 2019 a aký vplyv mala kríza na štruktúru nákladov, či už z hľadiska pomeru fixných a variabilných nákladov alebo z hľadiska nutnosti prepúšťania zamestnancov s cieľom znižovania nákladov. Informácie o konkrétnych hodnotách prepravených pasažierov za jednotlivé mesiace rokov 2019 a 2020 na vybraných letiskách sme zisťovali z databáz Štatistického úradu Európskych spoločností (Eurostat), ktorý je hlavným štatistickým úradom EÚ so sídlom v Luxemburgu.

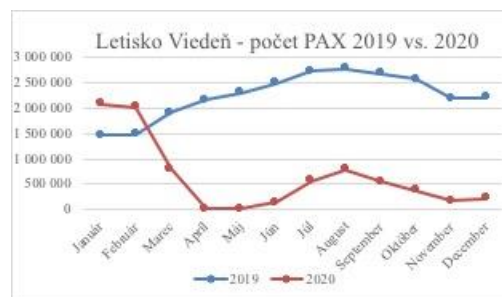
4.1.1. Letiská nad 10 miliónov prepravených pasažierov v roku 2019

V tejto časti našej práce sme pozorovali Letisko Viedeň, Letisko Londýn-Luton, Letisko Štuttgart, Letisko Praha a Letisko Brusel. Na všetkých z týchto letísk boli pozorované výrazné prepady v prevádzky, ktoré boli viditeľné v medziročných porovnaníach. Nami spracovaná Tabuľka obsahuje porovnanie jednotlivých hodnôt prepravených pasažierov v rokoch 2019 a 2020 spolu s percentuálnym vyjadrením zmien.

Ako už bolo spomenuté, priemerne prišli európske letiská o 70,4% prevádzky. V tejto kategórii lietadiel sme však pozorovali v priemere vo väčšine letísk (štyri letiská z piatich) ešte väčší prepád prevádzky. Najväčší rozdiel bol pozorovaný na Letisku Praha v Českej republike vo výške -79,52%. Na druhú stranu, najmenší prepád bol na Letisku Londýn-Luton vo Veľkej Británii (-69,60%), na ktorom bolo, paradoxne, pozorované medziročné zníženie už vo februári 2020 pred vypuknutím pandémie Covid-19. V priemere bol prepád nami vybraných letísk v tejto kategórii -74,74%.

Niektoré letiská boli nútené zmeniť aj štruktúru svojich nákladov, keďže v dôsledku zníženia prevádzky prišli aj o svoje očakávané príjmy vyplývajúce z pravidelnosti letov. Napríklad

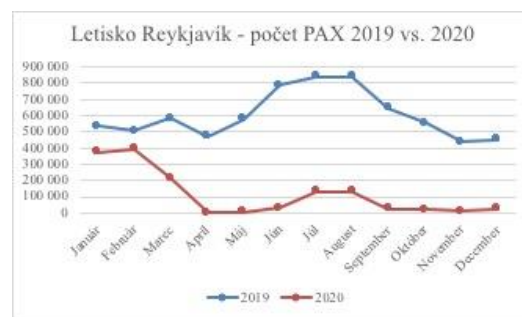
Letisko Viedeň zaviedlo od 16. marca 2021 pre svojich zamestnancov skrátený pracovný čas ako aj sprievodné opatrenia na vyčerpanie dovolení a hodín nadčasov a bolo nútené tiež prepustiť približne 500 zamestnancov. Dopad pandémie sa v roku 2020 na tomto letisku odrazil v poklese výnosov o 61%. Letisko Viedeň preto prijalo množstvo rozhodnutí na kompenzáciu ušlých výnosov, napríklad od apríla 2020 sa na odbavovanie cestujúcich používa iba Terminál 3 a bola využitá aj vládna pomoc a úľavy. Celkovo sa roku 2020 znížili prevádzkové náklady na tomto letisku o -41% na hodnotu 203,8mil. €. Vývoj prevádzky v rokoch 2019 a 2020 na Letisku Viedeň znázorňuje Graf 1. [10]



Graf 1: Vývoj prevádzky na Letisku Viedeň v rokoch 2019 a 2020, Zdroj: Autorka podľa [10].

4.1.2. Letiská nad 5 miliónov prepravených pasažierov v roku 2019

Zaujímavým príkladom z tejto kategórie letísk je Letisko Reykjavík na Islande, ktoré v súvislosti so špecifickou ostrovnou polohou tohto štátu odohráva veľmi dôležitú rolu v spojení Islandu s ostatnými krajinami. Letisko pozorovalo prepád prevádzky už od začiatku roku 2020, avšak po vypuknutí pandémie Covid-19 sa až do konca roka 2020 držali počty prepravených pasažierov na veľmi nízkych hodnotách oproti roku 2019. Napriek relatívne malému počtu prípadov v porovnaní s inými krajinami mal Covid-19 závažný dopad na islandské hospodárstvo a najmä na odvetvie leteckej dopravy, ktoré so 72 000 pracovnými miestami prispieva k 38,3% HDP krajiny. Vzhľadom na to, že väčšina turistov pricestuje do tejto krajiny letecky, mal nedostatok leteckej dopravy obrovský vplyv aj na cestovný ruch. Graf 2 znázorňuje vývoj prevádzky v rokoch 2019 a 2020 na Letisku Reykjavík. [10]

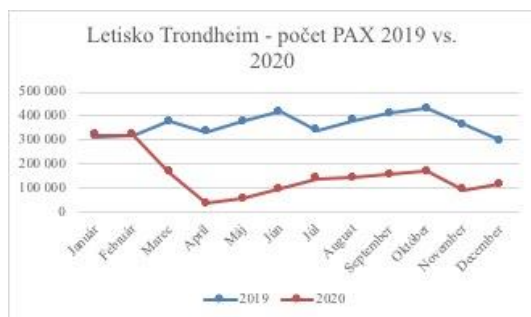


Graf 2: Vývoj prevádzky na Letisku Reykjavík v rokoch 2019 a 2020. Zdroj: Autorka podľa [10].

4.1.3. Letiská nad 3 milióny prepravených pasažierov v roku 2019

Päť nami vybraných európskych letísk, ktoré mali v roku 2019 nad 3 mil. PAX a ktorých vývoj prevádzky v roku 2020 sledujeme sú letiská v Katowiciach, Billunde, Trondheime, Madeire a Luxemburgu. Sú to letiská jednotlivých štátov, ktorých počet prepravených pasažierov nepresiahol v roku 2019 hranicu 5 miliónov. Čo sa týka tejto kategórie letísk, tá zdanlivo prekonala spomedzi všetkých kategórií prepuknutie pandémie Covid-19 najlepšie spomedzi všetkých štyroch kategórií, keďže priemer percentuálneho prepadu prevádzky na týchto piatich letiskách bol -66,9%, čo je navyše o 3,5 percentuálneho bodu menej ako priemer všetkých európskych letísk.

Po vypuknutí pandémie Covid-19 v marci v roku 2020 sa rapídne znížila prevádzka na všetkých letiskách vo svete. Mierne zhoršenie počtu prepravených pasažierov vo februári 2020 oproti tomu istému mesiacu v roku 2019 pozorovalo Letisko Trondheim v Nórsku. Celkovo však za rok 2020 prišlo toto letisko v dôsledku pandémie iba o 58,36% prevádzky, čo je v porovnaní s ostatnými európskymi letiskami jeden z najnižších percentuálne vyjadrených medziročných rozdielov v súvislosti s Covid-19. Takýto výsledok môže byť pripisovaný dôležitosti vnútroštátnej pravidelnej leteckej dopravy na členitom území Nórska, pre ktoré je letecká doprava jednou z najdôležitejších v krajine. Vývoj leteckej prevádzky za pozorované obdobie na tomto letisku znázorňuje Graf 3. [10]

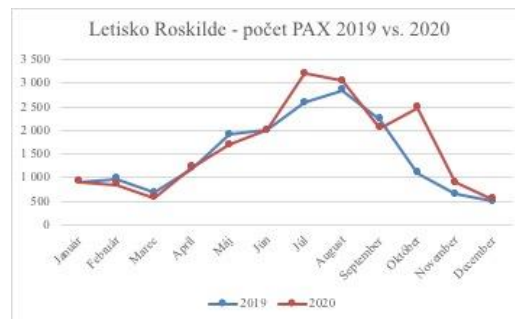


Graf 3: Vývoj prevádzky na Letisku Trondheim v rokoch 2019 a 2020. Zdroj: Autorka podľa [10.]

4.1.4. Letiská pod 3 milióny prepravených pasažierov v roku 2019

Poslednou kategóriou letísk, ktorých vývoj prevádzky v rokoch 2019 a 2020 budeme porovnávať, je kategória najmenších európskych letísk, ktorých počet prepravených pasažierov neprekročil v roku 2019 hranicu 3 miliónov. Do tejto kategórie patria rôzne letiská, či už tie najmenšie, ktoré sa zameriavajú na všeobecné letectvo či prevádzku občasných charterových letov alebo exkluzívne na biznis lety (Letisko Roskilde, Dánsko) alebo aj také letiská, ktorých prevádzka je len niečo málo pod hranicou 3 miliónov PAX a síce ich v našej práci radíme medzi najmenšie európske letiská, v rámci krajiny sú jednými z najväčších (Letisko Bratislava, Slovenská republika). Väčšina z týchto letísk prevádzkuje pravidelnú leteckú dopravu s výnimkou Letiska Roskilde, ktoré budeme v tejto podkapitole opisovať bližšie kvôli jeho nadpriemerným výsledkom v roku 2020. V tejto kategórii sme sa rozhodli bližšie zistiť vývoj prevádzky za sledované obdobie v rokoch 2019 a 2020 pre letiská – Letisko Roskilde-Kodaň, Letisko Karlsruhe, Letisko Ostrava, Letisko Dubrovnik, Letisko Bratislava.

Najmenším letiskom zo všetkých nami pozorovaných letísk je Letisko Roskilde v Dánsku s celkovým počtom prepravených pasažierov v roku 2019 vo výške 17 592. Toto regionálne dánske letisko, ktoré sa nachádza v blízkosti hlavného mesta Dánska, Kodane, sa od ostatných spomínaných letísk líši svojimi kľúčovými činnosťami. Všetky ostatné letiská, ktorých vývoj prevádzky sme sledovali v týchto podkapitolách, sú letiská, ktorých kľúčová činnosť je prevádzkovanie pravidelnej leteckej dopravy a ostatné druhy leteckých činností (napr. prevádzkovanie charterových letov, biznis letov, nákladnej dopravy či všeobecného letectva) sú len doplnkovými činnosťami, ktoré dopĺňajú hlavnú činnosť predstavujúcu centrum záujmov letiska. V prípade Letiska Roskilde je však kľúčovou činnosťou prevádzkovanie biznis letov - pre svojich potenciálnych zákazníkov je atraktívne svojou polohou v blízkosti Kodane, ktorá je vo vzdialenosti do 30 minút automobilovou dopravou, ktorá vie byť taktiež zabezpečená letiskom v podobe taxi služby. Vývoj počtu prepravených pasažierov za jednotlivé mesiace v rokoch 2019 a 2020 sú znázornené na Grafe 4. [11]



Graf 4: Vývoj prevádzky na Letisku Roskilde v rokoch 2019 a 2020, Zdroj: Autorka podľa [10].

Letisko Roskilde bolo schopné v roku 2020, aj napriek vypuknutiu pandémie Covid-19, navýšiť oproti predchádzajúcemu roku počet prepravených pasažierov o 10,8%. Keďže sa letisko nezameriava na pravidelnú leteckú dopravu, ale na biznis klientelu, ktorá nebola v súvislosti s pandemiou Covid-19 ovplyvnená do takej miery, že by boli takéto biznis lety zakázané, prípadne by prudko klesol dopyt po takomto type dopravy, tak si bolo toto letisko schopné v priemere nielen udržať, ale aj navýšiť počet prepravených pasažierov. Môže to byť spôsobené aj tým, že na tomto letisku sú prevádzkované iba lety pre malý počet cestujúcich, pri ktorých nie sú porušované žiadne proti-pandemické opatrenia. Zároveň má toto letisko taktiež svojich stálych zákazníkov a stále letecké posádky, čím sa opäť riziko a strach z nakazenia znižuje.

5. Dôsledky pre dopravnú politiku štátov a EÚ

Letiská sú významné infraštruktúrne aktíva, ktorých prosperita je úzko spätá s prosperitou prislúchajúceho regiónu, v ktorom sa nachádzajú. Je dôležité vnímať letiská nielen ako časť infraštruktúry leteckej dopravy, ale aj ako kľúčový článok v budovaní cestovného ruchu a celkovej ekonomickej úspešnosti danej oblasti. Keďže letisko prináša do regiónu množstvo turistov aj potenciálnych biznis partnerov a zároveň vytvára pre región nové pracovné pozície, je vhodné spomenúť funkcie, resp. účinky, ktoré prináša. V našej diplomovej práci sme už spomínali niektoré z účinkov leteckej prevádzky na letiskách – priame, nepriame, indukované a katalytické účinky

letiska. Medzi priame vplyvy patrí napríklad tvorba pracovných miest, ktorá pomáha pri predchádzaní presunu mladých kvalifikovaných zamestnancov do iných regiónov (prípadne krajín), ale aj pri predchádzaní hospodárskeho a sociálneho úpadku regionálnych komunití a ich infraštruktúry. Na druhú stranu nepriame, indukované a katalytické vplyvy vedú byť omnoho rozsiahlejšie, ako sa môže zdať – zvyšujú počet hospodárskych činností, činností cestovného ruchu a celkovú konektivitu regiónu. Indukované efekty vyplývajú z použitia príjmov zamestnancov, ktorí boli priamo alebo nepriamo generovaní leteckou dopravou, na nákup tovarov a služieb. Katalytické efekty zahŕňajú širšie ekonomické efekty leteckej dopravy spojené s rozvojom obchodu, investícií, turizmu či produktivity. Letisko slúžiace pre verejnosť vie byť preto, či už priamymi alebo nepriamymi prostriedkami, kľúčovým hráčom v rozvoji daného kraja.

Vypuknutie pandémie Covid-19 poukázalo na nedostatky v oblasti pripravenosti na takéto kritické situácie nielen na úrovni samotných letísk, ale aj na úrovni národnostnej či celosvetovej. Z hľadiska nákladnej leteckej dopravy nebol dopad tejto pandémie taký markantný, ako to bolo v oblasti osobnej leteckej dopravy. Preprava nákladu a surovín medzi krajinami teda bola možná aj naďalej, avšak výnosy krajín vyplývajúce z turizmu a cestovného ruchu zostali pozastavené. Tak, ako priniesla zmeny jedna z predchádzajúcich prelomových kríz v leteckej doprave, pád dvojčiek 11. septembra 2001, v podobe prísnych bezpečnostných opatrení na letiskách, tak aj táto kríza priniesla nové opatrenia nevyhnutné pre znovuoobnovenie dôveryhodnosti v leteckú dopravu. Aj napriek štátnym pomociam letísk, ktoré do určitej miery nahradili absenciu dopytu po leteckej doprave, bol takýto neočakávaný zásah do leteckej prevádzky pre letiská kritický, priam hraničiaci s ich existenciou. Zníženie leteckej prevádzky počas pandémie Covidu-19 sa stalo celosvetovým problémom, ktorý zintenzívňuje otázku o spôsoboch financovania letísk tak, aby bol tento systém v budúcnosti odolný voči takým krízam, akou je práve Covid-19. Financovanie letísk bude potrebné nielen v prípadoch, kedy si letisko nevie z dôvodov národných reštrikcií v oblasti cestovania občanov zabezpečiť výnosy zo svojej činnosti, ale aj v podobe investícií do vývoja letísk v podobe nových technológií zabezpečujúcich plynulý priebeh odbavovania na letiskách s dôrazom na znižovanie rizika nakazenia cestujúcich. Je v záujme samotných krajín, aby bolo jednou z ich priorít opätovné získanie dôvery potenciálnych cestujúcich, ktorí by využívali služby letísk na ich území. Letiská sú predsa spojením ľudí zo všetkých častí sveta, ktorí svojou prítomnosťou v regióne, či už priamo alebo nepriamo, podporujú jeho prosperitu.

6. Záver

Pravidelná letecká doprava prináša prostredníctvom letísk rôznym svetovým regiónom určitý predpokladateľný počet cestujúcich, resp. ľudí vo všeobecnosti, ktorý má pre daný región vysokú hodnotu. Letisko je región dôležitý nielen z pohľadu priamych účinkov, ktoré predstavujú napríklad tvorbu pracovných miest, ale aj z pohľadu nepriamych, indukovaných a katalytických účinkov, ktoré predstavujú rozsiahle vplyvy siahajúce do rôznych ekonomických i sociálnych oblastí regiónu, ktoré častokrát nie je možné presne vyčíslieť. Je dôležité, aby si dopravné politiky štátov uvedomovali dôležitosť a prepojenie prosperity letiska a prosperity regiónu, ktoré úzko súvisí s prevádzkou pravidelnej leteckej dopravy v danej oblasti.

Samotné kľúčové atribúty, ktoré vychádzajú z prevádzkovania pravidelnej leteckej dopravy sú predvídateľnosť výnosov a úspory z rozsahu prevádzky. S predvídateľnosťou výnosov súvisí najmä efektívnejšie plánovanie nielen súčasných, ale aj budúcich aktivít a možnosť uzatvorenia kľúčových partnerstiev, ktoré sú postavené práve na predvídateľnosti prísunu cestujúcich a z nich vyplývajúce výhody. Úspory z rozsahu prevádzky sú naopak pozorovateľné práve vtedy, pokiaľ sa zvyšuje počet a frekvencie letov, ktoré letisko prevádzkuje. Tým je letisko možné znížiť svoje jednotkové náklady a využiť potenciál svojich zamestnancov či svojho vybavenia čo najefektívnejšie.

Referencie

- [1] TOMOVÁ, A. – KIRSCHNEROVÁ, I. – HAVEL, K. 2016. *Ekonomika letísk*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline. EDIS. 2016. 219s. ISBN 978-80-554-1257-3.
- [2] TOMOVÁ, A. a kol. 2017. *Ekonomika leteckých spoločností: Pravidelná osobná doprava*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline. EDIS, 2017, 274s, ISBN 978-80-554-1359-4.
- [3] ACI. 2020. The Bare Bones – The Economics of Airport Infrastructure Amidst the Pandemic. [online] Dostupné na internete: <https://blog.aci.aero/the-bare-bones-the-economics-of-airport-infrastructure-amidst-the-pandemic/>
- [4] LETISKO M.R. ŠTEFÁNKA. 2019. Výročná správa 2019. [online] Dostupné na internete: <https://www.bts.aero/content/rocne-spravy/rocna-sprava-2019.pdf?u=1>
- [5] DISCIPLES OF FLIGHT. 2014. Ghost Airports. [online] Dostupné na internete: <https://disciplesofflight.com/ghost-airports/>
- [6] THE CULTURE TRIP. 2019. 13 Astonishing Abandoned Airports. [online] Dostupné na internete: <https://theculturetrip.com/europe/spain/articles/13-astonishing-abandoned-airports/>
- [7] BBC. 2020. What Should We Do With Disused Airports? [online] Dostupné na internete: <https://www.bbc.com/culture/article/20140811-inside-abandoned-airports>
- [8] FLUGHAFEN BERLIN DRANDENBURG. 2021. Departures And Arrivals. [online] Dostupné na internete: <https://ber.berlin-airport.de/en/flying/departures-arrivals.html>
- [9] NATIONAL PARK SERVICE. 2021. Floyd Bennett Field. [online] Dostupné na internete: <https://www.nps.gov/gate/learn/historyculture/floyd-bennett-field.htm>
- [10] EUROSTAT. 2021. Air Passenger Transport By Main Airports In Each Reporting Country. [online] Dostupné na internete: <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/>
- [11] COPENHAGEN – ROSKILDE AIRPORT. 2021. Copenhagen Roskilde Airport. [online]

APPROACH TO ECONOMIC REGULATION OF AIRPORTS IN EUROPE

PRÍSTUP K EKONOMICKEJ REGULÁCII LETÍSK V EURÓPE

Marek Hurajt
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
hurajt3@stud.uniza.sk

Alena Novák Sedláčková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Alena.Sedláčková@fpedas.uniza.sk

Abstract

This paper focuses on the economic regulation of airports in Central Europe and in the world, but also focuses in detail on the method of implementing economic regulation in the Slovak Republic, which results from the transposition of Directive 2009/12/EC of the European Parliament and of the Council on airport charges. The introductory part of the paper explains in detail the theory needed for a comprehensive understanding of this task, such as the basic characteristics of the airport and the economics of airports. Due to need for a comprehensive solution to the topic, the airport was examined from an operational point of view, and for the purpose of determining the scope of regulation, the paper also focuses on the characteristics of aviation and non-aviation activities. Paper characterizes the various approaches to economic regulation of airports in selected countries of the world and the countries of Central Europe, where we focused on the forms and scope of regulation, as well as in the case of EU Member States on the implementation of Directive 2009/12/EC of the European Parliament and of the Council on airport charges into national legislation. The most important part of the work is a comprehensive summary of the approach to the economic regulation of airports in the Slovak Republic from its onset to the present with an indication of the legislation that regulates it. At the same time, the paper points out possible options of changes in the set system, which are benefits of the paper. Paper uses research methods such as analysis, comparison, and abstraction, as well as graphs, figures, and tables, which facilitate the understanding of the task and the researched issue.

Keywords

Economic regulation, Airport, Natural monopoly, Forms of regulation, Range of regulation, Directive 2009/12/EC

1. Úvod

Letiská boli dlhé desaťročia považované za prirodzené monopoly, ktoré si bez kontroly štátu stanovovali monopolné ceny. Za posledných niekoľko desiatok rokov sa štruktúra riadenia letísk v mnohých častiach sveta, nevynímajúc Európu, zmenila. Letiská z pohľadu vlastníckych štruktúr dnes už nie sú len vo verejnom vlastníctve štátov, ale mnohé z nich prešli procesom, kedy sa čiastočne sprivatizovali a časť ich podielu je stále vo vlastníctve štátu alebo prešli úplným procesom privatizácie a pod úplnú kontrolu súkromných spoločností alebo konzorcíí. Letiská sa začali viac komercializovať, čo viedlo k zmene trhu na viac konkurenčnejší, dynamickejší a zameraný na výnosy. Na trhu, kde nebola prítomná konkurencia zo strany iných letísk, tak bolo potrebné zabezpečiť určitú formu ekonomickej regulácie, na zabezpečenie efektívnej hospodárskej súťaže. Tieto regulácie boli vnímané, ako potrebné z dôvodu, aby nedochádzalo k zneužívaniu monopolného postavenia letísk, pretože práve tie vykazovali znaky prirodzených monopolov, a taktiež zosúladienie alebo zjednotenie pravidiel pre tie subjekty, ktoré sa na trhu nachádzajú, a aby fungovali v súlade s efektívnou hospodárskou súťažou, a taktiež byť schopný napraviť určité deformácie na trhu s cieľom ochrániť spotrebiteľov [1].

Regulácia by sa mala obmedziť len na tie činnosti letiska, pri ktorých má letisko monopolné postavenie alebo nadmernú trhovú silu. Za tradičné činnosti, ktoré letisko poskytuje sú služby z leteckých činností, ako sú poplatky za prístátie,

parkovanie, odbavenie cestujúcich a iné. Liberalizácia pozemnej obsluhy umožnila, aby vykonávanie týchto činností na letisku mohlo byť zabezpečené tretími stranami. Týmto sa zabezpečila konkurencia, čo má pozitívny vplyv a zabezpečilo sa tým vstupu na trh novým subjektom [2].

Už v začiatkoch uplatňovania ekonomickej regulácie letísk sa jednotlivé štáty líšili v prístupoch k uplatňovaniu, a tieto odlišné prístupy zostali aj do dnes. Kým v krajinách Európy boli a stále sú najpoužívanejšie formy cenových regulácií - regulácia na základe miery návratnosti a regulácia na základe cenového stropu, tak v Austrálii bola v prvých rokoch regulácia na základe cenového stropu a neskôr prešli na pohotovostnú reguláciu, ktorá sa používa aj na Novom Zélande dodnes.

V súčasnosti v krajinách Európskej únie platí Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/12/ES z 11. marca 2009, ktorá sa zaoberá spoločnými zásadami letiskových poplatkov v rámci letísk Spoločenstva. Jednotlivé krajiny si túto smernicu transponovali do vnútroštátnych právnych predpisov a na základe nich, vykonávajú ekonomicke regulácie letísk na vybraných letiskách, na ktoré sa má uplatňovať regulácia [3] [23].

2. Charakteristika ekonomickej regulácie

Vo vzťahu k ekonomickej regulácii je základnou príčinou zlyhania trhu existencia nadmernej trhovej sily. V kontexte leteckej dopravy sa nadmernou trhovou silou rozumie schopnosť letiska

zvyšovať poplatky alebo náklady nad hodnotu konkurencieschopnosti na dlhšie obdobie. Zmyslom je zabezpečiť, aby zo strany dominantných podnikov nedochádzalo k zneužívaniu ich trhovej pozície. O dominantnom postavení subjektov môžeme hovoriť, ak je tam priestor zo strany subjektu pre nezávislé správanie sa vo vzťahu ku konkurentom, odberateľom a spotrebiteľom, čo mu následne umožňuje ovplyvňovať parametre trhu, ako sú cena, výstupy, inovácie a pod. Trhovú silu môže ovplyvňovať niekoľko faktorov ako sú existencia vyrovnávacej kúpnej sily, či iné alternatívy k niektorému letisku [1].

Základné charakteristiky správania sa trhu:

- ak je to možné, tak by sa mala podporovať hospodárska súťaž,
- regulácia by mala byť použitá iba v prípade potreby a pri zlyhaní trhov v záujme ochrany spotrebiteľov,
- keď majú letiská dominantné postavenie na trhu, tak trhy letísk zlyhávajú,
- ekonomická regulácia by mala zabrániť tomu, aby to letiská so značnou trhovou silou nevyužili,
- v prípade, ak dôjde k zmenám v dynamike trhu, je potrebné zväziť pokračujúcu potrebu regulácie,
- regulácia by mala mať jasné a zrozumiteľné pravidlá pre pochopenie regulačných opatrení [1].

3. Modely regulácie

Ekonomická regulácia letísk má najčastejšiu formu určitých obmedzení cien za ponúkané služby súvisiace s leteckými činnosťami letiska tzv. „aeronautical revenues“, ako sú prístávacie poplatky, poplatky za odbavenie cestujúcich, bezpečnostné poplatky alebo na niektorých letiskách hlukové poplatky, a niekedy taktiež so službami z neleteckých alebo komerčných činností letiska tzv. „non-aeronautical revenues“, ako sú prenájom priestorov na letisku, parkoviská alebo prenájom reklamných plôch [4] [5].

3.1. Formy regulácie

Vo všeobecnosti poznáme 4 základné formy cenových regulácií, na základe ktorých sú regulované letiskové poplatky:

3.1.1. Regulácia na základe miery návratnosti (ROR)

Tento spôsob regulácie umožňuje letiskám stanovovať ceny tak, aby celková návratnosť v investovanom kapitáli bola primeraná, a aby regulovaný subjekt nezvyšoval neúmerne ceny za dosiahnutím skoršieho splatenia investovaného kapitálu. Cieľom tejto regulácie je, aby si letisko nemohlo stanoviť ceny príliš vysoko nad súvisiace náklady, a tým obmedzenie zneužitia svojho monopolného postavenia za vzniku monopolných ziskov [4] [6].

3.1.2. Regulácia na základe cenového stropu (price cap)

Tento model sa zakladá na ekonomickej regulácii regulovaných subjektov s monopolným postavením, ktorého cieľom je znížiť náklady spojené s procesom regulácie a zároveň zachovávať

motiváciu pre tieto regulované subjekty k tomu, aby sa chovali efektívne z pohľadu ich nákladovej štruktúry [4] [6].

3.1.3. Regulácia na základe prednastaveného cenového stropu (default price cap)

Podľa prednastaveného cenového stropu by mal regulačný rámec ustanoviť štandardný cenový strop súvisiaci s vopred definovanými výstupmi. Tento nastavený cenový strop je dostupný všetkým užívateľom. Cieľom tohto modelu je poskytnúť letiskám a užívateľom základ pre uzatváranie priamych zmlúv poskytovania služieb a zároveň poskytnúť stranám uspokojivú pozíciu v prípade, ak rokovania zlyhajú [6].

3.1.4. Pohotovostná regulácia (light handed)

Pohotovostná regulácia je ľahší prístup regulácie, kde sa využíva skôr systém monitorovania cien namiesto vytvárania cenového stropu alebo vytvorenia skutočnej regulácie. Letisko ako také nie je regulované, ale iba monitorované a poplatky vyberá podľa vlastného uváženia. Napriek tomu sa tu očakáva, že poplatky budú nastavené na primerane nízkej úrovni z obavy, že by nadmerné poplatky mohli viesť k tomu, že regulátor prevezme kontrolu nad cenovým mechanizmom [4] [7].

3.2. Rozsah regulácie

Pri stanovovaní modelov regulácie je taktiež dôležité stanoviť rozsah regulácie. Na základe toho, aké činnosti chceme regulovať, tak sa v praxi stretávame s dvoma základnými modelmi rozsahu regulácie:

3.2.1. Single Till

Pod pojmom Single Till alebo jednotný regulačný princíp sa rozumie taký prístup, kde všetky činnosti letiska ako letecké, tak aj komerčné, sú zahrnuté do spoločnej oblasti spadajúcej pod reguláciu. Pri stanovení letiskových poplatkov sa berú v úvahu všetky príjmy letiska vrátane príjmov z činností mimo leteckej dopravy, ako sú napríklad maloobchod a parkoviská pre motorové vozidlá [4] [8].

3.2.2. Dual Till

Pojem Dual Till spočíva na základe selekcie oblastí, ktoré je potrebné regulovať a uvaliť reguláciu na tieto sektory. Tento princíp je založený na dvojitom vnímaní oblastí, kde sa s leteckými a komerčnými činnosťami letiska zaobchádza ako so samostatnými finančnými subjektami. Oblasťou spadajúcou po reguláciu sú práve letecké činnosti, kde sa skúma monopolné postavenie na trhu [7] [8].

3.2.3. Hybrid Till

Hybrid Till je prístup, pri ktorom sú letecké poplatky čiastočne dotované komerčnými výnosmi z dôvodu, aby poplatky z leteckých činností letiska mohli byť nižšie, ako by tomu bolo inak [9].

4. Prístup k ekonomickej regulácii letísk vo vybraných krajinách sveta

4.1. Austrália

Letiská v Austrálii sú hlavnou súčasťou národnej dopravnej infraštruktúry a významne prispievajú k celkovej ekonomickej prosperite Austrálie. Prvým krokom privatizácie letísk v Austrálii bolo sprivatizovanie letísk Brisbane, Melbourne a Perth v roku 1997. Následne v roku 1998 bolo sprivatizovaných ďalších 14 letísk a letisko v Sydney bolo sprivatizované v roku 2002. Na 11 letiskách bola zavedená regulácia na základe cenového stropu „price cap regulation“ na obdobie 5 rokov a táto regulácia sa týkala iba leteckých služieb v rozsahu Dual Till. Cenový strop bol pre každé letisko stanovený samostatne. Austrálska konkurenčná a spotrebiteľská komisia (ACCC) dohliadala na monitorovanie kvality služieb a zvýšenie cien. Pokles leteckej dopravy po teroristických útokoch z 11. septembra 2001 a páde hlavnej leteckej spoločnosti Ansett viedlo k odstráneniu regulácie na základe cenového stropu na 8 letiskách. Po zrušení regulácie vláda podporila rokovania medzi letiskami a leteckými spoločnosťami, stanovila určité cenové pravidlá a každoročné monitorovanie ACCC a ponechala hrozbu, že v prípade potreby bude možné opätovne zaviesť reguláciu, na základe cenového stropu [7] [9].

4.2. Japonsko

Vďaka svojej geografickej polohe si Japonsko rozvinulo veľkú sieť medzinárodných a regionálnych letísk a v súčasnosti sa v Japonsku nachádza približne 100 letísk. Letiská v Japonsku sú regulované zákonom o rozvoji letísk z roku 1956, kde je upravená klasifikácia letísk, ktoré sú predmetom financovania z verejných zdrojov, ako aj postupy pri rozvoji letísk. Letiská v Japonsku sú pod správou zo strany vlády, miestnych samospráv, ale aj forma prevádzkovania letísk, kde napríklad, bola založená súkromná letisková spoločnosť vlastnená vládou, a ako prvé letisko, ktoré bolo prevádzkované touto spoločnosťou, bolo medzinárodné letisko Narita v Tokiu. Zákon o rozvoji letísk nedovoľoval možnosti privatizácie letísk v Japonsku, avšak jedinými letiskami, na ktoré sa vzťahovala výnimka, bolo medzinárodné letisko Kansai v Osake, ktoré leží na umelom ostrove, a ktoré bolo prevádzkované koncesionárom a medzinárodné letisko Chubu, ktoré bolo sprivatizované, a ktoré spustilo svoju prevádzku až v roku 2005. Tento stav bol spôsobený filozofiou tej doby, kedy podľa japonskej vlády, mali byť letiská v zásade prevádzkované vládou. Hlavná vlna privatizácia letísk sa v Japonsku začala oveľa neskôr ako v iných krajinách a to až v roku 2015, kedy bolo sprivatizované letisko Tajima, neďaleko mesta Toyooka. Neskôr v roku 2016 sa privatizácia týkala ďalších dvoch medzinárodných letísk a to letiska Kansai v Osake, ktoré bolo predtým prevádzkované koncesionárom a letiska Osaka/Itami. K týmto letiskám sa v rokoch 2016 a 2017 pridali ďalšie tri letiská, a to letisko Sendai, Kobe a Takamtsu. V rokoch 2019 a 2020 prebehla privatizácia 11 letísk, z toho väčšina z nich leží na ostrove Hokkaido, kde hlavným cieľom bolo obohatiť leteckú sieť a podporiť cestovný ruch [10] [11] [16].

4.3. Kanada

Od 60tych do 80tych rokov 20. storočia za riadenie a prevádzku kanadských letísk zodpovedal Kanadský úrad pre leteckú

dopravu (CATA). Investície do vzletovo-pristávacích dráh, terminálov a ďalších budov sa realizovali z kapitálového fondu. Väčšie zmeny v riadení letísk sa v Kanade uskutočnili v 80tych rokoch, kedy sa začala rušiť aktívna účasť vlády na ich riadení. V roku 1987 bola uskutočnená reforma riadenia a prevádzky letísk, ktorá mala názov „Budúci rámec pre letiská v Kanade,“ a tá zabezpečila prevedenie hlavných letísk miestnym letiskovým orgánom (LAA) v Montreale, Calgary, Edmontone a Vancouveri, pričom federálna vláda si ponecháva vlastníctvo. V roku 1994 vláda ďalej reformovala a v rámci tejto reformy bolo vlastníctvo a prevádzka menších letísk prevedená na úrady provincií alebo miest, zvyčajne za nominálnu hodnotu, ako aj v prípade vzdialených letísk alebo letísk ležiacich v arktickej oblasti územia Kanady. Politika počítala s pokračujúcim prevodom týchto letísk a dlhodobým prenájmom neziskovým Kanadským letiskovým orgánom (CAA). LAA a CAA sú súkromné, samofinancujúce, neziskové a bezpodielové kapitálové spoločnosti, ktoré neplatia daň z príjmu. Aj keď niektoré činnosti sú kontrolované prostredníctvom dokumentu o prenájme pôdy, tak LAA a CAA nepodliehajú ekonomickej regulácii prostredníctvom právnych predpisov. LAA a CAA môžu tiež slobodne určovať úrovne služieb v rámci bezpečnostných právnych predpisov [7] [12].

5. Prístup k ekonomickej regulácii letísk v krajinách strednej Európy

Prístup k ekonomickej regulácii letísk v krajinách strednej Európy možno rozdeliť do dvoch systémov, a to tvrdá a mäkká regulácia. Tvrdá regulácia zahŕňa formy regulácie rate of return a price cap a mäkká regulácia zahŕňa formu pohotovostnej regulácie [13].

Tabuľka 1: Uplatňovanie ekonomickej regulácie letísk v krajinách strednej Európy. Zdroj: Autori podľa [14].

Členský štát EÚ	Regulované letisko	Model cenovej regulácie	Rozsah regulácie
Česká republika	Praha	Light handed	SRNVC**
Maďarsko	Budapešť	Price cap	Dual Till
Nemecko	Berlín-Schönefeld	ROR*	Dual Till
	Berlín-Tegel	ROR	Dual Till
	Düsseldorf	Price cap	Dual Till
	Frankfurt	ROR	Dual Till
	Hamburg	Price cap	Dual Till
	Hanover	ROR	Dual Till
	Kolín nad Rýnom	ROR	Dual Till
	Mníchov	ROR	Dual Till
Štuttgart	ROR	Dual Till	
Poľsko	Varšava	ROR	Hybrid Till
Rakúsko	Viedeň	Price cap	Dual Till
Slovenská republika	Bratislava	Light handed	SRNVC

*ROR = Rate of return **SRNVC = Sloboda v rozsahu nastavenia vlastných cien

Pre porovnanie ekonomickej regulácie letísk s krajinami strednej Európy sú pridané aj iné členské štáty EÚ.

5.1. Francúzsko

Vo Francúzsku sa nachádza 7 letísk, na ktoré sa uplatňuje ekonomická regulácia. Letiská v Paríži CDG a Orly sú regulované systémom na základe cenového stropu a rozsahom regulácie Hybrid Till. Letiská v Nice, Lyone, Marseille a Bâle-Mulhouse sú regulované na základe miery návratnosti „ROR“ a rozsahom regulácie slobody v rozsahu nastavenia vlastných cien. Letisko v Toulouse je regulované systémom na základe cenového stropu a rozsahom regulácie Single Till [14].

5.2. Holandsko

Jediným regulovaným letiskom v Holandsku je letisko v Amsterdame-Schiphol. Toto letisko je regulované na základe miery návratnosti a rozsahom regulácie Dual Till [14].

5.3. Španielsko

V Španielsku sa nachádza 9 letísk, na ktoré sa uplatňuje ekonomická regulácia. Pod túto reguláciu spadajú letiská v Madride, Barcelone, Palma de Mallorce, Malage, Gran Canarii, Alicante, Tenerife Sur, Ibize a Lazaronte. Tieto letiská sú regulované na základe cenového stropu a rozsahom regulácie Dual Till [14].

5.4. Taliansko

V Taliansku sa nachádza 8 letísk, na ktoré sa uplatňuje ekonomická regulácia. Letisko v Ríme-Fiumicino je regulované na základe cenového stropu a rozsahom regulácie Hybrid Till. Letiská v Miláno-Malpensa, Miláno-Linate a Benátkach sú regulované na základe cenového stropu a rozsahom regulácie Dual Till. Letiská v Catanii, Boloni a Neapole sú regulované na základe cenového stropu a rozsahom regulácie Single Till. Letisko v Bergame je regulované na základe fixných koncesionárskych poplatkov a rozsahom regulácie Dual Till [14].

Pre porovnanie sú pridané aj štáty, ktoré nie sú členmi EÚ, a to Švajčiarka, ktoré ma uzavreté bilaterálne zmluvy, a Veľká Británia, ktorá už nie je členom EÚ od 31.1.2020.

Švajčiarsko

Vo Švajčiarku sú ekonomicky regulované iba 2 letiská, a to letisko v Zürichu a Ženeve. Obe letiská sú regulované pohotovostnou reguláciou (light handed) a rozsahom regulácie slobody v rozsahu nastavenia vlastných cien [14].

5.5. Veľká Británia

Vo Veľkej Británii sa nachádza 9 letísk, na ktoré sa uplatňuje ekonomická regulácia. Letiská Heathrow, Gatwick a Stansted sú regulované na základe cenového stropu a rozsahom regulácie Single Till. Letiská v Manchestri, Lutone, Edinburghu, Birminghame, Glasgowe a Bristole sú regulované pohotovostnou reguláciou a rozsahom regulácie slobody v rozsahu nastavenia vlastných cien [14].

6. Právna úprava ekonomickej regulácie letísk

6.1. Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/12/ES o letiskových poplatkoch

Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/12/ES z 11. marca 2009 sa zaoberá spoločnými zásadami letiskových poplatkov v rámci letísk Spoločenstva a jej cieľom je ustanoviť spoločný rámec, v ktorom budú regulované základné prvky letiskových poplatkov a spôsob, akým sa určujú. Táto smernica sa vzťahuje na letiská, ktoré sa nachádzajú v Spoločenstve a presahujú určitú minimálnu veľkosť, a to 5 miliónov prepravených cestujúcich ročne, alebo v prípade nesplnenia tejto podmienky, tak letisko, ktoré ma najviac prepravených cestujúcich ročne v rámci krajiny. Riadenie a financovanie malých letísk si nevyžaduje uplatňovanie rámca Spoločenstva [8] [15].

Najdôležitejšie aspekty smernice:

- pravidelné konzultácie riadiacich orgánov letiska s užívateľmi letiska o fungovaní systému poplatkov, výške poplatkov a kvalite služieb a konzultácie s užívateľmi letiska o plánovaní novej infraštruktúry,
- transparentnosť zo strany riadiaceho orgánu letiska, pokiaľ ide o základ pre určovanie poplatkov vrátane požiadaviek na tok informácií smerom od užívateľov letiska a k nim,
- nediskriminácia užívateľov letiska,
- zriadenie nezávislého dozorného orgánu v každom členskom štáte s cieľom zabezpečiť správne uplatňovanie opatrení smernice a zasiahnuť v prípade sporov týkajúcich sa letiskových poplatkov,
- pružnosť s cieľom umožniť riadiacemu orgánu letiska poskytovať leteckým spoločnostiam diferencované služby [15].

6.2. Implementácia Smernice Európskeho parlamentu a Rady 2009/12/ES o letiskových poplatkoch do zákona č. 143/1998 Z. z.

Implementácia Smernice Európskeho parlamentu a Rady 2009/12/ES o letiskových poplatkoch bola záväzná pre Slovenskú republiku, a taktiež pre členské štáty. V prípade Slovenskej republiky bola prvotná implementácia prostredníctvom zmeny leteckého zákona. Po tomto kroku mala Slovenská republika, ako aj ostatné členské štáty informovať Komisiu, kde jej oznámili znenie hlavných ustanovení vnútroštátnych právnych predpisov, ktoré prijali v oblasti pôsobnosti tejto smernice [15] [17].

Zákon č. 241/2011 Z. z. zo 6. júla 2011, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 143/1998 Z. z. o civilnom letectve (letecký zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov obsahuje aspekty, týkajúce sa:

- kontroly nad systémom letiskových odplát,
- konzultácií medzi prevádzkovateľom letiska a leteckými spoločnosťami,
- transparentnosti a kvality služieb [17].

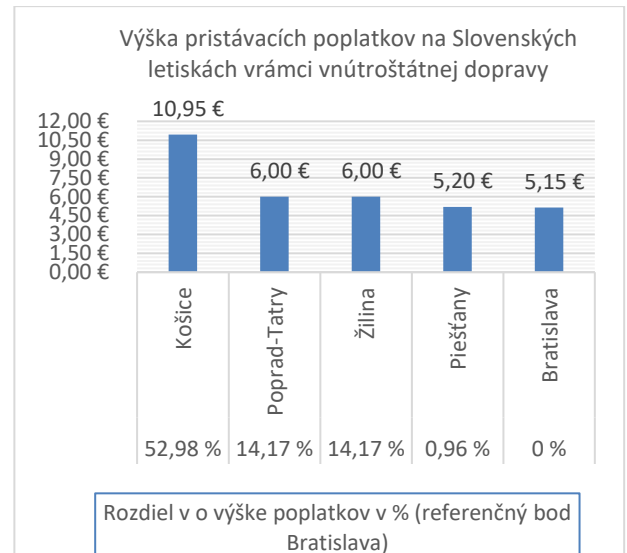
Cieľom návrhu zákona bolo upresnenie platnej právnej úpravy a nová právna úprava poskytovania verejných prostriedkov v oblasti civilného letectva, najmä vo vzťahu k pravidlám Európskej únie pre štátnu pomoc a minimálnu pomoc. V návrhu zákona sa taktiež upravujú spoločné zásady na stanovovanie výšky letiskových odplát a systém letiskových odplát, ako aj odplát za letecké navigačné služby. Cieľom návrhu zákona je aj právna úprava ďalších súvisiacich všeobecne záväzných právnych predpisov aj s ohľadom na poznatky z aplikačnej praxe [18].

6.3. Zákon č. 213/2019 Z. z. o odplatách a o poskytovaní príspevku v civilnom letectve

V roku 2019 bol prijatý nový zákon č. 213/2019 Z. z. z 25. júna o odplatách a o poskytovaní príspevku v civilnom letectve a o zmene a doplnení niektorých zákonov upravuje postup a pravidlá na určovanie systému odplát za použitie verejného letiska a za poskytovanie letiskových služieb, postup a pravidlá na určovanie výšky odplaty za poskytovanie leteckej navigačnej služby, štátny odborný dozor nad systémom odplát a nad systémom výkonnosti a spoplatňovaní leteckých navigačných služieb a zverejňovanie informácií o poskytovaní príspevku v civilnom letectve. Tento zákon sa týkal letísk, ale nebol zameraný na ekonomickú reguláciu letísk, i keď v zákone boli obsiahnuté totožné časti ako v zákone č. 241/2011 Z. z. zo 6. júla 2011. MDVSR návrhom zákona reagovalo najmä na úpravu pravidiel Európskej únie v oblasti štátnej pomoci, kde Európska Komisia uvoľnila pravidlá pre štátnu pomoc s cieľom umožniť financovanie regionálnych letísk, ktoré zo svojej podstaty nemajú možnosť mať vyrovnaný hospodársky výsledok, pretože ich výdavky prevyšujú ich príjmy [19].

7. Metodika

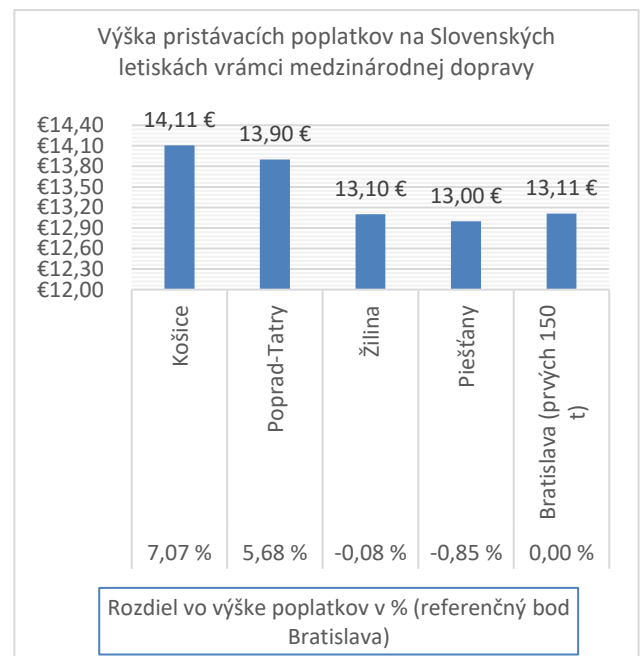
Pre pochopenie problematiky regulácie letiska M. R. Štefánika, boli porovnané výšky poplatkov za pristátie, či už v rámci vnútroštátnej, alebo medzinárodnej dopravy s ostatnými letiskami na Slovensku. Dôvodom je zistenie, či letisko M. R. Štefánika v Bratislave nemá nastavenú cenovú politiku ohľadom pristávacích poplatkov vysoko. Pre porovnanie prístupu letiska v Bratislave boli vybrané letiská v Košiciach, Poprade, Žiline a Piešťanoch. Výška pristávacích poplatkov je uvedená v grafickej podobe, kde je taktiež znázornený percentuálny rozdiel vo výške týchto poplatkov. Údaje, z ktorých bolo čerpané sú publikované v Leteckej Informačnej službe (AIP) [20].



*ceny sú stanovené za rok 2021, bez DPH a DPH sa účtuje podľa platných zákonov Slovenskej republiky

Graf 1: Výška pristávacích poplatkov v rámci medzinárodnej dopravy, sadzba za každú (aj začatú) tonu MTOW. Zdroj: Autori podľa [20].

Z uvedených hodnôt v grafe vidieť, že letisko M. R. Štefánika má nastavenú cenovú politiku v prípade výšky pristávacích poplatkov v rámci vnútroštátnej dopravy nízko. Dokonca spomedzi ostatných letísk má najnižšiu hodnotu pristávacieho poplatku, čím možno potvrdiť, že letisko aj keď nie je regulované tvrdou reguláciou, podľa získaných odpovedí a dostupných zdrojov, tak má cenu za pristátie nízku. Naopak, letisko s najvyššími pristávacími poplatkami je letisko v Košiciach.



*ceny sú stanovené za rok 2021, bez DPH a DPH sa účtuje podľa platných zákonov Slovenskej republiky

Graf 2: Výška pristávacích poplatkov v rámci medzinárodnej dopravy, sadzba za každú (aj začatú) tonu MTOW. Zdroj: Autori podľa [20].

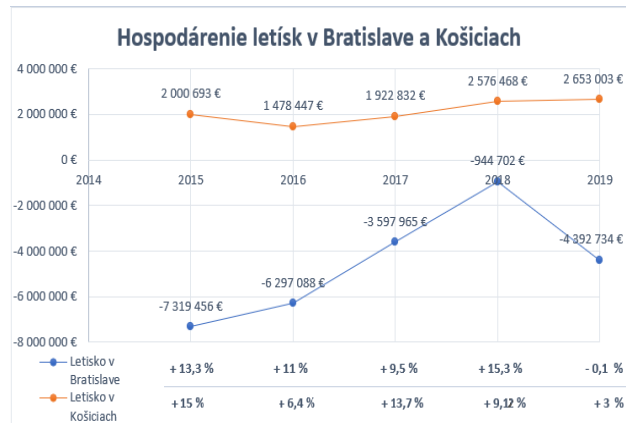
Z uvedených hodnôt v druhom grafe vidieť, že letisko M. R. Štefánika má nastavenú cenovú politiku v prípade výšky pristávacích poplatkov v rámci medzinárodnej dopravy nízko, avšak výška už nepatrí medzi najnižšie a rozdiel nie je taký markantný ako v predošlom porovnaní. Aj v tomto prípade možno potvrdiť, že letisko aj keď nie je regulované tvrdou reguláciou, podľa získaných odpovedí a dostupných zdrojov, tak patrí medzi letiská s najnižšou cenou. Aj v druhom prípade má letisko v Košiciach najvyššie pristávacie poplatky.

Pre ďalšie pochopenie problematiky bolo vykonané porovnanie dvoch najväčších letísk na Slovensku, a to letiska M. R. Štefánika v Bratislave a letiska v Košiciach z pohľadu počtu prepravených cestujúcich, výšky pristávacích poplatkov a ich ziskov. Pre porovnanie boli použité údaje o výške letiskových poplatkov, počte prepravených cestujúcich a výsledku hospodárenia sledovaných letísk. Rozsah sledovaného obdobia bol stanovený od roku 2015 až do 2019. Rok 2020 nebol braný v úvahu, a to z toho dôvodu, aby získané hodnoty neboli skreslené situáciou ohľadom poklesu dopytu po osobnej leteckej doprave, kedy letiská prišli nielen kvôli reštrikciám o vysoké počty prepravených cestujúcich.

Tabuľka 2: Porovnanie pristávacích poplatkov na letiskách v Bratislave a Košiciach za sledované obdobie. Zdroj: Autori podľa [20].

Obdobie	Letisko v Bratislave		Letisko v Košiciach	
	Pristávacie poplatky		Pristávacie poplatky	
	vnútroštátnne	medzinárodné	vnútroštátnne	medzinárodné
2015	5,15 €	13,11 €	10,95 €	14,11 €
2016	5,15 €	13,11 €	10,95 €	14,11 €
2017	5,15 €	13,11 €	10,95 €	14,11 €
2018	5,15 €	13,11 €	10,95 €	14,11 €
2019	5,15 €	13,11 €	10,95 €	14,11 €

Z tabuľky vidieť údaje o výške pristávacích poplatkov, či už v rámci medzinárodnej dopravy, alebo vnútroštátnej. Výška pristávacích poplatkov sa za sledované obdobie nemenila, ale z predchádzajúceho grafu je badateľné, že sa menili počty prepravených cestujúcich, a vo väčšine prípadov počty prepravených cestujúcich rástli, až na jednu výnimku v roku 2019, a to na letisku v Bratislave, kedy bol viditeľný mierny pokles. Z tohto porovnania možno tvrdiť, že v prípade rastúceho počtu prepravených cestujúcich, pri nemeniacej sa hodnote výšky pristávacích poplatkov by sa výška pristávacích poplatkov mala znižovať alebo by letisko malo mať vyššie zisky. Z tabuľky vidieť, že ani v jednom zo sledovaných období sa výška pristávacích poplatkov nemenila, tak v takom prípade ostáva porovnať počty prepravených cestujúcich a výšku ziskov, kde sa zistí, ktoré z letísk bude mať lepšie hospodárske výsledky.



Graf 3: Porovnanie hospodárenia letísk v Bratislave a Košiciach a percentuálna medziročná zmena v počte prepravených cestujúcich. Zdroj: Autori podľa [21] [22].

Z grafu vidieť, že letisko v Košiciach malo po poklese zisku medzi rokmi 2015 a 2016 jeho následný nárast až do roku 2019. Letisko v Bratislave bolo počas celého sledovaného obdobia v strate, ale aj napriek tomu počas nasledujúcich rokov dokázalo túto stratu znižovať výraznejšie ako rástol zisk na letisku v Košiciach. Napriek tomu, že sa letisku v Bratislave v roku 2018 takmer podarilo hospodáriť vyrovnaným rozpočtom, tak po miernom poklese cestujúcich letisko hospodáril so stratou 4 392 734 Eur.

Tabuľka 3: Porovnanie údajov nárastu počtu prepravených cestujúcich a zisku na letiskách v Bratislave a Košiciach. Zdroj: Autori podľa [21] [22].

	Nárast počtu cestujúcich od roku 2015 do 2019		Nárast ziskov od roku 2015 do 2019	
	v %	v počte	v %	v €
Letisko v Bratislave	31,7 %	725 931	40 % *	2 926 722 € *
Letisko v Košiciach	26,5 %	147 615	24,6 %	652 310 €

* v tomto prípade to znamenalo zníženie straty o 40 %, čo je 2 926 722 €

Aj v prípade porovnania priemerných zmien počas sledovaných období vidieť, že letisko v Bratislave malo vo všetkých faktoroch výraznejšie výsledky, či už nárastu počtu cestujúcich, ale aj ziskovosti, ale v tomto prípade muselo letisko skôr znižovať stratu.

8. Návrh zmien v nastavenom systéme ekonomickej regulácie letiskových poplatkov v SR a EÚ

Zistenia potvrdzujú to, že letisko Košice má výšku pristávacích poplatkov nastavenú vysoko, čo znamená, že využíva svoju geograficky výhodnú polohu a spĺňa atribút monopolu. Hlavnou úlohou ekonomickej regulácie je zosúladienie alebo zjednotenie pravidiel pre tie subjekty, ktoré na trhu pôsobia, a preto by naším návrhom na efektívnu zmenu bolo nastavenie primeraného systému reflektujúceho včasne na zmeny na letisku, ako aj na potreby letiska a zmeny v prepravnom toku.

Keďže Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/12/ES o letiskových poplatkoch komplexne pristupuje k ekonomickej regulácii letísk všetkých členských štátom EÚ, a nezohľadňuje aj iné podmienky alebo skutočnosti, ktoré vo svojej podstate môžu mať oveľa väčší dopad na deformáciu trhu v daných štátoch, tak navrhujeme, aby bolo možné ustanoviť určité výnimky a na základe týchto výnimiek postupovať pri uplatňovaní ekonomickej regulácie letísk. Na základe prípadných podnetov zo strany štátov EÚ navrhujeme, aby bola vykonaná náprava alebo doplnenie bodov do smernice, ktoré by zohľadňovali situáciu v daných krajinách, a dávali tak možnosť uplatňovania ekonomickej regulácie na tie letiská, ktoré sú momentálne z rôznych dôvodov vyňaté z ekonomickej regulácie.

V prípade letiska v Bratislave neodporúčame v najbližšej dobe aplikovanie tvrdej regulácie, čo by mohlo mať za následok navýšenie letiskových poplatkov a mohlo by to znamenať ešte väčšie straty, z dôvodu finančnej a administratívnej záťaže vyplývajúcej z potrebných nastavených procesov a následného dozoru Dopravným úradom. Naše zistenia ďalej potvrdzujú, že aj napriek vysokým počtom prepravených cestujúcich letisko M. R. Štefánika nie je schopné hospodáriť so ziskom a aj v tomto smere vidíme možné nápravy a opatrenia, ktoré by mohli byť prospešné pre životaschopnosť a fungovanie najväčšieho letiska na Slovensku.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky VEGA 1/0695/21 „Letecká doprava a COVID-19: Výskum dopadov krízy so zameraním na možnosti revitalizácie odvetia“.

Referencie

- [1] Review of economic theories of regulation. Dostupné na internete: https://www.uu.nl/sites/default/files/rebo_use_dp_2010_10-18.pdf (citované 2021-04-08)
- [2] TOMOVÁ, A – KIRSCHNEROVÁ, I. – HAVEL, K. 2016. *Ekonomika letísk*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline EDIS – vydavateľské centrum ŽU, 2016. 219 strán. ISBN 978-80-554-1257-3
- [3] Publicatio Office of the European Union. Support study to the Ex-post evaaion of Directive 2009/12/EC on Airport Charges. Dostupné na internete: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8e6db69a-e601-11e7-9749-01aa75ed71a1> (citované 2021-04-25)
- [4] TOMOVÁ, A 2008. *Air transport economics – airports*. 1. Vydanie. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2008. 90 strán. ISBN 978-80-8070-942-6
- [5] PRUŠA J. kol. 2007. *Svět letecké dopravy*. Praha: VIVAS Prepress a.s., 007. 315 strán. ISBN 978-80-239-9206-9
- [6] Treatmentof New Investment at Regulated Airports. Dostupn na internete: <https://www.acc.gov.au/system/files/Report%20by%20NECG%20-%20Treatment%20of%20New%20Investment%20at%20Regulated%20Airports.pdf> (citované 2021-03-09)
- [7] IATA. Economic Regulation. Dostupné na internete: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/economic-regulation/> (citované 2021-03-11)
- [8] Eur-lex. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:52014DC0278&from=EN> (citované 2021-03-15)
- [9] ACI. The ACI Guide to Airport Economic Regulation. Dostupné na internete: [http://aviation.itu.edu.tr/%5Cimg%5Caviation%5Cdatafile/s/Lecture%20Notes/AirportPlanningManagement20142015/Readings/Module%2003%20-Airports%20Council%20International%20\(2013\),%20Guide%20to%20Economic%20Regulation.pdf](http://aviation.itu.edu.tr/%5Cimg%5Caviation%5Cdatafile/s/Lecture%20Notes/AirportPlanningManagement20142015/Readings/Module%2003%20-Airports%20Council%20International%20(2013),%20Guide%20to%20Economic%20Regulation.pdf) (citované 2021-03-13)
- [10] ScienceDirect. Multi-airport privatization in Japan region with trip-chain formation. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969699719300341> (citované 2021-05-15)
- [11] ICAO. Case study: Japan. Dostupné na internete: <https://www.icao.int/sustainability/CaseStudies/Japan.pdf> (citované 2021-05-18)
- [12] ICAO. Case study: Japan. Dostupné na internete: <https://www.icao.int/sustainability/CaseStudies/Japan.pdf> (citované 2021-05-18)
- [13] Novak Sedlackova, A. and Novak, A. (2017). Approach to the economic regulation of airports in the territory of EU with emphasis on central Europe.17th international scientific conference Oct.2017 Rajecke Teplice (2017), pp. 1734-141.
- [14] Evaluation of Directive 2009/12/EC on airport charges. Dostupné na internete: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/mode_s/air/studies/doc/airports/2013-09-evaluation-of-directive-2009-12-ec-on-airport-charges.pdf (citované 2021-05-03)
- [15] EUR-Lex. Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/12/ES z 11. marca 2009 o letiskových poplatkoch. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX:32009L0012> (citované 2021-04-02)
- [16] ResearchGate. Airport privatization in Japan. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/publication/286441067_Airport_privatisation_in_Japan_unleashing_air_transport_liberalisation (citované 2021-05-16)
- [17] Slov-lex. Právne predpisy. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2011/241/> (citované 2021-04-16)
- [18] NRSR. Dôvodová správa. Dostupné na internete: <https://www.nrsr.sk/web/Dynamic/DocumentPreview.aspx?DocID=465943> (citované 2021-05-25)

- [19] Slov-lex. Právne predpisy. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2019/213/> (citované 2021-04-19)
- [20] Letecká informačná služba Slovenskej republiky. AIP. Dostupné na internete: <https://aim.lps.sk/web/index.php?fn=1&lng=sk> (citované 2021-05-18)
- [21] Finstat. Letisko Košice – Airport Košice, a.s. Dostupné na internete: <https://www.finstat.sk/36579343> (citované 2021-05-21)
- [22] Finstat. Letisko M. R. Štefánika – Airport Bratislava, a.s. (BTS) Dostupné na internete: <https://finstat.sk/35884916> (citované 2021-05-22)
- [23] Novák Sedláčková, A., Novák, A. 2010. Simulation at the bratislava Airport after application of directive 2009/12/EC on Airport charges. Transport and Telecommunication 11 (2), 50-59.

METHODOLOGY OF MCC TRAINING IN THE CONDITIONS OF THE AIR TRAINING AND EDUCATION CENTRE

METODIKA VÝCVIKU MCC V PODMIENKACH LVVC

Frederik Chodelka
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
chodelka.frederik@gmail.com

Tomáš Bracník
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
bracnik@lvvc.uniza.sk

Abstract

The main goal of the paper is to create a methodology for the theoretical and practical part of the multi-crew cooperation training course, which is provided by the Air Training and Education Centre of the University of Žilina since 2007. At the same time, the purpose of the methodology will be to contribute to the quality of education, streamlining the multi-crew cooperation training course and to provide a comprehensive study material for training candidates that reflects on the changes made from 2007 to the present. The reason which stimulated the elaboration of the paper is mainly the already existing study material, published in 2007 within the publication Metodika pilotného výcviku na letovom simulátore, which has now proved to be outdated and insufficient for the needs of the training course. The training material does not reflect the legislative changes made, the modifications to the flight and navigation procedures trainer and some training elements, which are currently emphasized in the training process. The paper, the content of which is a new methodology focused exclusively on the multi-crew cooperation training course, is based on valid and effective regulations, on the airplane flight manual of Beechcraft Super King Air B200 / B200C, inspired by internal operation manuals of the airline operators, internal manuals of the Air Training and Education Centre and is also based on the Metodika pilotného výcviku na letovom simulátore. It will be possible to apply the content of the paper as an up-to-date methodology for theoretical and practical part of the multi-crew cooperation training course, which meets all the currently required criteria. At the same time, it will be possible to implement some parts of the paper into the internal manuals of the Air Training and Education Centre.

Keywords

Methodology, Multi-Crew Cooperation, Air Training and Education Centre

1. Úvod

Lietanie vo viacčlennej posádke prešlo značným vývojom, a to predovšetkým znížením počtu členov letovej posádky v pilotom priestore. Hlavným dôvodom bol technologický vývoj letúnov. Automatizácia a prístrojové vybavenie letúna doslova nahradili niektorých členov letovej posádky. Aj napriek zníženiu počtu členov letovej posádky v pilotnom priestore sa požiadavky na bezpečnosť stále zvyšujú. Hlavnou prioritou v letectve je nepochybne bezpečnosť, ktorú možno docieľiť nielen samotným výcvikovým kurzom súčinnosti viacčlennej posádky, prevádzkovými príručkami, ale taktiež aj na základe výcviku a aplikovania zásad optimalizácie činnosti posádky. 80. roky minulého storočia boli v oblasti letectva význačné vznikom optimalizácie činnosti posádky, čo sa ukázalo ako ďalší faktor zohrávajúci úlohu pri leteckých nehodách.

Diplomová práca popisuje historický vývoj súčinnosti viacčlennej posádky a optimalizácie činnosti posádky a ponúka náhľad a základné rozdelenie optimalizácie činnosti posádky, ktoré je aplikovateľné na členov letovej posádky počas výcviku.

Hlavným cieľom diplomovej práce je vypracovanie novej, aktuálnej metodiky pre výcvikový kurz súčinnosti viacčlennej posádky poskytovaný Leteckým výcvikovým a vzdelávacím centrom Žilinskej univerzity. Vypracovaná metodika sa viaže výhradne na trenažér letových a navigačných postupov

Mechtronix Ascent FNPT II MCC s osvedčením o kvalifikácii FSTD SK.002.A v konfigurácii **Beechcraft King Air B200** (generic).

Diplomová práca vychádza z letovej príručky letúna Beechcraft Super King Air B200 / B200C, z interných príručiek Leteckého výcvikového a vzdelávacieho centra. Bola inšpirovaná internými prevádzkovými príručkami leteckých prevádzkovateľov, nadväzuje a opravuje už existujúci učebný materiál, no predovšetkým dopĺňa jeho absentujúce prvky, ktoré sú v súčasnosti nevyhnutnou súčasťou výcvikového kurzu súčinnosti viacčlennej posádky.

Podkladom k vypracovaniu boli aj vedomosti a skúsenosti, ktoré som získal v rámci integrovaného výcvikového kurzu v Leteckom výcvikovom a vzdelávacom centre Žilinskej univerzity v Žiline.

Metodika prináša ucelený študijný materiál, ktorý obsahuje detailný manuál k modifikovanému letovému simulátoru, zadefinovanie nových kontrolných zoznamov povinných a núdzových úkonov, štandardných prevádzkových postupov a je doplnená o teoretické vedomosti k výcvikovému kurzu súčinnosti viacčlennej posádky.

2. Analýza súčasného stavu

Trenažér letových a navigačných postupov Mechtronix Ascent FNPT II MCC je výcvikovým zariadením na simuláciu letu (FSTD), ktorý je inštalovaný v Leteckom výcvikovom a vzdelávacom

centre Žilinskej univerzity v Žiline už od roku 2005. Od roku 2007 je poskytovaný na letovom simulátore výcvik zameraný na súčinnosť viacčlennej posádky (MCC). V tom istom roku bol vydaný učebný materiál s názvom *Metodika pilotného výcviku na letovom simulátore*, ktorej časť bola zameraná na výcvik MCC v zmysle vtedy platného predpisu JAR-FCL. Rovnako ako je uvedené aj v metodike, výcvikové zariadenie na simuláciu letu bolo certifikované v zmysle predpisu JAR-STD 3A.

Od roku 2005 až po súčasnosť bolo vykonaných niekoľko výrazných zmien, ktoré podnietili vznik tejto diplomovej práce a zároveň vyvolali potrebu nového učebného materiálu.

Prvá výrazná zmena nastala v legislatíve. Zmena sa týka predovšetkým legislatívnej úpravy, podľa ktorej sa certifikujú výcvikové zariadenia na simuláciu letu a ktorá upravuje výcvik zameraný na súčinnosť viacčlennej posádky.

Dopravný úrad v súčasnosti osvedčuje zariadenia na simuláciu letu v zmysle CS-FSTD(A) a Podčasti FSTD, Časti ORA Nariadenia Komisie (EÚ) č. 1178/2011. [1]

Výcvik MCC sa v súčasnosti vykonáva podľa FCL.735.A. [2]

V čase vypracovania diplomovej práce obsahovalo Nariadenie Komisie (EÚ) č. 1178/2011 celkovo 13 zmien a doplnení. Vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) č. 923/2012 zasa obsahuje 3 zmeny a doplnenia. Obe tieto nariadenia a ich zmeny sa týkajú aj výcviku MCC. [3], [4]

Výrazné zmeny z pohľadu výcviku MCC:

- Definícia a ustanovenie podmienok udelenia oprávnenia prístrojovej kvalifikačnej kategórie pre výkonnosť navigáciu (PBN) a ich implementáciu do výcviku,
- Definícia a ustanovenie 2D a 3D priblížení,
- Zmena označenia člena letovej posádky z PNF na PM. [5], [6], [7]

Druhou zmenou je prechod z FTO na ATO v roku 2013, kedy bola prevydaná príručka k výcviku MCC. Zahŕňa zmenu číslo 1., ktorej obsahom je už vyššie spomenutá zmena názvoslovia priblíženia 2D a 3D, rovnako aj zmena názvoslovia označenia člena letovej posádky z PNF na PM.

Tretou zmenou je modifikácia letového simulátora Mechatronix Ascent FNPT II MCC, ktorá bola vykonaná v roku 2019. Obsahom modifikácie bola inštalácia rádionavigačného zariadenia Garmin GTN 650, ktoré nahradilo rádionavigačné zariadenie Bendix/King 165 A (COMM/NAV), inštalácia nového podsvietenia palubnej dosky a nového ovládacieho prvku v podobe prepínača varovných transparentov.

3. Úvod do problematiky CRM a MCC

3.1. Historický vývoj

Ľudský faktor patrí dodnes medzi najpočetnejšie príčiny leteckých incidentov a nehôd v letectve. Predstavuje viac ako 70% leteckých nehôd. Vyšetrovatelia leteckých nehôd už v minulosti vedeli o možnosti vzniku chýb zapríčinených ľudským činiteľom. V rámci prevencie sa kládol dôraz predovšetkým na zlepšenie prevádzkových príručiek, výcviku pilotov, ergonómie pilotného priestoru, znižovaniu hluku

v kabíne a iné. Absentoval však jeden dôležitý faktor, na ktorý sa nekládol dôraz a ktorého existenciou sa nikto predtým dôkladne nezaoberal, hoci bol vždy prítomný pri lietaní vo viacčlennej posádke. Bol to faktor, ktorý sa týka činnosti a vzťahov samotnej letovej posádky. Prelomovým bol práve rok 1979, odkedy datujeme vznik novej oblasti s názvom CRM, ktorá sa zaoberá optimalizáciou činnosti posádky tak, ako ju dnes poznáme. Podnetom k vytvoreniu tejto disciplíny boli predovšetkým letecké nehody, kde hlavnou príčinou bol ľudský faktor. [8]

Tabuľka 1: Letecké nehody, ktoré podnietili vznik CRM

Zdroj: [9], [10], [11], [12].

Dátum nehody	Miesto nehody	Číslo letu	Letecký prevádzkovateľ	Typ letúna
29. 12. 1972	Miami	401	Eastern Air Lines	Lockeed L-1011-1 TriStar
27. 3. 1977	Tenerife	4805	KLM	Boeing 747-206B
		1736	Pan Am	Boeing 747-121
28. 12. 1978	Portland	173	United Airlines	DC-8-61

Práve nehoda DC-8 z roku 1978 sa dá považovať za kľúčovú, čo sa týka vzniku CRM. Prvá letecká spoločnosť, ktorá mala záujem o implementáciu výcviku CRM do osnov výcviku, bola United Airlines. Spoločnosť United Airlines s podporou NASA a NTSB predstavila možnú osnovu výcviku CRM, ktorého cieľom bola optimalizácia činnosti posádky a zlepšenie prostredia pilotnej kabíny. Pôvodný názov CRM bol „*Cockpit resource management*“. Pri zrode CRM bol aj psychológ NASA, John Lauber, ktorý sa zaoberal komunikačnými procesmi v kokpíte. Koncept CRM, ktorý zdôrazňuje úlohu ľudského činiteľa, prešiel v 80. a v 90. rokoch minulého storočia niekoľkými fázami vývoja. Až v roku 1986 bol program CRM premenovaný na názov, ako ho dnes poznáme „*Crew resource management*“. [8], [9]

Dôvodom premenovania bolo predovšetkým zistenie, že prostredie pilotnej kabíny predstavuje iba jednu časť z tímu zapojeného do činnosti počas letu. Na základe tohto zistenia sa dostali do osnov výcviku CRM okrem členov letovej posádky aj palubní sprievodcovia. V 90. rokoch už bol výcvik CRM v mnohých leteckých spoločnostiach naplno využívaný. Niektoré letecké spoločnosti implementovali do osnov výcviku CRM spoločný výcvik pre letovú posádku a palubných sprievodcov, označovaný ako „*Joint CRM training*“. [8]

CRM sa netýka iba pilotov a palubných sprievodcov, ale aj ostatných pracovníkov spoločnosti, ako napríklad pozemného personálu, riadiaceho manažmentu spoločnosti a iné. Z tohto dôvodu sa môžeme stretnúť aj s tzv. TCRM – „*Total company resource management*“, ktorý práve zahŕňa aj ostatných zamestnancov spoločnosti. Ďalším vývojovým stupňom CRM je EM – „*Error Management*“. ER spočíva v riadení chýb a ponecháva pilotov v určitej nevedomosti o nasledujúcom charaktere poruchy počas letu na letovom simulátore. Cieľom je odhalenie poruchy a následná reakcia na vopred neoznámenú poruchu. [8] [14]

Nasledujúcim stupňom, ktorý zahŕňa EM, je LOFT – „*Line oriented flight training*“. LOFT je typ výcviku, ktorý obsahuje realistické simulácie úplného letu so zameraním na komunikáciu a vedenie (*leadership*). Posledným stupňom je model TEM – „*Threat and error management*“. Model TEM popisuje možné

vonkajšie riziká v prevádzke, ktoré sa skladajú z interných a externých hrozieb. Internou hrozbou môžu byť napríklad chyby letovej posádky a palubných sprievodcov. Externé hrozby ďalej delíme na očakávané hrozby (napr. terén, predpovedané meteorologické podmienky alebo podmienky na letisku), neočakávané hrozby (napr. zlyhanie systémov, pracovné zaťaženie, nátlak) a vonkajšie chyby (napr. dispečing leteckej spoločnosti, ATC). Hlavným cieľom modelu TEM je rozpoznanie a pomenovanie možných hrozieb posádkou, prípadne hrozieb, o ktorých už je posádka informovaná. Toto umožňuje posádke vykonať bezpečný let a vyhnúť sa tak hrozbám. [8]

4. Letový simulátor Mechtronix Ascent FNPT II MCC

Letový simulátor Mechtronix Ascent FNPT II MCC s číslom schválenia SK.002 a identifikačným číslom SN-FFT-2068 od kanadského výrobcu Mechtronix Systems je zariadením určeným na výcvik letových a navigačných postupov. Výcvikové zariadenie na simuláciu letu (FSTD) je certifikované v súlade s Nariadením Komisie (EÚ) č. 1178/2011, vyhovuje spôsobilostným požiadavkám, ktoré stanovuje Časť ORA, Podčasť FSTD a spĺňa podmienky špecifikácie pre osvedčovanie CS-FSTD(A). Letecké výcvikové a vzdelávacie centrum (LVVC) využíva toto zariadenie už od roku 2005 na výcvik pilotov, ktorí sa uchádzajú o prístrojovú kvalifikáciu IR(A) a od roku 2007 tiež poskytuje výcvik zameraný na súčinnosť viacčlennej posádky MCC. Letový simulátor je rozmerovo, ergonomicky a aj prístrojovo takmer 100% totožný s kabinou letúna Beechcraft King Air B200 a je možné ho prekonfigurovať do nasledujúcich typov letúnov:

- Beechcraft King Air B200 (generic) – Multi-engine turboprop,
- Piper Seneca V (generic) – Multi-engine piston. [13]

Vizualizačný systém letového simulátora ponúka zobrazenia pri uhloch 180° horizontálne a 37,5° vertikálne. Na zariadení je možné vykonať simulácie dňa, noci, súmraku, ale aj meteorologických podmienok v rôznych letových hladinách. Simulátor rovnako umožňuje vykonávať priblíženia kategórie CAT I do výšky rozhodnutia DH 200 vrátane možnosti automatického priblíženia s autopilotom. [13]

Tabuľka 2: Prístrojové vybavenie simulátora. Zdroj: Autori na základe [13].

Počet kusov	Vybavenie
2	Mechtronix Synthetic Instrument Display (SID) panel
1	Bendix/King KDI 572 Digital DME Indicator
1	Bendix/King KT 79 Transponder
1	Bendix/King 165 A (COMM/NAV 2)
2	Bendix/King KR 87 ADF
1	Bendix/King KAS 297 Altitude Pre-Selector
1	Bendix/King KFC 200 Flight Director/Autopilot System
1	Bendix/King KMA 24H Audio Control Panel
1	Garmin GTN G650 (COMM/NAV 1)

Inštruktor má k dispozícii na svojom pracovisku dva monitory, prostredníctvom ktorých môže vytvoriť normálne alebo núdzové situácie, zmeny meteorologických podmienok, ovplyvniť technický stav letúna, monitorovať činnosť a reakcie pilotov a iné. Inštruktor má k dispozícii aj informáciu o vertikálnej a horizontálnej polohe letúna v reálnom čase. Letový simulátor Mechtronix Ascent taktiež disponuje

obojsmerným rádiovým spojením medzi posádkou a inštruktorom. [13]

5. Ergonómia pilotného priestoru letového simulátora v konfigurácii Beechcraft King Air B200 (generic)

Súčasťou tejto kapitoly sú detailné fotografie všetkých ovládacích prvkov letového simulátora spolu s popisom.



Obrázok 1: Kokpit – podsvietenie palubnej dosky a prístrojov Zdroj: Autori.

6. Teoretická príprava k výcviku mcc

Kapitola obsahuje teoretickú prípravu k jednotlivým fázam letu v chronologickom poradí. V rámci teoretickej prípravy boli vypracované nové štandardné prevádzkové postupy (*Standard Operating Procedures*) k normálnym, abnormálnym a núdzovým postupom. Teoretické príprava k výcviku MCC sa skladá z:

6.1. Normálne postupy

- Všeobecné normálne postupy,
- Po vstupe do kokpitu,
- Vytlačanie / ťahanie,
- Spúšťanie pohonných jednotiek,
- Rolovanie,
- Vzlet,
- Stúpanie,
- Let v hladine,
- Klesanie,
- 3D priblíženie,
- 2D priblíženie,
- Prerušenie priblíženia,
- Pristátie.

6.2. Abnormálne a núdzové postupy

- Všeobecné abnormálne a núdzové postupy,
- Prerušenie spúšťania motora,
- Prerušenie vzletu do V_1 ,
- Núdzové vypnutie motora / požiar motora po V_1 ,
- Núdzové vypnutie motora,
- Požiar motora,
- Núdzové klesanie,
- Evakuácia.

7. Záver

Diplomová práca poskytuje ucelený študijný materiál pre teoretickú a praktickú časť výcvikového kurzu súčinnosti viacčlennej posádky, ktorý spĺňa súčasné kritéria. V práci sa nachádza historický vývoj súčinnosti viacčlennej posádky a optimalizácie činnosti posádky, vypracovanie optimalizácie činnosti posádky, ktorá je aplikovateľná na činnosti letovej posádky pri výcviku.

Zároveň ponúka náhľad do štruktúry výcviku súčinnosti viacčlennej posádky, ktorý vychádza z internej príručky Leteckého výcvikového a vzdelávacieho centra. Súčasťou práce je aj manuál na obsluhu letového simulátora s fotografiami a detailným popisom jeho vybavenia a jednotlivých ovládacích prvkoch.

V práci boli vytvorené nové kontrolné zoznamy povinných a núdzových úkonov, ktoré vychádzajú z letovej príručky Beechcraft Super King Air B200 / B200C a sú prispôbené tak, aby boli plne vykonateľné na danom type letového simulátora. Je možné ich implementovať ako novú revíziu kontrolných zoznamov pre obsluhu letového simulátora.

Diplomová práca obsahuje opravené a doplnené nové štandardné prevádzkové postupy, ktoré sú základom pre úspešné vykonanie výcvikového kurzu súčinnosti viacčlennej posádky. Cieľom je získať predstavu, návyky a pochopiť ich základnú filozofiu, ktorá je vyžadovaná pri súčinnosti viacčlennej posádky v praxi, ale je aj súčasťou interných prevádzkových príručiek leteckých prevádzkovateľov.

Referencie

- [1] Easy Access Rules for Aeroplane Flight Simulation Training Devices (CS-FSTD(A)). Issue 2. [online] Dostupné na internete: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/easy_access_rules_for_aeroplane_flight_simulation_training_devices_csfstda_iss2.pdf (citované 2021-05-02)
- [2] Easy Access Rules for Flight Crew Licencing (Part-FCL). [online] Dostupné na internete: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy_Access_Rules_for_Part-FCL-Aug20.pdf (citované 2021-05-01)
- [3] Nariadenie Komisie (EÚ) č. 1178/2011. [online] Dostupné na internete: [\[content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011R1178-20200622&qid=1617472495800&from=SK\]\(https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011R1178-20200622&qid=1617472495800&from=SK\) \(citované 2021-04-04\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-</div><div data-bbox=)

- [4] Vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) č. 923/2012. [online] Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:02012R0923-20200719&qid=1617475537703&from=SK> (citované 2021-04-04)
- [5] Nariadenie Komisie (EÚ) 2016/539. [online] Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0539&from=BG> (citované 2021-04-03)
- [6] Vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2016/1185. [online] Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1185&from=SK> (citované 2021-04-03)
- [7] Annex I to ED Decision 2017/022/R, AMC/GM to Part-FCL – Amendment 3. [online] Dostupné na internete: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Annex%20I%20to%20ED%20Decision%202017-022-R%20E%20%80%94%20AMC-GM%20to%20Part-FCL%2C%20Amendment%203.pdf> (citované 2021-04-03)
- [8] PRUŽINA, V. 2009. *Létání vícečlenných posádek (MCC+CRM)*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-04406-3.
- [9] MUNK, T. 2010. *Vícečlenné posádky dopravních letadel: diplomová práce*. Brno: VÚT, 2010.
- [10] National Transportation Safety Board: Aircraft accident report – Eastern Air Lines, Inc., L-1011, N310EA; Miami, Florida, 29/12/1972. [online] Dostupné na internete: <https://libraryonline.erau.edu/online-full-text/ntsb/aircraft-accident-reports/AAR73-14.pdf> (citované 2021-03-24)
- [11] Air Line Pilots Association: Aircraft Accident Report – Pan American World Airways, Boeing 747, N737PA; KLM Royal Dutch Airlines, Boeing 747, PH-BUF; Tenerife, Canary Islands, 27/03/1997. [online] Dostupné na internete: <http://archives.pr.erau.edu/ref/Tenerife-ALPAandAFIP.pdf> (citované 2021-03-24)
- [12] National Transportation Safety Board: Aircraft Accident Report – United Airlines, Inc., McDonnell-Douglas, DC-8-61, N8082U, Portland, Oregon, 28/12/1978. [online] Dostupné na internete: <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR7907.pdf> (citované 2021-03-24)
- [13] KŘÍŽ, J. a kol. 2007. *Metodika pilotného výcviku na letovom simulátore*. 1. vyd. Žilina: EDIS ŽU, 2007. ISBN 978-80-8070-793-4.
- [14] Havel, k a kol., 2005. *Základný kurz pre personál technického zabezpečenia letových prevádzkových služieb*, Bratislava : LPS SR,, 2005.

THE IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON THE BUSINESS MODELS OF REGULAR AIR CARRIERS

VPLYV PANDÉMIE COVID-19 NA MODELY PODNIKANIA PRAVIDELNÝCH LETECKÝCH DOPRAVCOV

Marko Chovanculiak
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
chk.marko@gmail.com

Matúš Materna
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
matus.materna@fpedas.uniza.sk

Abstract

This paper analyzes the changing characteristics of air transportation business models due to the COVID-19 pandemic. These characteristics differ with each kind of the air transport carrier. It was possible to observe the changes of the business models characteristics even sooner, during the hybridization. As regards the business models hybridization, it's given that with individual type of carriers it's rather natural activity, resulting from the need of increasing profits, reducing costs or simply the effort to successfully enter the different market. With the business model characteristic changes due to the pandemics it's rather about the forced changes triggered by the need to adapt to the current situation. Each air transport carrier business model characteristics are introduced, followed up by the analysis of their changes. These changes were or are induced by the need to adapt or to completely change their behavior in the pandemic affected time. The analytical part of the paper provides easily understandable results of the air transport carrier's behavior. It is possible to observe what the carriers are capable and willing to undertake in order to keep the customer. This paper ultimately introduces the forced changes, the air transport carriers had to accede in order to save the business from bankruptcy as well as how it would be possible to adapt their provided services in future.

Keywords

business models, air carriers, pandemic, covid-19

1. Úvod

Pandémia zasiahla nás všetkých a do veľkej miery prispela k núteným zmenám v našich životoch. V pomerne krátkej dobe sa v našej spoločnosti začali presadzovať dovtedy nepoznané pravidlá, nariadenia alebo dokonca zákazy. Tieto obmedzenia mali pomôcť zamedziť čoraz rýchlejšie šíriacej sa nákaze nového koronavírusu. V dobe písania celosvetovo stále zomieralo veľké množstvo ľudí na následky ochorenia tohto koronavírusu. Ľudstvo začalo pociťovať zmeny, ktorým sa nevyhnutne muselo prispôbiť. Rovnako následky pandémie otriasli aj všetkými pracovnými odvetvami, neopomenúc leteckú dopravu. Pokiaľ ide o finančné straty, len v leteckej doprave boli v dobe tesne po vypuknutí pandémie zaznamenané úbytky na ziskoch, ktoré je možné rátať v desiatkach miliárdach dolárov naprieč celým priemyslom.

2. Súčasný stav problematiky

2.1. Charakteristika pandémie ochorenia COVID-19 a jej vplyv na spoločnosť

Téma zakladá na dôsledkoch vplyvu novovzniknutej pandémie, ktorá vypukla koncom roka 2019 a svet ju naplno pocítil na začiatku roka 2020. Pandémia vypukla v čínskom meste

Wu-chan a dostala názov COVID-19. Ochorenie, z ktorého táto pandémie vychádza je definované ako koronavírusová choroba, spôsobená novým koronavírusom, ktorý sa dnes nazýva SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2* alebo *Ťažký akútne respiračný syndróm spôsobený koronavírusom 2*), predtým nazývaný 2019-nCoV [1, 2].

V dobe písania bolo podľa WHO na svete takmer 166,3 miliónov potvrdených prípadov ľudí nakazených novým koronavírusom a 3,4 milióna ľudí tomuto ochoreniu podľahlo. Na Slovensku bolo v rovnakom čase potvrdených takmer 390 tisíc prípadov ľudí, ktorí sa nakazili a 12 tisíc ľudí, ktorí tomuto ochoreniu podľahlo. Slovensko je v zozname krajín na 47. mieste v počte nakazených a na 37. mieste v počte úmrtí. Tento stav je aktuálny k máju 2021 [3].

2.2. Vplyv pandémie COVID-19 na leteckú dopravu

V marci roku 2020, bolo možné prvýkrát na vlastnej koži naplno pociťiť vplyv pandémie COVID-19. Média začali písať o prázdnych lietadlách pristávajúcich na opustených letiskách, o prudko klesajúcich akciách, o strate tržieb leteckých spoločností a o výraznom znížení počtu služieb, ktoré tieto letecké spoločnosti ponúkali.

V dobe písania, po viac ako roku od vypuknutia pandémie COVID-19, sa viacerí odborníci utvrdzujú v myšlienkach a názoroch, že letectvo ako také by sa aspoň čiastočne mohlo

vrátiť do starých koľají. Avšak, aj keď sa letecká doprava za posledné mesiace trochu zotavila, v porovnaní s rokom 2019 stále výrazne zaostáva. Toto tvrdenie by mohlo byť podporené aj faktom, že dve zásadné zložky pre tvorbu peňazí – biznis cestovanie a medzinárodné cestovanie – s najväčšou pravdepodobnosťou ostanú v úzadí ešte minimálne rok, možno oveľa viac [4].

3. Ciele a prínos

Cieľom je poukázať na zmeny, ktoré vo svojich modeloch podnikania museli vykonať vybraní leteckí dopravcovia v dôsledku pandémie COVID-19. Bližšie predstaví obraz doby všedného sveta zasiahnutého pandemiou a podrobnejšie špecifikuje správanie leteckej dopravy a jej zmeny vyplývajúce z tejto pandémie.

4. Prehľad existujúcich modelov podnikania pravidelných leteckých dopravcov

4.1. Model podnikania vo všeobecnosti

Pojem model podnikania označuje plán spoločnosti na dosiahnutie zisku. Presne identifikuje produkty alebo služby, ktoré spoločnosť plánuje predávať, svoj identifikovaný cieľový trh a všetky predpokladané výdavky. Prvýkrát bol spomenutý už v roku 1957. Modely podnikania sú veľmi dôležité ako pre nové, tak aj zabehnuté spoločnosti. Pomáhajú novým, rozvíjajúcim sa spoločnostiam prilákať investície, získavať talenty a motivovať manažment a zamestnancov. Zabehnuté podniky by mali zas pravidelne aktualizovať svoje modely podnikania aby tak zvýšili svoje šance predvídať trendy a výzvy, ktoré ich čakajú. Tieto modely tiež pomáhajú investorom hodnotiť spoločnosti, ktoré by ich mohli zaujímať [5,6, 14].

Je potrebné si uvedomiť, že ide o niečo ako vysokokvalitný plán pre ziskové prevádzkovanie podniku na konkrétnom trhu. Primárnou zložkou modelu podnikania je návrh hodnoty produktu alebo služby. Pomocou hodnoty je možné tovar alebo službu, ktoré spoločnosť ponúka, veľmi presne definovať a odlišiť od konkurencie [5, 6].

4.2. Modely podnikania v leteckej doprave

Tak ako pri všeobecnom ponímaní modelu podnikania platí, že ide o niečo ako plán danej spoločnosti, vďaka ktorému dosahuje zisk, tak platí to isté aj pri modeloch podnikania v leteckej doprave. Ako už bolo spomenuté, samotný pojem vznikol v roku 1957 a v dnešnej dobe patrí medzi najpoužívanejšie termíny v podnikateľskej sfére. Avšak, nebolo tomu tak vždy. Pred liberalizáciou odvetvia leteckej dopravy sa tento pojem v súvislosti s podnikaním leteckých dopravcov nevyskytoval. Liberalizácia trhov so službami leteckej dopravy priniesla zostrenie súťaže leteckých dopravcov a voľba správneho modelu podnikania sa stala nástrojom na získanie výhody konkurenčnej súťaže leteckých dopravcov [7].

Modely podnikania v pravidelnej osobnej leteckej doprave sa od seba vzájomne odlišujú niekoľkými charakteristikami. Nižšie je spomenutých desať charakteristík, ktoré tvoria modely podnikania v osobnej leteckej doprave: [7, 8]

- Flotila;

- Letiská v sieti leteckej spoločnosti;
- Konfigurácia siete liniek;
- Ponuka prestupných letov;
- Ponuka cestovných tried (vnútornou konfiguráciou lietadiel);
- Ponuka služieb spolatnených cenou letenky;
- Ponuka vernostných programov;
- Kanály pre distribúciu produktu;
- Horizontálnou spoluprácou s inými leteckými dopravcami;
- Podnikanie v segmente nákladnej leteckej dopravy [7, 8]

5. Vplyv pandémie COVID-19 na ekonomicko-prevádzkové charakteristiky vybraných leteckých dopravcov

5.1. Charakteristika leteckého dopravcu

Letecký dopravca je definovaný ako samostatný podnik, ktorý prevádzkuje lietadlá za účelom dopravy cestujúcich, tovaru a pošty za úplatu. Vzhľadom k požiadavkám na bezpečnosť, ďalším usmerňujúcim obmedzeniam a licenčným podmienkam musí rešpektovať nároky na odbornú a finančnú spôsobilosť, interné postupy a organizáciu. [9, 10]

5.2. Vplyv pandémie na ekonomicko-prevádzkové charakteristiky vybraných leteckých dopravcov

Pri identifikovaní vplyvu pandémie COVID-19 na leteckých dopravcov sú vybraní traja významní tradiční dopravcovia a traja významní nízko-nákladoví dopravcovia, prevádzkujúci v rôznych svetových regiónoch. Konkrétne ide o America Airlines, Emirates a Lufthansu v rámci tradičnej leteckej dopravy a Southwest Airlines, AirAsia a Ryanair v rámci nízko-nákladovej leteckej dopravy.

Pre ukážku zmien je ekonomicko-prevádzkových ukazovateľov je uvedený americký tradičný letecký dopravca American Airlines.

American Airlines je najväčší letecký dopravca na svete čo sa týka veľkosti flotily, počtu prepravených cestujúcich a výnosov, ktorý vznikol v roku 1926. V období pred pandemiou dopravca dokázal odbaviť denne 500 tisíc a ročne až 200 miliónov cestujúcich. Od roku 2019 spoločnosť zamestnávala až 130 tisíc ľudí, avšak toto číslo v dôsledku pandémie klesá. American Airlines disponuje 233 domácimi a 119 medzinárodnými destináciami v 60 krajinách sveta. Flotilu spoločnosti tvorí až 888 lietadiel [11].

V Tabuľke 1 je možné vidieť niektoré ekonomicko-prevádzkové charakteristiky dopravcu a ich zmeny v priebehu posledných rokov (finančné hodnoty sú uvádzané v dolároch).

Tabuľka 1: Zmeny vybraných ekonomicko-prevádzkových charakteristík amerického tradičného leteckého dopravcu – American Airlines. Zdroj: Autori podľa [12], [13].

Vybrané ekonomicko-prevádzkové ukazovatele	2020	2019	2018	2017	Rozdiel medzi 2020 a 2019
Zisky v prepočte na jedného cestujúceho (v dolároch)	14,5	42,0	40,7	39,1	- 64,4 %
ASKM (v miliónoch)	119,6	248,8	248,6	243,8	- 51,9 %
Zisky z ASKM (v miliónoch)	77,1	212,9	205,5	201,4	- 63,8 %
Yield (v centoch)	15,8	17,4	17,6	17,3	- 9,2%
Cargo (v tonách)	769	836	1 013	890	- 10,8 %
Load factor (v percentách)	64,5	85,5	82,7	82,6	- 21,0 bodov
Odlety (v tisícoch)	619	1 115	1 098	1 081	- 44,5 %
Všetky prevádzkové výnosy (v miliardách)	17,3	45,8	44,5	42,6	- 62,1

6. Sumarizácia zmien v modeloch podnikania u vybraných leteckých dopravcov v dôsledku pandémie COVID-19

V Tabuľke 2 sú zhrnuté zmeny charakteristík modelov podnikania leteckých dopravcov, kde je možné tieto charakteristiky medzi sebou z hľadiska tradičnej a nízko-nákladovej leteckej dopravy porovnať.

Tabuľka 2: Sumarizácia zmien modelov podnikania pri tradičných a nízko-nákladových leteckých dopravcoch. Zdroj: Autori.

Charakteristiky modelu podnikania	FSC	LCC
Flotila	Niektorí dopravcovia svoju flotilu plánujú rozširovať, iní skôr využívajú už uzemnené lietadlá k opätovnému prevádzkovaniu aktívnych lietadiel.	Vo veľkom sa plánuje rozširovanie flotily. Dopravcovia využívajú všetky spôsoby ako znovu prevádzkovať lety. Svoju flotilu flexibilne prispôbujú a neboja sa podstupovať ani odvažnejšie kroky ako napríklad prevádzkovanie Jet-ov.
Výber letísk	Obmedzuje sa prevádzka na menších letiskách.	Pribúda prevádzka aj na väčších letiskách a celkovo sa zvyšuje počet letísk, na ktoré tieto dopravcovia lietajú. Zväčšuje sa aj počet destinácií.
Cestovné triedy	Cestovné triedy radikálnym spôsobom zmenili svoju podstatu. Väčšina dopravcov zrušila ponuku bezplatných snackov podávaných prevažne v ekonomických triedach svojich letov. Salóniky, ktoré sú súčasťou prvých tried sú buď úplne zavreté alebo disponujú len veľmi obmedzenou ponukou služieb. V týchto salónoch pribúdajú samoobslužné kiosky alebo bezkontaktné panely, ktoré je možné ovládať smartfónmi. Väčšina doplnkových služieb a prostriedkov v rámci drahších cestovných tried je buď odstránená alebo veľmi obmedzená.	Zmeny v rámci ponúkanej cestovnej triedy (cestovných tried) neprebiehajú.
Služby počas letu	Pod „Službami počas letu“ sa v tomto prípade rozumie skôr garancia pohodlia a ochrany zo strany dopravcu. Všetky letecké spoločnosti	

	sa snažia maximalizovať bezpečnosť cestujúcich a zachovať si tak svoju prevádzkyschopnosť. Škála vymožeností v rámci ponúkaných služieb na palube lietadiel sa skôr zužuje ako rozširuje. Ubúdajú tradičné možnosti pre spríjemnenie letu alebo akákoľvek zábava a naopak, pribúdajú pravidlá a obmedzenia. Preto sa služby počas letu dajú chápať aj ako zabezpečenie čo možno najväčšieho komfortu napriek obmedzeniam plynúcich zo <i>social distancing-u</i> , nosenia ochranných pomôcok alebo zvýšenej frekvencie kontroly.
Napojenie na ďalšie lety	V dobe písania práce neboli údaje k dispozícii.
Distribučné kanály	Distribučné kanály sa pri oboch druhoch dopravcov menia rovnako. Konkrétne smerujú do online prostredia. Niektoré spoločnosti dokonca poskytujú bezplatné objednávanie letov prostredníctvom telefonátov.
Vernostné programy	Pri oboch druhoch dopravcov platí, že ak disponujú vernostnými programami, bezplatne predlžujú dobu ich expirácie alebo platnosť vernostných bodov zahrnutých v týchto programoch. Väčšina dopravcov tiež v snahe udržať si zákazníkov umožňuje bezplatné opätovné rezervovanie už zaplateného letu.
Cieľoví zákazníci	Cieľové skupiny zákazníkov sa zásadne nemenia. Je však možné pozorovať vznik nového druhu skupiny, a to konkrétne skupiny ľudí, ktorá je odolnejšia voči ochoreniu COVID-19. V budúcnosti pravdepodobne vznikne skupina cieľových zákazníkov, ktorá bude voči koronavírusu očkovaná.
Cargo	Zmeny prebiehajú u oboch typoch dopravcov. V dôsledku obmedzení osobnej dopravy sa spoločnosti snažia naplno využívať svoj cargo segment. Viacerí dopravcovia prispôbujú svoje lietadlá na prepravu nákladu (väčšinou ide o zdravotnícke prostriedky alebo potraviny).
Horizontálna spolupráca	Tradiční leteckí dopravcovia začínajú spolupracovať aj s inými dopravcami. S týmito dopravcami zdieľajú rovnaké prostriedky (napríklad aplikácie) pre udržanie alebo zachovanie plynulosti svojej prevádzky. Ďalej využívajú služby iných dopravcov, ktorí sú im ochotní a schopní dodať lietadlá, ktoré viac vyhovujú im momentálnym potrebám.
	Nízko-nákladoví leteckí dopravcovia nezačínajú spolupracovať s inými dopravcami.

7. Záver

Pandémia ochorenia COVID-19 ovplyvnila celý svet a obmedzila drvivú väčšinu priemyslu, vrátane toho leteckého. Náhle vynútené uzemnenie väčšiny flotily všetkých leteckých dopravcov sveta znamenalo rekordné straty na ziskoch. Podobnú situáciu, kedy sa vo výročných správach objavili červené čísla, niektorí leteckí dopravcovia nezažili za posledných 30 rokov, niektorí vôbec. Dôkazom toho sú aj poklesy tržieb alebo prevezených cestujúcich takmer všetkých leteckých dopravcov.

V rámci štruktúry leteckých dopravcov prebehlo a stále prebieha veľké množstvo zmien. Medzi najzásadnejšie zmeny možno zahrnúť zavedenie opatrení pre minimalizovanie kontaktu medzi cestujúcimi a personálom, obmedzenie množstva doplnkových služieb počas letu, nutnosť prispôbovať svoju flotilu alebo vstúpiť na trh nákladnej dopravy. V konečnom dôsledku, nízko-nákladoví leteckí dopravcovia zo situácie vyťažili viac ako tí tradiční. Tam, kde niekto zlyhá a nevidí východisko, iný môže nájsť skryté rezervy, prispôbiť ich a vyťažiť z nich maximum. Tvrdenia viacerých odborníkov o tom, že situácia sa pomaly ale isto stáva stabilnejšou a spoločnosť môže aspoň sčasti očakávať návrat do normálu, vyvolávajú úľavu. Realita však pravdepodobne bude vyzerá trochu inak. Aj keď sa ľudstvo začína proti novému vírusu očkovať, bude trvať veľmi dlho, kým pominú obavy a ochrana zdravia sa vyrovná bezpečnosti samotného lietania. Budúcnosť ukáže skutočný dopad pandémie na letectvo ale je isté, že návrat do normálu bude prostredníctvom digitálu.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky VEGA 1/0695/21 „Letecká doprava a COVID-19: Výskum dopadov krízy so zameraním na možnosti revitalizácie odvetia”.

Referencie

- [1] Coronavirus disease: (COVID-19): What is COVID-19? [online]. Dostupné na internete: <https://who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19> (citované 2021-03-13)
- [2] [Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?: How does COVID-19 spread between people? [online]. Dostupné na internete: <https://who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted> (citované 2021-03-13)
- [3] WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard [online]. Dostupné na internete: <https://covid19.who.int/> (citované 2021-05-24)
- [4] CHOKSHI, N. 2021. Airlines Still Don't Know When Passengers Will Return [online]. Dostupné na internete: <https://nytimes.com/2021/02/19/business/airlines-outlook-pandemic-vaccines.html/> (citované 2021-02-20)
- [5] DASILVA, C. a TRKMAN, P. 2013. Business Model: What It Is and What It Is Not [online]. Dostupné na internete: <https://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0024630113000502> (citované 2021-03-06)
- [6] KOPP, C. M. 2020. Business Models: What Is a Business Model?; Understanding Business Models [online]. Dostupné na internete: <https://investopedia.com/terms/b/businessmodel.asp/> (citované 2021-03-06)
- [7] TOMOVÁ, A. – NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A. – ČERVINKA, M. – HAVEL, K. 2017. *Ekonomika leteckých spoločností - Pravidelná osobná doprava*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, 2017. 274 s. ISBN 978-80-5541-359-4
- [8] TOMOVÁ, A. a MATERNA, M. 2018. Miscellaneous modi vivendi of regional and network airlines: The tracks for future research. *Transportation Research Procedia*, 2018. 35, p. 305-314.
- [9] [PRUŠA, J. a kol. 2007. *Svět letecké dopravy*. 1. vyd. Praha : Galileo CEE Service ČR s.r.o., 2007. 315 s. ISBN 978-80-239-9206-9
- [10] GALIERIKOVA, A., MATERNA, M., SOSEDOVA, J. 2018. Analysis of risks in aviation. *Transport Means - Proceedings of the International Conference*, 2018. p. 1427-1431
- [11] American Airlines Group: Parent company of American Airlines [online]. Dostupné na internete: <https://aa.com/i18n/customer-service/about-us/american-airlines-group.jsp> (citované 2021-04-03)
- [12] American Airlines Reports Fourth-Quarter and Full-Year 2020 Financial Results [online]. Dostupné na internete: <https://americanairlines.gcs-web.com/news-releases/news-release-details/american-airlines-reports-fourth-quarter-and-full-year-2020> (citované 2021-05-22)
- [13] American Airlines Group Reports Fourth-Quarter and Full-Year 2018 Profit [online]. Dostupné na internete: <https://americanairlines.gcs-web.com/news-releases/news-release-details/american-airlines-group-reports-fourth-quarter-and-full-year-3> (citované 2021-05-22)
- [14] Materna, M. 2019. Variants of air navigation service providers' business models. *Transportation Research Procedia*, 2019, 40, pp. 1127–1133

IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AT AIRPORTS

IMPLEMENTÁCIA UMELEJ INTELIGENCIE NA LETISKÁCH

Martin Jágerský

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
martinjagersky@yahoo.com

Anna Tomová

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
anna.tomova@fpedas.uniza.sk

Abstract

This paper deals with the trend of implementation artificial intelligence systems at airports, its meaning and impact on the operational performance and functioning of the airports themselves. After summarizing the theoretical knowledge and examining the current state of the problem, there is created a raster of selected crucial operational processes of airports in which artificial intelligence has been implemented so far. The processing of this raster is based primarily on findings of the implementation of AI systems at five selected hub airports. In the paper, there is also examined a status and prospects of the implementation of artificial intelligence in the form of a questionnaire, especially at airports with a smaller number of handled passengers. This paper also discusses the operational and security implications of this implementation, such as faster check-in, easier baggage handling, easier traveling with biometric technologies, improved security controls at airports, improved operational performance with airport robots and more effective elimination of spreading the diseases at airports. The subject of possible economic and sociological consequences is also approached, due to the possible change in the nature of job from the point of view of airport employees and the creation of a certain kind of cooperation between them and artificial intelligence. The conclusions of this paper also include a proposal for a stronger representation of this area in the study program "air transport" with subsequent possible innovation or creation of new school subjects, in order to gain a deeper knowledge to new graduates in this field.

Keywords

Artificial intelligence, Implementation, Automation

1. Úvod

V súčasnosti je problematika, zaoberajúca sa umelou inteligenciou všeobecne vnímaná ako veľmi populárny a dôležitý trend. Inteligentné systémy zohrávajú v podnikateľskom prostredí čoraz dôležitejšiu úlohu, pričom každý rok sme svedkami vzniku nových, inovatívnych technológií poháňanými práve umelou inteligenciou naprieč rôznymi procesmi a produktmi. Je zrejmé, že systémy AI spolu s automatizáciou ako takou, tvoria obrovskú príležitosť pre zvýšenie rastu efektivity a úspechu akéhokoľvek podnikania. Najdôležitejším faktorom je však samotná implementácia takýchto systémov, pretože ak nie je vykonávaná správne a rozvážne, môže to mať následok opačného efektu oproti pôvodnému plánovaniu. Inak tomu nie je ani v oblasti leteckej dopravy, konkrétne v prípade letísk, ktorými sa tento článok primárne zaoberá. V dnešnej dobe je téma implementácie umelej inteligencie v rámci letiskových procesov percipovaná pomerne aktívne, avšak vývoj a zavádzanie týchto systémov je, aj napriek svojmu pokroku, ešte len v začiatkoch.

Tento článok je vzhľadom na dôležitosť a potenciál umelej inteligencie vypracovaný s cieľom syntetizovať uvedenú problematiku a na základe prieskumu a následných zistení vytvorí závery pre vzdelávanie leteckých odborníkov vzhľadom na prebiehajúce a budúce zavádzanie takýchto systémov v prevádzke letísk. V rámci cieľov sa bude článok venovať aj posúdeniu dôsledkov implementácie umelej inteligencie so zreteľom na aktuálne prebiehajúcu pandémiu COVID-19.

Článok je štruktúrovaný do siedmich kľúčových kapitol. Na začiatku sa zaoberá predovšetkým definíciou umelej inteligencie ako takej a neskôr práca plynule prechádza k prehľadu o implementácii umelej inteligencie v prevádzke svetových letísk, pričom súčasťou tejto časti článku je aj dotazník, vyhotovený za účelom relevantnejšieho prieskumu v danej oblasti. V nasledujúcej kapitole je, za účelom vzájomného porovnania činností vybraných letísk, vypracovaný raster prevádzkových procesov, v ktorých sa uplatňuje technológia AI. Článok neskôr logicky vyúsťuje do diskusie o rôznych dôsledkoch tejto implementácie vzhľadom na pandémiu COVID-19 a uzatvára ju kapitola, zaoberajúca sa závermi zo zistení, určenými pre vzdelávanie leteckých odborníkov v SR v oblasti umelej inteligencie.

2. Definícia umelej inteligencie a význam jej implementácie

Na úvod je potrebné zdôrazniť, že v tejto časti je uvedených viac druhov definícií umelej inteligencie. Ich spracovanie a prehľad daných definícií spolu s prístupmi k nim vychádzajú predovšetkým zo zdrojov, uvedených v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 1: Zoznam zdrojov použitých na prehľad definícií AI.

Názov článku	Meno autora	Rok vydania
„On Defining Artificial Intelligence“	Pei Wang	2019
“Artificial intelligence: Definition, trends, techniques, and cases”	Joost N. Kok, Egbert J. W. Boers, Walter A. Kusters, Peter van der Putten and Mannes Poel	2009
“The Key Definitions of Artificial Intelligence (AI) That Explain Its Importance”	Bernard Marr	2018

Avšak v tomto článku si priblížime len definíciu umelej inteligencie na základe zdroja č. 1 z roku 2019, uvedeného v predošlej tabuľke.

2.1. Definovanie AI na základe zdroja 1

Konkrétna definícia a presný význam slova inteligencia, a o to viac umelá inteligencia, je často predmetom mnohých diskusií a spôsobila už nie málo zmätkov.

Určitý slovník („The New International Webster’s Comprehensive Dictionary of the English Language, Encyclopedic Edition“) nám napríklad sám uvádza až štyri definície umelej inteligencie:

- „prvá definícia je, že AI je určitý druh študijnej oblasti v odbore informatiky. Umelá inteligencia sa podľa tejto definície zaoberá vývojom počítačov schopných zapojiť sa do myšlienkových procesov podobných človeku, ako je učenie, uvažovanie a auto-korekcia,
- pod druhou definíciou sa rozumie akýsi koncept, že stroje je možné vylepšiť tak, aby ovládali niektoré schopnosti, o ktorých sa bežne predpokladá, že sú súčasťou ľudskej inteligencie, ako je napríklad učenie, prispôbovanie, auto-korekcia atď.,
- tretia definícia nám približuje AI ako rozšírenie ľudskej inteligencie používaním počítačov, keďže ako v minulosti, tak aj teraz, sa fyzická sila rozširovala používaním mechanických nástrojov,
- posledné z týchto vymedzení obsahu pojmu AI nám hovorí, že je to v akomsi obmedzenom zmysle štúdium techník na efektívnejšie používanie počítačov vylepšenými programovacími technológiami.“ [1]

V dnešnej dobe je však dobre známe, že neexistuje žiadna, široko akceptovaná, všeobecná definícia umelej inteligencie (AI). V dôsledku toho sa termín „AI“ používa v mnohých rôznych významoch, a to ako v danej oblasti tak aj mimo nej. Väčšina ľudí možno tento fakt nepovažuje za príliš veľký problém. Môžeme

sa domnievať, že mnoho vedeckých konceptov nakoniec získa dobrú definíciu pravdepodobne až po akomsi "dozretí" tohto výskumu, a nie na začiatku danej štúdie. Vzhľadom na pomerne vysokú zložitosť pojmu „AI“ je skôr nereálne očakávať v súčasnej fáze výskumu nejakú všeobecne akceptovanú definíciu umelej inteligencie.

Na záver podstaty definovania umelej inteligencie je dôležité uvedomiť si, že pre ľudí, ktorí dnes akokoľvek pracujú s umelou inteligenciou, je prioritou definovať predovšetkým oblasť problémov, ktoré AI bude riešiť, a tiež výhody, ktoré môžu z tohto typu technológie plynúť pre spoločnosť.

3. Postoje k zavádzaniu umelej inteligencie v odvetví leteckej dopravy

Prítomnosť umelej inteligencie v odvetví leteckého priemyslu nie je žiadnou novinkou. Podľa reportu Medzinárodného združenia leteckých dopravcov (IATA) z roku 2018 sa AI už celé desaťročia používa v rôznych oblastiach podnikania a v hodnotovom reťazci. [2]

V dnešnej dobe však vieme, že vstupujeme do novej éry, v ktorej schopnosti umelej inteligencie dosahujú hodnoty, ktoré budú mať významný vplyv na celkovú prevádzku leteckej dopravy vo svete.

Zatiaľ čo je vysoko pravdepodobné, že maximálny potenciál umelej inteligencie pre letectvo ako také sa objaví až v priebehu času, už teraz je viditeľné, že umelá inteligencia môže už v súčasnosti ponúkať leteckému sektoru výrazný pokrok a užitočné funkcie.

3.1. Postoje vybraných medzinárodných leteckých organizácií k AI

Využívanie umelej inteligencie v letovej prevádzke je, ako vieme, viac-menej ešte len v úplných začiatkoch. V nasledujúcich prípadoch si priblížime postoje dvoch vybraných leteckých organizácií vzhľadom na implementáciu a následné využívanie umelej inteligencie práve v odvetví leteckej dopravy, pričom v prvom rade bude predstavená Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo – ICAO, ktorá je z hľadiska hierarchizácie organizáciou vyjadrujúca záujmy leteckého odvetvia ako celku.

3.1.1. Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo – ICAO

Možnosť prispôsobenia sa na individuálnej, organizačnej a sociálnej úrovni je nevyhnutná pre navigáciu v rýchlo sa rozvíjajúcom technologickom prostredí. Dôležitým krokom do budúcnosti je aj fakt, že ICAO sa zapája do rôznych celosvetových aktivít podporujúcich značné množstvo iniciatív v oblasti umelej inteligencie vzhľadom na leteckú dopravu. Sami pritom tvrdia, že prijímať a využívať umelú inteligenciu je stále lepšie a vhodnejšie ako sa báť toho, čo sa môže v budúcnosti stať a istých vládných krokov, a aj napriek istej dávke prirodzenej nedôvery a skepticizmu táto organizácia verí, že AI bude slúžiť s priaznivým vplyvom pre letecké odvetvie. [3]

3.1.2. Medzinárodná rada letísk – ACI

S cieľom ďalej pomáhať letiskám, sa pracovná skupina ACI "Airport Digital Transformation" podrobila istému prieskumu

pod názvom "Digital Airport Survey", ktorý v sebe zahŕňa najnovšie technológie. Hlavným cieľom bolo, aby si vedenia daných letísk vytvorili určité sebahodnotenie, respektíve aby mohli určitým spôsobom identifikovať stav a vývoj ich letísk v priebehu času. [4]

Hlavnou podstatou a cieľom tohto prieskumu od ACI je v zásade to, že letiská sa môžu na základe neho zamerať na kľúčové témy, ktoré siahajú do budúcnosti, alebo sa nejakým spôsobom týkajú ich budúceho fungovania, čím sa môžu značne zlepšiť skúsenosti cestujúcich s daným systémom na letisku a zvýšiť tak aj celkovú prevádzkovú efektívnosť.

4. Prehľad o zavádzaní umelej inteligencie v prevádzke svetových letísk

Zatiaľ čo plne autonómne lietanie bez posádky je stále len vidinou budúcnosti, už dnes je vhodná príležitosť na automatizáciu a inováciu rôznych typov prevádzkových procesov na letiskách.

Ak hovoríme o digitálnej transformácii letísk, tak podstatou by sa dalo nazvať sústreďovanie sa predovšetkým na vyvíjajúce sa procesy a služby, za účelom vytvárania lepších podmienok a služieb pre cestujúcich, práve prostredníctvom implementácie nových, inovatívnych technológií a následným vzájomným funkčným prepojením ako medzi nimi, tak aj s existujúcimi.

Je dôležité si však ale uvedomiť, že digitálna transformácia ako taká a implementácia umelej inteligencie všeobecne nie je len o technológii, ale môže ísť tiež o akúsi transformáciu biznisu v digitálnom svete.

V nasledujúcich podkapitolách budú popísané postupy a prehľady zavádzania umelej inteligencie v prevádzke piatich vybraných svetových letísk, ktoré sú zároveň uzlové (hubs), za účelom identifikácie jednotlivých prevádzkových procesov. Avšak z hľadiska na početnosť týchto implementácií, bude ku každému letisku uvedený len **jed** konkrétny príklad.

4.1. Dubai International Airport (IATA: DXB)

Prvým vybraným a skúmaným letiskom bude Medzinárodné letisko Dubaj (angl. Dubai International Airport) v Spojených arabských emirátoch (SAE). Predovšetkým z toho dôvodu, že toto uzlové letisko je dlhodobo známe svojimi poprednými inovačnými technológiami, radí sa medzi najrušnejšie letiská sveta a je popredným lídrom v oblasti využívania a zavádzania umelej inteligencie. V nasledujúcich príkladoch budú priblížené jednotlivé vybrané implementácie a zavádzania systémov umelej inteligencie priamo do prevádzkových procesov letiska DXB a ich využitie v praxi.

4.1.1. Colní úradníci verus umelá inteligencia

Ministerstvo vnútra SAE uviedlo, a v roku 2020 predstavilo, že v Spojených arabských emirátoch už viac nebudú v blízkosti budúcnosti colní úradníci potrební. Má ich totižto nahradiť práve umelá inteligencia. Plánovaný systém je navrhnutý tak, aby cestujúci na letisku len prechádzali bezpečnostným systémom, ktorý je priamo napájaný na umelú inteligenciu, s cieľom skenovať ľudí bez nutnosti neobľúbeného vyzúvania sa, odopínania opaskov alebo vyprázdnenia obsahov vreciek. [5]

Toto kľúčové uzlové letisko momentálne zavádza ďalšiu technológiu z oblasti AI, konkrétne skener dúhovky očí, ktorý má za úlohu overovať identitu cestujúcich a výrazne týmto spôsobom eliminuje potrebu akejkoľvek interakcie s inými ľuďmi, či už po prilete alebo odlete z danej krajiny. Samozrejme aj tento program spustil množstvo otázok, týkajúcich sa bezpečnosti a možného hromadného sledovania ľudí, pričom odborníci sa domnievajú, že práve táto krajina patrí medzi najvyššom v počte bezpečnostných kamier na obyvateľa na svete. Avšak dubajský imigračný úrad avizoval, že dáta chránia v maximálnej možnej miere a nie sú poskytované žiadnym tretím stranám. Spomínané letisko v Dubaji začalo prvýkrát tento program používať na cestujúcich vo februári 2021. Dáta z praxe naznačujú, že urýchlenie cesty cez pasovú kontrolu je výrazné. Nasnímané údaje z dúhovky sú priamo prepojené s databázami rozpoznávania tváří v danej krajine, čiže cestujúci nepotrebujú žiadne občianske preukazy respektíve identifikačné doklady, ba dokonca ani letenky. [6]

4.2. Incheon International Airport (IATA: ICN)

Ako druhý príklad pre implementáciu umelej inteligencie do svojich prevádzkových procesov posluží najväčšie letisko v Južnej Kórei - Medzinárodné letisko Incheon, ktoré slúži ako primárne letisko pre hlavné mesto Soul a taktiež je radené medzi najväčšie a najrušnejšie letiská na svete. Toto letisko je všeobecne známe pre svoju uznávanú kvalitu zákazníckych služieb, za čo získalo aj viacero ocenení. V súčasnej dobe sa však očakávajú niektorých cestujúcich stále zvyšujú, tak aj z toho dôvodu bolo toto letisko nútené vytvoriť svoj vlastný plán akéhosi inteligentného letiska, respektíve letiska, kde budú v istej miere implementované práve systémy AI.

4.2.1. „AIRSTAR“ - pomocný robot pre cestujúcich na letisku Incheon

Medzinárodné letisko Incheon pred časom začalo novú éru implementácie umelej inteligencie na letiskách zavedením robotov novej generácie pod názvom „AIRSTAR“, ktorí pomáhajú cestujúcim lepšie sa orientovať na tomto letisku.

Títo inteligentní roboti, pôsobiaci na letisku Incheon poskytujú cestujúcim predovšetkým dôležité informácie a prinášajú im príjemné zážitky. Vedia odpovedať na veľké množstvo otázok od cestujúcich, ale vedia ich aj správne (podľa potreby) navigovať v priestore letiska. Počas svojej prevádzky sú dokonca schopní viesť cestujúcich priamo k odbavovacím priehradkám príslušných leteckých spoločností. Robot "Airstar" vie tiež cestujúcim poskytnúť užitočné informácie v reálnom čase, ako napríklad stav preťaženia na jednotlivých odletových halách a podobne. Roboty navyše ponúkajú plnú podporu v kórejskom, čínskom, japonskom a anglickom jazyku. [7]

4.3. Munich International Airport (IATA: MUC)

V poradí tretím zvoleným príkladom svetového letiska, kde implementácia umelej inteligencie zohráva dôležitú úlohu, je druhé najväčšie letisko v Nemecku - Medzinárodné letisko Mníchov. Samozrejme, tak ako aj na iných letiskách, aj v tomto prípade vzniká pri zvýšenom zavádzaní umelej inteligencie a podobných systémov, vyššie riziko spojené s výskytom kybernetickej kriminality a možných útokov na IT systémy. Aj z toho dôvodu Medzinárodné letisko Mníchov zriadilo takzvané

„Centrum informačnej bezpečnosti“, ktorého hlavným cieľom je evidentne eliminácia takýchto rizík.

4.3.1. „Josie Pepper“ - humanoidný robot poháňaný umelou inteligenciou

Podobne ako pri letisku Incheon, aj v prípade Medzinárodného letiska Mníchov, je potrebné na začiatok priblížiť pre cestujúcich azda najviditeľnejší druh implementácie umelej inteligencie do prevádzky tohto letiska – inteligentného humanoidného robota, poháňaného systémami AI, ktorý nesie meno „Josie Pepper“.

Tento robot spĺňa dôležitú úlohu pri navigovaní cestujúcich v priestoroch terminálu a je schopný podať presné informácie ohľadom stavu konkrétneho letu. Dokáže tiež odpovedať na otázky, týkajúce sa obchodov, reštaurácií a podobne. Pokiaľ ide o funkcionality tohto robota, tak jeho "mozog" je vybavený vysoko výkonným procesorom, ktorý mu pomáha plniť rôzne náročné úlohy a je priamo napojený na sieť WLAN. Takýmto spôsobom sa vytvára spojenie s cloudovou službou, kde sa daná reč spracováva, vyhodnocuje a následne spája s dostupnými údajmi letiska. [8]

Tento robot síce svoje miesto uplatnenia zrejme už má, treba však podotknúť, že je stále vo vývoji a v procese celkového vylepšovania.

4.4. **Hartsfield – Jackson Atlanta International Airport (IATA: ATL)**

Ďalší obraz toho, ako môže byť umelá inteligencia začlenená do prevádzkových procesov letiska, nám poskytne, v našom prípade zástupca amerického kontinentu - Medzinárodné letisko Hartsfield – Jackson Atlanta.

Ich hlavná vízia je byť predovšetkým globálnym lídrom v oblasti efektívnosti letísk a excelentnosti služieb zákazníkom. [9]

K naplneniu týchto cieľov a vízií im môže výrazne pomôcť práve implementácia umelej inteligencie do ich prevádzky, a to v rôznych podobách. V nasledujúcej časti si priblížime jednu z najvýraznejších zavedených technológií na tomto letisku.

4.4.1. Technológia biometrického skenovania

Táto technológia bola spustená na letisku v Atlante koncom roka 2018 a môžu ju využívať medzinárodní cestujúci prostredníctvom špeciálneho terminálu. Tento terminál je prevádzkovaný primárne spoločnosťou Delta Airlines ale slúži aj cestujúcim iných leteckých dopravcov.

Hlavnou podstatou tohto systému ale je značné zjednodušenie a urýchlenie procesov predkladanie dokumentov, potrebných na let. Cestujúci sa tradične pozerajú do príslušnej kamery, ktorá detailne nasníma ich tvár. Táto snímka je následne porovnávaná s databázou snímok, ktorú uchováva Úrad pre colnú správu a ochranu hraníc USA, pričom sú v nej zhromaždené snímky tváre z pasov a víz. [10]

4.5. **Narita International Airport (IATA: NRT)**

Letisko, uzatvárajúce vybraný zoznam svetových letísk, v ktorých je do prevádzkových procesov zavádzaná umelá inteligencia, sa

nazýva: Medzinárodné letisko Narita (angl. Narita International Airport). Toto letisko bolo vybrané predovšetkým z toho dôvodu, že je najväčším a najdôležitejším letiskom v Japonsku, ktoré ako krajina patrí medzi popredných svetových lídrov v oblasti zavádzania umelej inteligencie a jej vývoja. Je nepochybné, že nové digitálne technológie spojené s umelou inteligenciou formujú moderné cestovné trendy a tak vyvíjajú určitý tlak aj na toto letisko.

4.5.1. „End-to-end“ biometrický systém

V apríli tohto roku začalo letisko Narita postupne zavádzať a testovať nový systém biometrického skenovania pre medzinárodných cestujúcich pod názvom „Face Express“. [11]

Spomínaný systém umožňuje pasažierom plynule prejsť z procesu "Check-inu" až po nastúpenie na palubu lietadla práve pomocou biometrických údajov, čím je automaticky eliminovaná potreba neustáleho predkladania osobných cestovných dokladov a palubných lístkov.

Táto novo implementovaná technológia umožňuje odbavenie cestujúcich v jednom z mnohých nových biometrických kioskov, kde je zaznamenaná tvár cestujúceho a overený jeho pas. Po dokončení procesu overovania identity je batožina cestujúceho dopravená pomerne rýchlo a jednoducho na jednotku pod názvom "Auto Bag Drop (ABD)", pričom všetci cestujúci sú automaticky rozpoznaní kamerou zabudovanou práve v tejto jednotke, keď sa k nej priblížia. Následný prechod cez bezpečnostnú kontrolu je priamy, čiže tvár cestujúceho je znovu rozpoznaná, keď sa priblíži k elektronickej bezpečnostnej bráne a k elektronickej odletovej bráne letiska Narita, pričom obidve sú tiež vybavené kamerami, ktoré automaticky overia totožnosť a príslušné doklady daného cestujúceho, bez akéhokoľvek potrebného fyzického ukazovania týchto dokladov. [11]

Výhodou využívania tohto systému je nepochybne aj zaistenie pohodlia a bezpečnosti cestujúcich. Táto biometrická technológia je naozaj silným nástrojom pri riešení potenciálnych problémov, spôsobených prebiehajúcou pandémiou COVID-19.

4.6. **Implementácia umelej inteligencie na menších letiskách (dotazník)**

Vzhľadom na to, že implementácia umelej inteligencie má globálny význam nie len pre veľké medzinárodné, respektíve „hubové“ letiská, ale aj pre menšie letiská – s menším počtom vybavených cestujúcich, je v tejto časti práce a v rámci výskumu tejto špecifickej problematiky, vypracovaný dotazník. Cieľom vytvorenia tohto dotazníka je predovšetkým priblížiť spôsoby zavádzania a iniciatívy v oblasti umelej inteligencie na týchto menších letiskách, ich celkové postoje a vnímanie tohto trendu, plánovanie do budúcnosti a prípadné stratégie, úzko prepojené práve s touto implementáciou s výsledným vzájomným porovnaním získaných údajov. V rámci samotného vytvárania tohto dotazníka bolo letiskám položených spolu 14 otázok, pričom boli kombinované s možnosťou dvoch, troch, prípadne viacerých možností odpovedí, ako aj jedna otázka otvoreného typu. Celkovo bolo priamo oslovených 126 letísk formou e-mailovej komunikácie alebo prostredníctvom kontaktného formuláru, uvedeného na ich oficiálnej webovej stránke.

Konečný počet respondentov, respektíve letísk, ktorých odpovede boli prostredníctvom vytvoreného dotazníka v rámci tohto výskumu zaznamenané, je **deväť**.

V nasledujúcej časti tohto článku bude vzhľadom na rozsiahlosť tohto prieskumu priblížených len zopár vybraných otázok a grafické znázornenie odpovedí od respondentov v danom dotazníku.

4.6.1. Otázka č.1

Slovenské znenie: Vnímate trend implementácie systémov AI do prevádzkových procesov letiska ako nevyhnutnú súčasť budúceho rastu produktivity letiska?

Na túto otázku mohli respondenti odpovedať tromi možnosťami, avšak využité boli len dve. Tento pomer je možné vidieť aj v nasledujúcom grafe.

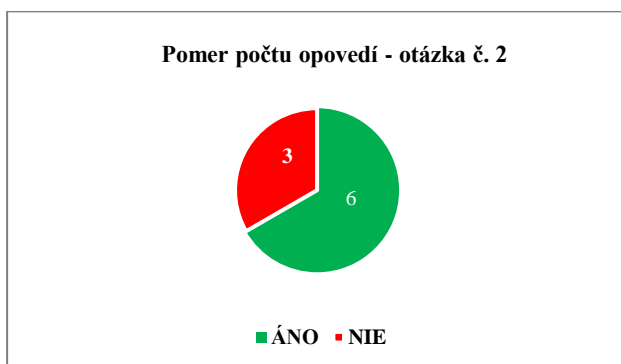


Graf 1: Pomer počtu odpovedí pre otázku č. 1 v dotazníku. Zdroj: Autori.

4.6.2. Otázka č. 2

Slovenské znenie: Myslíte si, že postupná implementácia umelej inteligencie na letiskách môže všeobecne zvýšiť konkurencieschopnosť letísk?

Pomer počtu odpovedí je **6:3**, pričom viac respondentov odpovedalo kladne, čo je možné vidieť aj v nasledujúcom grafe.

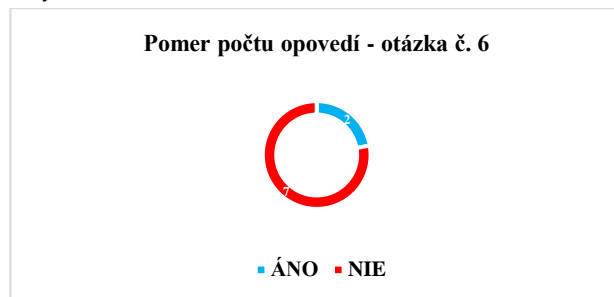


Graf 2: Pomer počtu odpovedí pre otázku č. 2 v dotazníku. Zdroj: Autori.

4.6.3. Otázka č. 6

Slovenské znenie: Má Vaše letisko špecializovaný tím ľudí zodpovedných za inovačné procesy?

Na základe pomeru získaných odpovedí je evidentné, že prevažná časť týchto letísk takýto špecializovaný tím ľudí vo svojich štruktúrach nemá.

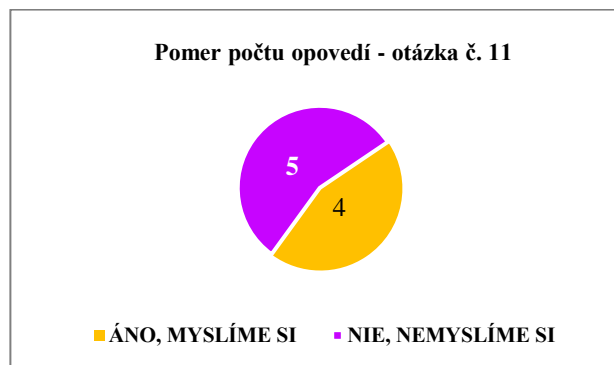


Graf 3: Pomer počtu odpovedí pre otázku č. 6 v dotazníku. Zdroj: Autori.

4.6.4. Otázka č. 11

Slovenské znenie: Myslíte si, že sa v dôsledku príchodu pandémie COVID-19 zvýšili príležitosti na implementáciu umelej inteligencie na letiskách?

Táto otázka bola do dotazníku zahrnutá predovšetkým na priblíženie vnímania potenciálneho zvýšenia príležitostí na implementáciu systémov AI očami menších letísk v súvislosti s prebiehajúcou pandemiou.

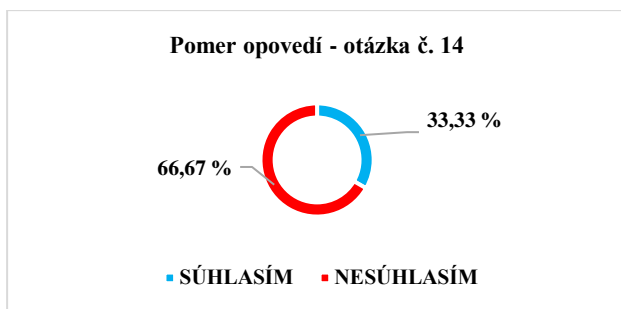


Graf 4: Pomer počtu odpovedí pre otázku č. 11 v dotazníku. Zdroj: Autori.

4.6.5. Otázka č. 14

Slovenské znenie: Myslíte si, že implementácia systémov AI do prevádzkových procesov letísk bude mať v budúcnosti významný vplyv na znížený počet zamestnancov?

Táto záverečná otázka v dotazníku sa zaoberá pre niekoho pomerne citlivou témou ohľadom potenciálneho zníženia počtu zamestnancov letísk v súvislosti so zavádzaním umelej inteligencie. Respondenti malo možnosť dvoch odpovedí, konkrétne „Súhlasím“ a „Nesúhlasím“.



Graf 5: Pomer počtu odpovedí pre otázku č. 14 v dotazníku. Zdroj: Autori.

Ako bolo v úvode naznačené, tento dotazník bol vytvorený s cieľom popísať a vyhodnotiť vôľu menších letísk v zavádzaní systémov umelej inteligencie do ich prevádzkových procesov a priblížiť prípadné vytvorenie určitých plánov a stratégií do budúcnosti, pomocou ktorých by mohli docieľiť zvýšenie celkovej efektivity prevádzky. Vzhľadom na vyhodnotenie získaných výsledkov je zrejme, že tieto letiská zväčša **vnímajú** implementáciu umelej inteligencie ako dôležitú súčasť budúcej prevádzky letísk a plne si uvedomujú podstatu a význam takeéhoto zavádzania, vzhľadom na digitalizáciu procesov a neustále napredovanie v tomto odvetví.

5. Raster prevádzkových procesov a činností letísk, v ktorých sa uplatňuje umelá inteligencia

V tejto časti článku je formou rastra, resp. tabuľky spracovaných tridsať vybraných prevádzkových procesov a činností letísk, v ktorých uplatňujú systémy umelej inteligencie a k nej prislúchajúce technológie. Pre vzájomné porovnanie poslúžia vybrané svetové **uzlové** letiská z kapitoly č. 4.

Tabuľka 2: Prevádzkový proces letiska, kde sa uplatňuje AI. Zdroj: Autori.

Prevádzkový proces letiska, kde sa uplatňuje AI	D X B	I C N	M U C	A T L	N R T
1. Inteligentný (smart) „self check-in“	✓	✓	✓	✓	✓
2. „Self – boarding“	✓		✓	✓	✓
3. Navigovanie v areáli letiska (napr. pomocou aplikácie)	✓	✓	✓	✓	✓
4. Biometrické systémy skenovania	✓	✓	✓	✓	✓
5. Implementácia RFID batožinových štítkov	✓	✓	✓	✓	✓
6. Samoobslužné odbavenie batožiny („Self-service bag drop off“)	✓	✓	✓		✓
7. Kiosky pre stratenú batožinu					
8. Inteligentná pasová kontrola	✓	✓	✓	✓	✓
9. Letiskové aplikácie pre mobilné zariadenia	✓	✓	✓	✓	✓
10. Inteligentná bezpečnostná kontrola	✓	✓	✓	✓	✓

11. Manipulácia s batožinami na základe AI	✓	✓	✓	✓	✓
12. Automatizované systémy v riadení letovej prevádzky	✓	✓	✓	✓	✓
13. Autonómne dopravné prostriedky	✓	✓	✓	✓	✓
14. Humanoidný robot poháňaný AI		✓	✓		
15. Digitálne zdravotnícke technológie (napr. prevencia voči COVID-19)	✓	✓		✓	✓
16. Kontrola telesnej teploty cestujúcich	✓	✓		✓	✓
17. Inteligentné LED osvetlenie letiska	✓	✓	✓	✓	✓
18. Inteligentné parkovanie („Smart parking“)		✓	✓		
19. Inteligentná a rýchla wifi sieť	✓	✓	✓	✓	✓
20. Automatizované inšpekcie (lietadlá, terminál, dráha)	✓	✓	✓	✓	✓
21. Video – analýza (AI / ML)	✓	✓	✓	✓	
22. Detekcia tvorenia rád („Queue detection“)	✓		✓	✓	
23. Monitorovanie toku dopravy	✓	✓	✓	✓	✓
24. Monitorovanie a kontrola kritickej infraštruktúry („Critical infrastructure monitoring and control“)	✓	✓	✓	✓	✓
25. Cielená reklama („Targeted Advertising“)	✓	✓	✓	✓	✓
26. Čiastočne automatizované bezpečnostné a obchodné procesy	✓	✓	✓	✓	✓
27. Inteligentný dopravný systém	✓	✓	✓	✓	✓
28. Kybernetická bezpečnosť s podporou AI	✓	✓	✓	✓	✓
29. Technológia rozpoznávania hlasu		✓			✓
30. Prediktívna analytika	✓	✓	✓	✓	✓

Spomedzi celkového počtu tridsiatich vybraných prevádzkových procesov, má týchto päť letísk zavedenú väčšiu časť daných technológií. Na základe informácií vyplývajúcich z uvedeného rastra procesov a tiež vyhodnoteného dotazníka z kapitoly č. 4 je evidentné, že menšie letiská nezaostávajú v trende implementácie umelej inteligencie a spolu so spomínanými letiskami s väčším množstvom vybavených cestujúcich, a často zdieľajú spôsob využitia viacerých inteligentných technológií.

6. Dôsledky zavádzania umelej inteligencie na letiskách (s aktualizáciou vzhľadom na COVID-19)

Letectvo ako dynamické odvetvie je pandémiou COVID-19 negatívne ovplyvnené z viacerých dôvodov. Jedným z nich je aj fakt, že samotné lietanie, ako spôsob dopravy pre cestujúcich, je

vysoko nezlučiteľné s opatreniami vyžadujúcimi sociálny odstup medzi ľuďmi.

V súčasnosti je ešte ťažké presne predpovedať, ako bude cestovanie a letectvo, ako jeden celok, vyzeráť po zotavení sa z pandémie, ale je možné tvrdiť, že situácia už bude iná, čím sa môže zmeniť charakter viacerých prvkov v tomto odvetví. Jedným s nich je aj zvýšený záujem o implementáciu umelej inteligencie, konkrétne na letiskách. Je evidentné, že po vypuknutí tejto nepriaznivej situácie sa zvýšili možnosti pre zavádzanie systémov umelej inteligencie. Konkrétne **tri vybrané** dôsledky takejto implementácie sú bližšie popísané v nasledujúcej časti článku.

6.1. Prevádzkové a bezpečnostné dôsledky

Je preukázateľné, že umelá inteligencia môže významne znížiť čas, ktorý cestujúci strávi v letiskových termináloch a zjednodušiť tiež väčšinu súčasných prevádzkových procesov letísk.

6.1.1. Rýchlejší „check-in“

Tieto mechanizmy sú, v porovnaní s ľuďmi, predurčené pracovať rýchlejšie, efektívnejšie a hlavne vytrvalejšie. Z toho dôvodu, sa využívanie AI v procesoch odbavovania ukazuje ako veľmi efektívne riešenie pri šetrení času, financií a zamedzovaní osobného kontaktu, predovšetkým so zreteľom na prebiehajúcu pandémiu COVID-19, kedy je dôvera a vôľa ľudí začať opäť bezpečne cestovať akýmsi „odrazovým mostíkom“ z tejto situácie.

6.1.2. Jednoduchšia manipulácia s batožinami

Je evidentné, že zavedenie umelej inteligencie do tohto prevádzkového procesu, môže výrazne zredukovať prípadné obavy cestujúcich, týkajúce sa batožiny, ako napríklad strata, poškodenie, časové a silové vyťaženie a podobne. Tieto výhody vyplývajúce zo spomínanej modernizácie môžu mať napokon za následok zvýšenie počtu cestujúcich. Taktiež je vysoko pravdepodobné, že vďaka pokroku v technológiách monitorovania batožiny, sledovacích aplikácií a RFID štítkov sa pravdepodobnosť spomínanej straty alebo nesprávnej manipulácie s batožinou v nasledujúcich desaťročiach významne zníži.

6.1.3. Uľahčenie cestovania pomocou biometrických technológií

Je zrejmé, že technológia biometrického skenovania je v rámci svetových letísk pomerne rozšírená a aktívne implementovaná. Táto moderná technológia, ako je známe, umožňuje cestujúcim zaregistrovať sa pomocou rozpoznávania ich tváre a zabezpečuje tak bezkontaktný prechod cez viaceré "kontaktné" body na letiskách. Taktiež tieto biometrické technológie sú veľmi dôležité pre letiská predovšetkým z pohľadu zefektívnenia dopravy a z hľadiska obnovenia dôvery v bezpečnú leteckú dopravu. Podstatou je implementovať tieto systémy rozvážne, postupne a efektívne.

6.2. Ekonomické a sociologické dôsledky

Okrem vyššie spomenutých vybraných prevádzkových a bezpečnostných účinkov zavádzania umelej inteligencie na letiskách s aktualizáciou na COVID-19, ktoré sú už v súčasnosti zreteľné, je momentálne dostupných veľmi málo informácií pre verejnosť ohľadom práve ekonomických, sociologických a možno psychologických účinkoch tejto implementácie.

Napriek tomu, niektoré sociologické účinky spomínaného zavádzania umelej inteligencie na letiskách sa môžu z časti prejavovať už teraz. Môže ísť napríklad o určitú zmenu charakteru práce z pohľadu príslušných zamestnancov letísk. Tu práve postupne vzniká veľmi silný, psychologický moment – spolupráca s umelou inteligenciou, zavádzanou na letiskách. Je dôležité aby sa celá takáto implementácia niesla v zmysle „človek a AI“ a nie „človek verzus AI“.

Je pravda, že systémy AI radikálne zmenia spomínaný charakter práce, prioritou však musí byť: plánovať ich využitie ako doplnenie a rozšírenie ľudských schopností, nie na ich nahradenie. Pretože práve prostredníctvom takto založenej spolupráce si ľudskí pracovníci a umelá inteligencia môžu navzájom zlepšovať vedomosti a aktívne budovať svoje silné stránky, čo bude mať vo finále účinok lepšieho prevádzkového výkonu a efektívnosti letísk.

7. Závery (pre vzdelávanie leteckých odborníkov v SR)

Tento článok sa venoval téme implementácie umelej inteligencie na letiskách a jeho cieľom bolo predovšetkým syntetizovať uvedenú problematiku a na základe prieskumu a následných zistení vytvoriť závery pre vzdelávanie leteckých odborníkov vzhľadom na prebiehajúce a budúce zavádzanie takýchto systémov v prevádzke letísk. K cieľom článku patrilo aj posúdenie dôsledkov zavádzania umelej inteligencie so zreteľom na prebiehajúcu pandémiu COVID-19.

Po vymedzení základných pojmov a definícií, týkajúcich sa umelej inteligencie vo všeobecnosti, boli následne k zavádzaniu umelej inteligencie v odvetví leteckej dopravy objasnené jednotlivé postoje vybraných medzinárodných leteckých organizácií. Vzhľadom na ich vnímanie tohto trendu zavádzania je evidentné, že v spomínaných sektoroch je o takúto implementáciu a následné využívanie AI systémov aktívny záujem.

V ďalšej časti bol vypracovaný prehľad o zavádzaní umelej inteligencie v prevádzke piatich vybraných svetových (uzlových) letísk, za účelom identifikácie vybraných jednotlivých prevádzkových procesov. Na základe priblíženia už zavedených alebo plánovaných inteligentných technológií na spomínaných letiskách sa zistilo, že ich jednotlivé stratégie, zaoberajúce sa touto problematikou, sú vo viacerých bodoch podobné aj napriek rozdielnym faktorom ako sú charakter, veľkosť a geografická poloha letiska. Taktiež vzhľadom na ich postavenie k tejto implementácii vzniká silný predpoklad, že postupné zavádzanie umelej inteligencie v prevádzkových procesoch svetových letísk je dôležitým faktorom pre možné zlepšenie efektivity, výnosnosti a zvýšenia kvality služieb, ponúkaných týmito letiskami.

Ako ďalšou súčasťou článku bol vytvorený dotazník týkajúci sa zavádzania systémov AI na menších letiskách. Jeho hlavným cieľom bolo priblíženie spôsobu implementácie a tvorby iniciatív

v oblasti AI na týchto letiskách, vyhodnotiť ich vôľu v danej oblasti, plány do budúcnosti spolu s prípadnými stratégiami, spoločne s cieľom vzájomného porovnania získaných údajov. Na základe kvantitatívne vyhodnotených získaných údajov z jednotlivých individuálnych odpovedí sa dospelo k záveru, že tieto letiská z väčšej časti vnímajú zavádzanie umelej inteligencie ako významnú súčasť budúcej prevádzky letísk a v plnom rozsahu si uvedomujú jej podstatu v zmysle ďalšieho napredovania v tomto sektore dopravy.

V nadväznosti na spomínané uzlové letiská, bol zostavený raster prevádzkových procesov a činností, v ktorých sa uplatňuje umelá inteligencia. Hlavným cieľom vypracovania tohto rastra, obsahujúceho tridsať vybraných procesov, bola hlavne komparácia úrovne technologickej modernizácie týchto letísk, ich napredovania a vznik prekrytia týchto špecifických procesov, týkajúcich sa trendu zavádzania systémov AI.

Za účelom lepšieho vyhodnotenia tejto problematiky boli charakterizované vybrané prevádzkové a bezpečnostné účinky takejto implementácie v súvislosti s pandémiou COVID-19. Východiskom z tejto situácie môže byť, že letiská pravdepodobne nemajú veľa iných možností ako začať vnímať problematiku implementácie umelej inteligencie vážne a umiestniť ju tak medzi svoje priority. Pretože aj práve s pomocou rozumného využitia systémov AI sa môžu postarať o návrat určitej istoty do svojej prevádzky, a zvýšiť tak jej efektivitu.

Ako už bolo spomenuté, mnohé prevádzkové a bezpečnostné účinky tohto zavádzania už sú viditeľné na rozdiel napríklad od tých ekonomických. Preto by v zmysle možného pokračovania výskumu bolo vhodné s odstupom času preskúmať aj určité kvantitatívne ekonomické účinky implementácie umelej inteligencie na letiskách práve vzhľadom na vývoj pandémie COVID-19.

Pokiaľ ide konkrétne o situáciu v Slovenskej republike, tak určitým stimulačným faktorom, ktorý by mohol povzbudiť slovenské letiská k širšiemu a efektívnejšiemu využitiu umelej inteligencie, môže byť aj istý vznikajúci tlak od nových absolventov v sektore leteckej dopravy, ktorí budú s vývojom času vzdelanejší v oblasti inteligentných technológií a budú schopní spolupracovať s informačnými špecialistami z rôznych zahraničných krajín. Avšak vzhľadom na potrebnú prípravu takýchto odborníkov, bude pravdepodobne potrebné inovovať aj niektoré procesy výučby. S odstupom času a s narastajúcim dopytom po takýchto technológiách na letiskách, vznikne pravdepodobne nutnosť inovovať aj študijný program „letecká doprava“ takým spôsobom aby téma, pokrývajúca problematiku a oblasť týchto moderných technológií boli zahrnuté napríklad v novo vzniknutých predmetoch.

Z dôvodu, že zahrnutie umelej inteligencie do oblasti leteckej dopravy môže prilákať nové obchodné záujmy nielen na letiskách ale aj v celom odvetví bude nevyhnutné vytvárať dôkladné plány a stratégie, v ktorých bude mať umelá inteligencia svoje pevné miesto. Pretože práve takouto podporou podnikania letísk z dlhodobého hľadiska vzniká podstata zabezpečenia kvalitného a dlhotrvajúceho rastu efektivity a celkové zlepšenie konkurencieschopnosti letísk v podnikateľskom prostredí.

Referencie

- [1] WANG, P. 2019. *On Defining Artificial Intelligence* [online]. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/publication/335279198_On_Defining_Artificial_Intelligence
- [2] INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. 2018. *AI White Paper* [online]. Dostupné na internete: <https://www.iata.org/contentassets/b90753e0f52e48a58b28c51df023c6fb/ai-white-paper.pdf>
- [3] SCHNEIDER, K. 2017. *Artificial Intelligence and the future of work* [online]. Dostupné na internete: https://www.icao.int/training/Documents/A.I.pg.14.15.16.icao_training_report_vol7_No3.pdf
- [4] AIRPORTS COUNCIL INTERNATIONAL. 2020. *World Airport Digital Transformation Survey* [online]. Dostupné na internete: https://store.aci.aero/wp-content/uploads/2020/11/ACI_World_Airport_Digital_Transformation_Survey.pdf
- [5] MARR, B. 2019. The Amazing Ways Dubai Airport Uses Artificial Intelligence. In *Forbes* [online]. 2019. Dostupné na internete: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/07/26/the-amazing-ways-dubai-airport-uses-artificial-intelligence/?sh=13fc839e2a21>
- [6] DEBRE, I. 2021. At Dubai airport, travelers' eyes become their passports In *APnews*. [online]. 2021. Dostupné na internete: <https://apnews.com/article/dubai-airport-iris-scanner-verify-identity-4c8f2fb1f62df394e29e8365b3bd105e>
- [7] LEE, K. 2018. Incheon Airport Introduces "AIRSTAR," Passenger Aiding Robot. In *The Korea Bizwire* [online]. 2018. Dostupné na internete: <http://koreabizwire.com/incheon-airport-introduces-airstar-passenger-aiding-robot/121298>
- [8] FLUGHAFEN MÜNCHEN, GmbH. 2018. *Hi! I'm Josie Pepper* [online]. Dostupné na internete: <https://www.munich-airport.com/hi-i-m-josie-pepper-3613413>
- [9] COUNCIL, R. 2018. *World's busiest airport briefing* [online]. Dostupné na internete: <https://citycouncil.atlantaga.gov/Home/ShowDocument?id=1044>
- [10] LYNN, B. 2018. First US Face Recognition Terminal Opens at Atlanta Airport. In *VOA Learning English* [online]. 2018. Dostupné na internete: <https://learningenglish.voanews.com/a/first-us-face-recognition-terminal-opens-at-atlanta-airport/4688125.html>
- [11] FERNANDEZ, J. 2021. *Narita Airport, Amadeus and NEC introduce Japan's first end-to-end biometric boarding process* [online]. Dostupné na internete: <https://amadeus.com/en/insights/press-release/narita-airport-amadeus-nec-introduce-japans-first-end-to-end-biometric-boarding-process>

CONCEPTUAL DESIGN OF THE TRAINING AEROBATIC AIRPLANE

KONCEPČNÝ NÁVRH CVIČNÉHO AKROBATICKEHO LIETADLA

Vladimír Klein

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
vladkoklein@gmail.com

Filip Škultéty

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
skultety@fpedas.uniza.sk

Abstract

Paper deals with the issue of conceptual design of a training aerobatic aircraft with a tandem arrangement of seats. The first part of the paper is devoted to the historical context of the construction and characteristics of training aerobatic aircraft. The work analyses the current state of training aerobatic aircraft together with the situation of aerobatic aviation in Slovakia. The practical part of the paper discusses the design of a training aerobatic aircraft in the software Rhinoceros together with the determination of technical and operational parameters and analysis of aerodynamic and stress characteristics.

Keywords

design, aerobatics, Lycoming, Zlin Aircraft, training aircraft, competition aerobatics

1. Úvod

Letectvo neustále napreduje a má čoraz vyššie ambície. V počiatkoch aviatiky, niektorí piloti používali lietadlá na popularizáciu lietania vo forme lietajúceho cirkusu. Vykonávali rôzne obraty a manévry kvôli upútaniu pozornosti diváka. Práve v tomto období sa začínalo hovoriť o leteckej akrobacii, inak nazývanej kráľovnej leteckých športov. Letecká akrobacia je spojením lietania a obratov, ktoré nie sú charakteristické pre klasické lietanie. Akrobacia sa môže vykonávať na lietadlách a vetroňoch vo forme zábavy, rekreácie, tréningovania a vrcholového športu. Akrobaciu je možné vykonávať taktiež na helikoptéroch. Väčšina akrobatických obratov je vykonávaná okolo pozdĺžnej a priečnej osi lietadla. Obraty ako vývrtky sú vykonávané okolo zvislej osi lietadla. Zostrojením takzvanej zostavy vzniká komplexný súbor prvkov, ktoré môžu byť prezentované pilotom v športovej alebo rekreačnej súvislosti. Akrobatické lietanie vyžaduje veľmi vysokú koncentráciu a výcvik pilota, pričom je lietadlo namáhané oveľa väčšími zaťažzeniami, než akými sú namáhané lietadlá v horizontálnom lete.

Motiváciu k rozhodnutiu písať práve o téme návrhu cvičného akrobatického lietadla som získal, pretože som akrobatický pilot a z vlastnej skúsenosti viem, že je nedostatok cvičných akrobatických lietadiel, ktoré sú vhodné pre začiatkový výcvik a pokročilý výcvik leteckej akrobacie. Potrebu lietať akrobaciu vo mne zosilnil môj otec, ktorý je taktiež môj inštruktor vo výcviku leteckej akrobacie.

Vo svete existuje nespočetné množstvo akrobatických lietadiel, ktoré sú špičkou leteckej konštrukcie. Väčšina z nich je dnes vyrábaná takzvaným univerzálnym štýlom, čo v praxi znamená, že sú považované ako vhodné pre začiatovníkov, ale aj profesionálov. Akrobatický výcvik je zložitý proces, ktorý ovplyvňuje mnoho faktorov. Jedným z týchto faktorov je práve

lietadlo, na ktorom je vykonávaný výcvik. Takisto, ako aj letecký výcvik pri získaní základnej licencie PPL(A) s kvalifikáciou SEP(L) je zvyčajne vykonávaný na lietadlách menších s menším výkonom. Práve týmto faktom by sme chceli poukázať na skutočnosť, že vykonávať začiatkový akrobatický výcvik na lietadle s enormne vysokým výkonom nemusí mať žiaduci efekt na výcvik pilota a jeho získané vedomosti a zvyky. Vysoký výkon pohonnej jednotky pomáha pilotovi pri vykonávaní akrobatických manévrov, stabilizačných manévrov z nezvyklých polôh. Môžeme konštatovať, že genéza československého akrobatického letectva, ktorá znamenala vo svete špičku leteckého priemyslu, sa vytratila. Táto genéza začala výrobou lietadiel rady Trener, od typov Z 26 až po Z 726. Vývoj akrobatických lietadiel na území Československa bol ukončený sériovou výrobou legendárnych akrobatických špeciálov Zlin Z 50, a tak momentálne nie je vo vývoji a výrobe v Česku a na Slovensku žiadne výcvikové akrobatické lietadlo.

2. Historický kontext konštrukcie „školných“ akrobatických lietadiel

V nasledujúcej časti sú opísané cvičné akrobatické lietadlá používané vo svete od roku 1929 po súčasnosť. Na základe jednotlivých konštrukčných celkov a prevádzkových parametrov bola vykonaná syntéza, ktorá slúžila na stanovenie vstupných požiadaviek pre návrh samotnej koncepcie navrhovaného letúna.

2.1. Prierez histórie cvičných akrobatických lietadiel

2.1.1. *Morane-Saulnier MS.230*

Lietadlo bolo používané ako základ pre francúzsku armádu počas vypuknutia Druhej svetovej vojny. Takmer každý pilot vo Francúzsku absolvoval základný výcvik práve na tomto lietadle.

Toto lietadlo bolo ekvivalentom amerického Stearmana a britského lietadla Tiger Moth.

2.1.2. De Havilland Tiger Moth

Je britský dvojplášnik navrhnutý Geoffreyem de Havillandom, postavený spoločnosťou de Havilland Aircraft Company. Hlavným používateľom bola britská armáda Royal Air Force, a veľa ďalších prevádzkovateľov používalo toto lietadlo primárne na základný výcvik. Prvý let absolvoval 26. októbra 1931 [1].

2.1.3. Focke-Wulf Fw 44 Stieglitz

Zrod lietadla Fw 44 Stieglitz začal v roku 1932, kedy konštruktér Kurt Tank, dostal požiadavku na vytvorenie dvojmiestneho lietadla zmiešanej konštrukcie. Prvý prototyp bol zalietaný v lete roku 1932 pilotom Gerdom Achgelisom, ktorý opisoval let ako nestabilný, s osciláciami v radiacej páke [2].

2.1.4. Bucker Bü 131 Jungmann

Bü 131 Je nemecké lietadlo z 30. rokov 20. storočia používané na základný výcvik. Primárne bolo používané nemeckou Luftwaffe počas Druhej svetovej vojny.

2.1.5. Boeing-Stearman Model 75

Stearman, dvojmiestny dvojplášnik predstavený Stearman Aircraft Division of Boeing vo Wichite v Kanade, v roku 1934, sa stal počas druhej svetovej vojny neočakávaným úspechom. Napriek takmer zastaranému dizajnu bol vďaka svojej jednoduchšej a robustnej konštrukcii ideálne výcvikové lietadlo pre začínajúcich pilotov pre armádny letecký zbor a námorníctvo [3].

2.1.6. De Havilland Canada DHC-1 Chipmunk

Chipmunk je dvojmiestne, jednomotorové lietadlo primárne slúžiace na letecký výcvik, ktoré bolo navrhnuté a skonštruované leteckou spoločnosťou de Havilland Canada. Vyvinuté a predávané bolo tesne po Druhej svetovej vojne vo veľkých množstvách ako náhrada za dvojplášnik Tiger Moth. Základná konfigurácia lietadla zahŕňala dolnoplošnú konfiguráciu krídla a dvojmiestny tandemový kokpit, ktorý bol vybavený priehľadným krytom z plexiskla, a poskytoval viditeľnosť do všetkých strán. Chipmunk využíva konvenčné usporiadanie podvozku s ostrohovým kolesom. Riadiace plochy sú pokryté plátnom, takisto ako aj krídlo, ktorého nábežná hrana je vytvorená z kovu a smerom vzad od hlavného nosníku je krídlo obalené plátnom. Konštrukcia trupu využíva poťah, ktorý je schopný prenášať sily a lietadlo je tvorené najmä kovmi a zliatinami, ktoré zabezpečujú odolnosť voči zaťaženiám [4].

2.1.7. Z 26 Trener

Spočiatku Z 26 bolo lietadlo so zváranou prútovou konštrukciou trupu pokrytého plátnom, drevenými krídlami a chvostovými plochami, klasickým pevným podvozkom s ostrohovým kolesom, pevnou drevenou vrtuľou s priemerom 2 m, ktoré vynikalo jednoduchým a účelným riešením [5].

Medzi rokmi 1947 až 1974 sa vyrobilo 1486 kusov Trenerov v radách Z 26, Z 126, Z 226, Z 326, Z 526, Z726 spolu s 10 kusmi

prototypov. Za najúspešnejšiu radu v rodine Trener sa považuje lietadlo Z 526F, ktoré je schopné v plnom obsadení s pilotom a inštruktorom na palube lietadla vykonávať akrobaciu s maximálnymi povolenými prevádzkovými násobkami +6 a - 3 [5].

2.1.8. Pitts S-2

Pitts S-2 nesie geneticky stále tie isté črty z jeho jednomiestneho predchodcu Pitts S-1 zo 40. rokov minulého storočia. V roku 1967 vzlietol prvý krát prototyp Pitts S-2. Od tých dôb prešlo lietadlo mnohými modifikáciami a vzniklo množstvo verzií, pri ktorých sa väčšinou jednalo o zvýšenie výkonu pohonnej jednotky. Pitts S-2 je dvojmiestny dvojplášnik, primárne určený na výcvik a pokročilú akrobaciu. Celá konštrukcia lietadla pozostáva z ocele a hliníka. Prútová konštrukcia trupu spolu s pevnými a pohyblivými chvostovými plochami sú pokryté plátnom alebo laminátovými krytmi. Pristávacie zariadenie je pevné s ostrohovým ovládateľným kolesom. Výkon pohonnej jednotky v závislosti od verzie sa môže pohybovať v rozmedzí 200 až 400 konských síl. Špeciálne upravené verzie Pitts Special 12 s hviezdicovým motorom ruskej výroby M-14P slúžia v dnešnej dobe najmä na prezentáciu na leteckých dňoch. Lietadlá Pitts boli v období svojej slávy najväčšími konkurentmi československých lietadiel rady Trener na majstrovstvách v leteckej akrobacii [6].

2.1.9. American Champion Decathlon

Lietadlo 8KCAB Decathlon vzniklo z lietadla Citabria, práve z dôvodu limitujúcich negatívnych násobkov preťaženia a času pri obrátenom lete. Vznikol ako požiadavka zo strany používateľov a pilotov.

2.1.10. Yak-52

Lietadlo Yak-52 bolo navrhnuté ako výcvikové lietadlo pre armádu. Lietadlo je vybavené zdvojeným riadením vpredu aj vzadu. Kabína obsahuje dve miesta za sebou v tandemovom usporiadaní, pričom hlavné pilotné sedadlo je vpredu. Konštrukcia lietadla je celokovová s výnimkou plátnového poťahu na krídelkách, výškovom a smerovom kormidle. Podvozok trojkolesového typu s predným podvozkom je čiastočne zásuvný, pričom v zasunutej polohe trčia pneumatiky von z lietadla, čo minimalizuje poškodenie lietadla pri nútenom pristáti v teréne mimo letiska. Srdce lietadla tvorí vzduchová sústava, ktorá slúži na štart motora a ovládanie brzdového systému. Krídlo lietadla je delené, pozostáva z dvoch častí, ktoré sú prichytené k centroplánu lietadla [7].

2.1.11. Extra 300

Dizajn modelu Extra 300 bol založený na jednoplošníku Extra 230 zo začiatku 80. rokov, ktorý mal krídlo vyrobené z dreva. Extra 300 má zváraný oceľový trup pokrytý laminátovými krytmi a plátnom. Krídlo je vsadené do trupu približne v strede, má uhlíkové kompozitné nosníky a uhlíkový kompozitový poťah. Symetrický profil krídla s nulovým uhlom nastavenia poskytuje rovnaký výkon pri vodorovnom aj obrátenom lete. Podvozok je pevný s ostrohovým kolesom s kompozitovými podvozkovými nohami a aerodynamickými krytmi kolies vyrobených. Pohonnou jednotkou je motor Lycoming AEIO-540 so vstrekovaním paliva, ktorý produkuje výkon 300 konských síl.

Extra 300 môže byť namáhaná násobkami $\pm 10 G$ s jednou osobou na palube a $\pm 8 G$ s dvoma [8].

2.1.12. Sukhoi-29

Sukhoi Su-29 je ruské dvojmiestne akrobatické lietadlo s hviezdicovým motorom s výkonom 360 konských síl. Bol navrhnutý na základe modelu Su-26 a zdedil väčšinu dizajnových a technických vlastností svojho predchodcu. Vďaka rozsiahlemu použitiu kompozitových materiálov, ktoré tvoria až 60 % konštrukcie lietadla Su-29, je prázdna hmotnosť vyššia iba o 50 kg oproti prázdnej hmotnosti jednomiestneho Su-26 [9].

2.1.13. Yakovlev-54

Lietadlo je dvojmiestny športový a akrobatický jednoplošník používaný na výcvik športových pilotov na akrobatické lety, ako aj na účasť v športových súťažiach.

2.1.14. Extra 200

Lietadlo bolo navrhnuté Walterom Extra a bol uvedený na americký trh v roku 1996. Model Extra 200 je o niečo menší ako model Extra 300 a je poháňaný motorom Lycoming s výkonom 200 konských síl, čo z nej robí skvelú voľbu pre tých, ktorí majú obmedzený rozpočet. Ponúka letové vlastnosti EA-300, je schopná vykonávať všetky akrobatické manévry, a je skvelým všestranným výcvikovým a športovým akrobatickým lietadlom.

2.1.15. XtremeAir Sbach 342 – XA 42

Sbach 342 je celokompozitový jednoplošný dolnoplošník s fixným pristávacím zariadením s ostrohovým kolesom a uhlíkovým kompozitným trupom. Lietadlo je poháňané motorom Lycoming AEIO-580-B1A s výkonom 315 konských síl v kombinácii s trojlístou vrtulou MT-Propeller. Sbach 342 je vlastne dvojmiestna verzia s tandemovým usporiadaním pilotných sedadiel jednomiestneho lietadla XtremeAir Sbach 300 – XA41. Lietadlo XA42 je certifikované s maximálnymi prevádzkovými násobkami $\pm 10 G$ [10].

2.1.16. GB1 GameBird

Je britské akrobatické lietadlo navrhnuté Philippom Steinbachom. Prvý prototyp bol postavený spoločnosťou Game Composites. Toto lietadlo je vyrábané v USA v štáte Arkansas [11].

Lietadlo obsahuje v pilotnej kabíne dve pilotné sedadlá v tandemovom usporiadaní, pričom zadné sedadlo je hlavné. GB1 má celokompozitnú konštrukciu a je poháňaný motorom Lycoming AEIO-580-B1A s výkonom 303 konských síl v kombinácii so štvorlístou vrtulou MT-Propeller. Pristávacie zariadenie je fixné s oceľovou pružinou a ostrohovým kolesom. Maximálne dovolené prevádzkové násobky predstavujú $\pm 10 G$ [11].

2.2. Analýza vstupných požiadaviek

Do komparatívnej analýzy sme sa rozhodli zaradiť dvojmiestne lietadlá s tandemovým usporiadaním sedadiel, ktoré sa dodnes používajú na akrobatický výcvik a vyhovujú tak dnešným legislatívnym aj technickým podmienkam.

Z porovnania vyplýva, že najpoužívanejšia konštrukcia trupu je zváraná prúťová konštrukcia, i keď trendom stavby akrobatických lietadiel sa stáva škrupinový kompozit.

Maximálna vzletová hmotnosť akrobatických lietadiel podrobených analýze je do 1000 kg. Jedinou výnimkou sú dve lietadlá, a tými sú Jak-52 a Sukhoi-29. Práve tieto dve lietadlá sú skôr používané v akrobatickom výcviku v post-sovietskych krajinách.

Podľa stavebného predpisu CS-23 sú pre akrobatickú kategóriu stanovené maximálne násobky zaťaženia +6, -3, aj keď niektorí výrobcovia lietadiel vysoko prevyšujú tieto násobky zaťaženia v závislosti od počtu osôb na palube lietadla a maximálnej vzletovej hmotnosti. Výkony pohonných jednotiek sa pohybujú v rozmedzí od 180 do 360 konských síl. Zo svetového hľadiska je vedúcim typom v základnom a pokročilom výcviku leteckej akrobacie Extra 300 v rôznych verziách. Prevádzkové náklady na let a údržbu sú diametrálne odlišné od lietadiel, ktoré disponujú menším výkonom.

Tabuľka 1: Prehľad parametrov akrobatických lietadiel v súčasnosti.
Zdroj: Autori.

Lietadlo	Používaná konštrukcia trupu	MTOW	Maximálne násobky zaťaženia	Výkon [HP]
Z 526F	zváraná prúťová konštrukcia	940 kg	+6, -3	180
Pitts S-2C	zváraná prúťová konštrukcia	771 kg	+6, -5	260
8KCAB Super Decathlon	zváraná prúťová konštrukcia	816 kg	+6, -5	180
Jak 52	pološkrupina	1415 kg	+7, -5	360
Extra 300LX	zváraná prúťová konštrukcia	870 kg	+8, -8	315
		950 kg	+6, -6	
Sukhoi 29	zváraná	1220 kg	+11, -9	360
Yakovlev 54	pološkrupina	990 kg	+9, -7	360
Extra 200	zváraná prúťová konštrukcia	800 kg	+8, -8	200
XA 42	škrupinový kompozit	850 kg	+10, -10	315
		999 kg	+8, -8	
Gamebird GB1	škrupinový kompozit	880 kg	+10, -10	303
		999 kg	+6, -6	

Extra NG	škrupinový kompozit	900 kg	+8, -8	315
		950 kg	+6, -6	

3. Teoretický rámec riešenej problematiky

Letecká akrobacia je v oblasti letectva najvyššie možné vzdelanie, aké môže človek dosiahnuť. Je to súhra dobrých pilotných vlastností a excelentných nárokov na stavbu lietadla, na ktorom je akrobacia vykonávaná. Medzi nároky na leteckú konštrukciu a vlastnosti akrobatického lietadla môžeme zaradiť:

- nízka hmotnosť,
- obratnosť,
- ovládateľnosť, riaditeľnosť a stabilita,
- schopnosť konštrukcie odolávať vysokým násobkom,
- vysoká stúpavosť,
- stabilita vo všetkých letových režimoch,
- pomalšia akcelerácia v zostupnom lete.

Mohli by sme rozmýšľať, ktorý z týchto uvedených nárokov je najdôležitejší, ale je nutné si uvedomiť, z akého hľadiska by sme chceli dané lietadlo hodnotiť, či je to už zo strany používateľa, konštruktéra, aerodynamika. Z nášho pohľadu je to určite nízka hmotnosť, stabilita vo všetkých letových režimoch a schopnosť konštrukcie odolávať vysokým násobkom.

Našou úlohou je navrhnuť cvičné akrobatické lietadlo s dvoma miestami v tandemovom usporiadaní pre pilota/žiaka a inštruktora, ktoré bude slúžiť pre začiatkový a pokročilý výcvik akrobacie. S prihliadnutím na fakt, že vo svete sú momentálne vyrábané lietadlá v tejto konfigurácii len s vysokým výkonom. S vysokým výkonom nám priamo úmerne narastá taktiež finančná záťaž pre samotných používateľov týchto lietadiel. Pri vykonávaní, či už výcviku alebo samotného akrobatického letu na lietadle Extra 300, spotreba paliva predstavuje hodnotu približne 90 litrov za 1 letovú hodinu.

3.1. UPRT a letecká akrobacia

Trend v leteckých výcvikoch športových a dopravných pilotov smeruje k takzvanej unifikácii. Prakticky to znamená, že výcvik vykonáva na lietadlách, ktoré si sú veľmi podobné po stránke obsluhy, pilotáže. Dodatočne sa takmer úplne vylúčila základná akrobacia zo základných osnôv praktického výcviku PPL(A). Pozostatky akrobacie zostali v týchto osnôvach vo forme zábrany pádu a vývrtiek.

Po niekoľkých nehodách dopravných lietadiel, ktoré boli práve zapríčinené nezvyklými polohami, pádmi a ich nesprávnym vyberaním sa rozhodla EASA vypracovať UPRT – výcvik zábrany a vyberania nezvyklých letových polôh. Samotný výcvik UPRT nenahrádza výcvik leteckej akrobacie. Môj osobný názor je taký, že po absolvovaní tak krátkeho UPRT výcviku uchádzač nezíska predstavované zručnosti, ktoré by mohol získať po absolvovaní výcviku leteckej akrobacie. Výcvik leteckej akrobacie je komplexnejší, zdĺhavejší a náročnejší. Tento výcvik poskytuje komplexné úlohy o nezvyklých polohách – hlavnou úlohou je

naučiť uchádzača ako sa dostať do nezvyklej polohy, ako sa z nej za čo najkratší čas dostať, poprípade v nej zotrvať istý moment.

Akrobatický pilot má schopnosť zvládať stresové situácie na palube lietadla lepšie, taktiež sú lepšie zžitý s lietadlom – pozná jeho letové charakteristiky, vlastnosti a limitné stavy. Dôvod, prečo vznikla letecká akrobacia ako potreba pre bežných pilotov je ten, že pri každom lete s hocikým lietadlom sa môže pilot dostať do pádu, vývrtky, autorotácie alebo inej nezvyklej polohy. Akrobatický pilot tento jav včas identifikuje a rýchlo zareaguje, a tým pádom je zmenšené riziko ujmy na zdraví a lietadlovej technike na minimum.

4. Charakteristika a technický návrh lietadla

Navrhnuté lietadlo je dvojmiestne v tandemovom usporiadaní, s pevným podvozkom ostrohoového typu, dolnoplošnej koncepcie krídla s priebežným nosníkom a symetrickým profilom krídla s krídelkami po celom rozpätí.



Obrázok 1: Perspektívny pohľad na výcvikové lietadlo. Zdroj: Autori.

Výcvikové lietadlo je koncipované ako celokovové s ohľadom na požiadavky jednoduchosti konštrukcie, ktorá je priamo úmerná cene zamýšľaného projektu. Voľba celokovovej konštrukcie plynie z požiadaviek na výcvikové lietadlo. Lietadlo pri bežnom letovom dni absolvuje niekoľko akrobatických letov, pri ktorých sú zaťaženia kladené na konštrukciu lietadla vysoké, a práve z toho dôvodu bola zvolená práve celokovová konštrukcia. Poškodenie, ktoré môže nastať z dôvodov nedbanlivej manipulácií s lietadlom vo vzduchu alebo na zemi, je jednoduchšie opraviteľné ako oprava kompozitného materiálu. S opravou kompozitného materiálu je spojené aj hmotnostné navýšovanie postupnými opravami, ktoré je v našom prípade nežiaduce. Ďalším z dôvodov, prečo sme ne zvolili kompozitnú konštrukciu lietadla, je ten, že do kompozitného materiálu "nevidíme", a to je pri akrobatickej prevádzke neprípustné.

Tabuľka 2: Špecifikácie cvičného akrobatického lietadla. Zdroj: Autori.

Špecifikácie	Hodnota	Jednotky
Dĺžka lietadla	7,019	m
Výška lietadla	1,879	m
Rozpätie	8,658	m
Plocha krídel	12,53	m ²
Prázdna hmotnosť	549	kg

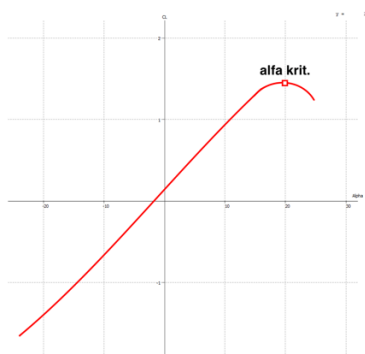
Maximálna vzletová hmotnosť	846,2	kg
Plošné zaťaženie	67,53	kg/m ²
Výkon pohonnej jednotky Lycoming AEIO-390-A	210	HP
Objem hlavnej palivovej nádrže	60	l
Objem prídavných palivových nádrží	2x 50	l

5. Aerodynamické charakteristiky a pevnostné výpočty

Vonkajší vzhľad lietadla bol namodelovaný v programe Rhinoceros 7. Pri modelovaní lietadla bolo dôkladne dbané na zachovanie všetkých rozmerov profilov nosných a chvostových plôch, ktoré by mohli ovplyvniť aerodynamické charakteristiky. Model bol následne vyexportovaný vo vhodnom formáte, ktorý bol použitý v programe flow5, kde bola vykonaná analýza aerodynamických charakteristík celkového lietadla. Pre lepšiu predstavu sme sa rozhodli pridať obrázky, ktoré reprezentujú simuláciu a analýzu lietadla.

Program flow5 dokáže vygenerovať pri zadaní vhodných vstupných parametrov, ako sú hmotnosť lietadla a pod., vztlakovú čiaru, poláru lietadla, závislosť pomeru C_L/C_D na uhle nábehu a mnoho iných.

Zo vztlakovej čiary lietadla je možné vyčítať letový stav s maximálnym uhlom nábehu $\alpha_{krit} = 20^\circ$, pri ktorom je maximálny súčiniteľ vztlaku najvyšší - $C_{Lmax} = 1,4$. Za kritickým uhlom nábehu nastáva pád lietadla. Maximálny súčiniteľ vztlaku celého lietadla v porovnaní s maximálnym súčiniteľom vztlaku profilov je značne menší, kvôli neprítomnosti rôznych odporov. Dôvodom, prečo sa nepretína vztlaková čiara v počiatku súradnicovej sústavy, môže byť kridlo namontované s kladným uhlom nastavenia voči rovine symetrie lietadla.

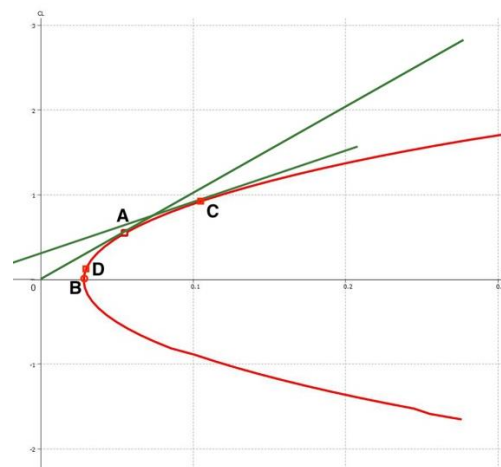


Obrázok 2: Vztlaková čiara lietadla. Zdroj: Autori.

Ďalšou z aerodynamických charakteristík, ktorá nám približuje letové stavy, je aerodynamická polára lietadla. Každý z bodov na aerodynamickej poláre reprezentuje závislosť C_L a C_D pri určitom uhle nábehu α . Aerodynamické poláry sa zisťujú pre lietadlá experimentálne v aerodynamických tuneloch. Na

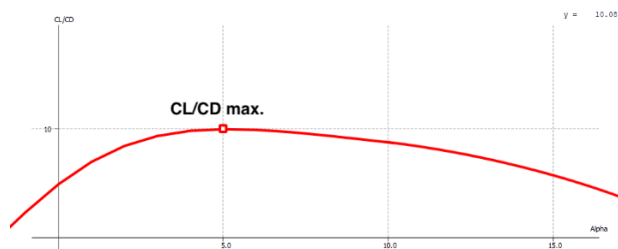
aerodynamickej poláre nášho lietadla sme sa rozhodli zvýrazniť nasledovné body:

- bod A – reprezentuje najlepšiu klízavosť (optimálnu rýchlosť letu),
- bod B – reprezentuje bod s nulovým vztlakom,
- bod C – predstavuje let s najmenším klesaním (ekonomická rýchlosť letu),
- bod D – predstavuje let s najmenším aerodynamickým odporom.



Obrázok 3: Aerodynamická polára lietadla. Zdroj: Autori.

Poslednou z aerodynamických charakteristík, ktorú sme sa rozhodli uviesť je závislosť aerodynamickej jemnosti na uhle nábehu. Najvyššiu aerodynamickú jemnosť bude lietadlo dosahovať pri pomere $C_L/C_D = 10$ a uhle nábehu 5° .

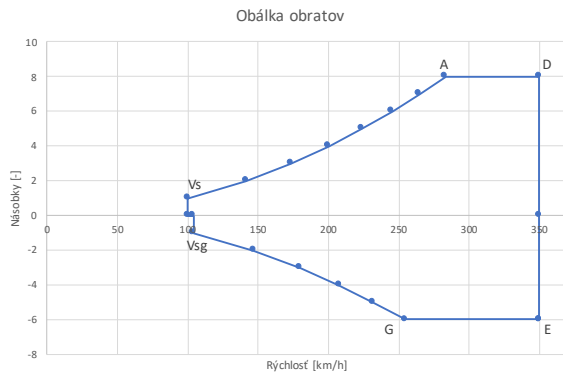


Obrázok 4: Aerodynamická jemnosť v závislosti na uhle nábehu. Zdroj: Autori.

5.1. Obálka obrátov

Z dôvodov zadania cvičného akrobatického lietadla, maximálne prevádzkové násobky zaťaženia boli stanovené na +8 a -6. Vzhľadom na fakt, že lietadlo bude viacej používané viacej pre výcvik, je možné očakávať, že lietadlo nebude dosahovať v bežnej prevádzke plný rozsah maximálnych násobkov zaťaženia. V prípade prevádzky, pri letoch súťažnej akrobacie, by mali byť maximálne prevádzkové násobky dostačujúce.

5.1.1. Zobrazenie obálky obrátov



Obrázok 5: Obálka obrátov cvičného akrobatického lietadla. Zdroj: Autori.

6. Záver

Bol navrhnutý samonosný celokovový dvojmiestny akrobatický lietadlo s malou časťou karosérie tvorenou kompozitnými materiálmi. Lietadlo je dolnoplošnej koncepcie s pevným podvozkom a ostrohovým kolesom. Rozpätie lietadla je 8,657 m, výška lietadla je 1,879 m, dĺžka lietadla je 7,019 m. Prázdna hmotnosť lietadla je 549 kg. Pri maximálnom obsadení pilotnej kabíny dvoma pilotmi spolu s batožinou, plnou akrobatickou nádržou spolu s plnými nádržami pre dolet je maximálna vzletová hmotnosť 846,2 kg. Plošné zaťaženie pri MTOW je 67,53 kg/m².

Pohonná jednotka, ktorú sme zvolili, produkuje 210 konských síl, čo pre akrobatické lietadlo nie je vysoký výkon, ale práve s týmto motorom môžeme doceliť ekonomickú prevádzku, ktorá by bola vhodná aj pre aerokluby a súkromných používateľov. V kapitole o pohonnej jednotke sme spomenuli unifikáciu draku, ktorá by dovoľovala remotorizovanie tohto lietadla s motormi s vyšším výkonom približne do 315 konských síl. Zvýšenie letových výkonov by bolo možné dosiahnuť premodelovaním kabíny lietadla, ktorá by sa dala vymeniť pri obsadení lietadla iba jedným pilotom, napríklad pri súťažných letoch.

V kapitole s názvom Charakteristika a technický návrh lietadla je detailne popísaná zamýšľaná konštrukcia jednotlivých lietadlových celkov spolu s podrobným popisom geometrických charakteristík. Pre dokonalú predstavu boli taktiež zostrojené náčrty spolu s podrobným okótovaním jednotlivých rozmerov. Pre zistenie polohy ťažiska a centráže v rôznych prípadoch bol vypracovaný schematický obrázok v programe Rhinoceros, ktorý nám umožnil aproximáciu ramien, na ktorých pôsobia jednotlivé položky v lietadle.

Posledná kapitola s názvom Aerodynamické charakteristiky a pevnostné výpočty bola spracovaná postupnosťou, kedy bol najprv vytvorený 3D model zhodný so skutočnými rozmermi, následne bol model vo vhodnom formáte vložený do viacerých programov, ktoré dovoľujú simuláciu aerodynamického tunela. Z týchto simulácií sme zistili požadované parametre, ako sú súčinitele odporu a vztlaku, ktoré boli použité v nasledujúcich výpočtoch pre návrhové rýchlosti určené predpisom CS-23. Po vypočítaní návrhových rýchlostí bola v kombinácii s maximálnymi násobkami zaťaženia zostrojená obálka obrátov. Poslednou podkapitolou s názvom Pevnostné výpočty je ukončená diplomová práca, kde boli vypočítané maximálne

posúvajúce sily spolu s ohybovými momentami v normálovej a tangenciálnej zložke.

Výsledkom je koncepčný návrh akrobatického lietadla, ktorý slúži ako idea pre jeho možný vznik. Trend zavádzania automatizácie, ktorá ma za následok strácanie elementárnych pilotných vlastností, je neprípustný. Pilot musí byť schopný identifikovať a dokázať riadiť lietadlo v akejkoľvek polohe. Toto lietadlo by bolo vhodné používať pri výcviku dopravných pilotov vo forme UPRT výcviku, základného a pokročilého výcviku akrobacie. Dôležitosťou pri návrhu lietadla je dbanie na široké využitie lietadla, čím bude dosiahnutá úspešnosť projektu.

Referencie

- [1] A. J. Jackson, De Havilland Aircraft since 1909, 1987.
- [2] „Plane Encyclopedia,“ 29 Jún 2017. [Online]. Available: <https://plane-encyclopedia.com/ww2/nazi-germany/focke-wulf-fw-44-stieglitz/>.
- [3] Boeing, 2020. [Online]. Available: <https://www.boeing.com/history/products/stearman-kaydet-trainer.page>.
- [4] Aircraft Owners and Pilot Association, 2003. [Online]. Available: <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2003/june/pilot/de-havilland-dhc-1-chipmunk>.
- [5] J. Volejník, Zlínske letectví, 2009.
- [6] Aircraft Owners and Pilots Association, 2021. [Online]. Available: <https://www.aopa.org/go-fly/aircraft-and-ownership/aircraft-fact-sheets/aviat-pitts-s2b>.
- [7] Yak UK Ltd, 2005. [Online]. Available: http://www.yakuk.com/YAK52_AAN.doc.
- [8] EASA, 2011. [Online]. Available: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EAS-A-TCDS-A.362_EA300_series-07-08092013.pdf.
- [9] All the World's Aircraft, 2021. [Online]. Available: <http://janes.migavia.com/rus/sukhoi/su-29.html>.
- [10] EASA, 2015. [Online]. Available: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TCDS%20A.507%20issue%206.pdf>.
- [11] Game Composites, 2021. [Online]. Available: <https://gamecomposites.com/gb1/>.

THE ASSESSMENT OF THE CATCHMENT AREA OF ŽILINA AIRPORT IN TERMS OF INBOUND TOURISM

VYHODNOTENIE SPÁDOVEJ OBLASTI LETISKA ŽILINA Z HĽADISKA AKTÍVNEHO CESTOVNÉHO RUCHU

Alžbeta Kohútová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
kohutova12@stud.uniza.sk

Antonín Kazda
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
kazda@fpedas.uniza.sk

Abstract

The aim of the paper is to assess the catchment area of Žilina Airport in terms of inbound tourism, to consider the possibilities of its further development, and to assess potential traffic flows. The first chapter is devoted to the evaluation of current state and accessibility of the region within the realm of air travel. The second chapter describes the acquired theoretical knowledge about tourism which served as a basis for the Žilina Airport catchment area specification, as well as for defining activities, organisations and facilities crucial for the development of inbound tourism in the area. Another part of the final paper is a short questionnaire which details the interest of spa facilities in the airport catchment area to attract groups of clients who utilised air travel. The results obtained from the questionnaire served as a basis for the last chapter which describes potential customers and traffic flows.

Keywords

inbound tourism, catchment area, Žilina Airport, spa industry

1. Úvod

Spádová oblasť letiska Žilina má v rámci cestovného ruchu mimoriadny potenciál. Atraktívna ponuka národných parkov a ich prírodných krás, množstva lyžiarskych stredísk, kúpeľných zariadení, pamiatok s kultúrno-historickým potenciálom, hradov, zámkov a podujatí ročne priťahuje množstvo domácich aj zahraničných návštevníkov. Tí však majú v súčasnosti na dosiahnutie územia oblasti k dispozícii len pozemnú dopravu. Dôvodom je momentálna absencia prítomnosti leteckého spojenia na letisku Žilina, ktorá by prispela k zvýšeniu počtu zahraničných návštevníkov. Dôležitým krokom k rozvoju aktívneho cestovného ruchu v spádovej oblasti letiska Žilina je vytvorenie lákavej ponuky atrakcií, ktorá je svojím potenciálom schopná osloviť a presvedčiť zahraničnú klientelu, a následne na ňu nadviazať leteckým spojením. Rozsah zahraničných krajín je však v súčasnej dobe obmedzený v dôsledku krátkej vzletovej a pristávacej dráhy na letisku v Žiline. Cieľom tejto diplomovej práce je posúdenie možnosti prilákať klientov zo zahraničia hlavnou atraktivitou spádovej oblasti, za ktorú považujeme kúpeľný cestovný ruch. Práve kúpeľníctvo je spojené s pomerne vysokým podielom turistov zo zahraničia, ktorí sú súčasťou aktívneho cestovného ruchu, a mohli by tak tvoriť zdrojový trh pre budúci rozvoj miestneho letiska. Situáciu ohľadom aktívneho cestovného ruchu a leteckej dopravy komplikuje aj pretrvávajúca pandémia COVID-19, ktorá v značnej miere ovplyvňuje ich ďalší rozvoj.

2. Zhodnotenie doterajšieho vývoja a súčasného stavu zabezpečenia dostupnosti územia kraja leteckou dopravou

Letisko Žilina (ICAO kód – LZZI, IATA kód – ILZ) je medzinárodným verejným letiskom, ktoré zabezpečuje dopravnú obsluhu severozápadnému regiónu Slovenska. Nachádza sa v katastrálnom území obcí Dolný Hričov a Kotešová, zhruba 13 km od mesta Žilina.

Vývoj výkonov letísk za určité obdobie charakterizujú jednotlivé prevádzkové ukazovatele. Medzi ne patrí počet cestujúcich, počet pohybov lietadiel, pristátia lietadiel a odbavený náklad. V prípade tejto práce boli sledované výkony za obdobie 2013 – 2019. Vývoj výkonov letiska Žilina zodpovedá charakteru leteckého využitia a dĺžke RWY. Na celkový počet pohybov na letisku závažne vplyvajú cvičné lety spojené s pilotným výcvikom študentov LVVC (až 80 %).

Prevádzkové ukazovatele ako počet cestujúcich, počet pohybov lietadiel a pristátia lietadiel vykazujú za sledované obdobie kolísavú tendenciu, avšak v roku 2019 hodnoty pozorovaných prevádzkových ukazovateľov viditeľne klesli. K značnému poklesu odbavených cestujúcich pri obdobnom počte pohybov lietadiel a ich pristátí prispelo hlavne ukončenie prevádzky pravidelnej linky leteckej spoločnosti ČSA Praha – Žilina v roku 2012. Výsledkom je najmä to, že tieto ukazovatele prevádzkových výkonov letiska sú tvorené všeobecným letectvom (výcvikové lety/obchodné lety/aerotaxi). Ukončením prevádzky tejto linky ich počet mierne stúpol, a to na základe

určitého počtu cestujúcich, ktorí sa presunuli z využívania pravidelnej obchodnej leteckej dopravy na službu aerotaxi.

Prevádzku letiska v roku 2020 výrazne ovplyvnila globálna pandémia COVID-19, ktorej vplyvom len za obdobie marec – máj 2020 klesli oproti predošlému roku prevádzkové výkony o 50 % [1]. Ide najmä o lety týkajúce sa leteckého výcviku najväčšieho užívateľa letiska, LVVC, a to kvôli jeho pozastavenej vzdelávacej činnosti. Utrpel však i segment všeobecného letectva výsledkom zákazu vykonávania civilných letov uskutočňovaných zo zahraničia s prístátím na našom území. Logickým následkom tejto situácie je okrem poklesu prevádzkových výkonov aj pokles letiskových tržieb.

3. Určenie spádovej oblasti letiska Žilina pre aktívny cestovný ruch

3.1. Definícia spádovej oblasti letiska

Spádová oblasť (SO) letiska je oblasť v okolí letiska, ktorá je nejakým spôsobom zaujímavá pre skupiny potenciálnych cestujúcich. Reprezentuje určité geografické územie krajiny, ktorého poskytované služby a zaujímavosti sú schopné prilákať domácich i zahraničných návštevníkov. Oblasť je dosiahnuteľná cestujúcimi v čase, ktorý pre nich nie je vnímaný ako prekážka, a sú ochotní podstúpiť cestu. Na stanovenie SO je nutné určiť si centrum, vzhľadom ku ktorému sa bude vymedzená SO viazať. Súčasne, z perspektívy konečného spotrebiteľa stanovuje SO trhový potenciál letiska.

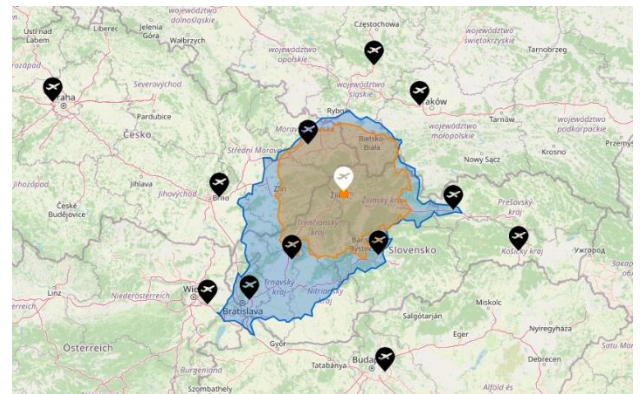
Jej veľkosť závisí od niekoľkých faktorov vrátane geografických a prístupových hľadísk, ale aj blízkosti alternatívnych letísk. Medzi tie najdôležitejšie patrí:

- dopravná dostupnosť,
- ponuka letov a destinácií,
- kapacita (počet sedadiel),
- frekvencia letov,
- obchodný model letiska,
- možnosti spojov verejnej dopravy,
- druhy letov,
- prítomnosť nízko nákladových leteckých spoločností na blízkych konkurenčných letiskách,
- počet obyvateľov v okolí,
- segmenty cestujúcich [2] [3].

3.2. Vymedzenie spádovej oblasti letiska Žilina

V prípade tejto práce je za centrum riešenej SO považované letisko Žilina, resp. obec Dolný Hričov. Cieľom práce je posúdiť SO letiska Žilina z pohľadu aktívneho cestovného ruchu. V prvom kroku je potrebné SO definovať. Za ideálneho stavu, t.j. v prípade prítomnosti vhodnej ponuky pravidelných letov, ktoré by zároveň boli konkurencieschopné, rovnako ako aj dopravnej dostupnosti vybraného územia s priamym napojením z diaľnice D1 do areálu letiska, pod SO letiska Žilina patrí prevažná časť ŽSK spolu s časťou Považia. Pri vymedzení oblasti

dvojhodinovou dopravnou dostupnosťou individuálnou automobilovou dopravou by mal jej populačný potenciál hodnotu zhruba 6,3 milióna obyvateľov. Pri zvolenej časovej dostupnosti dve hodiny spadá do oblasti letiska okrem Žilinského a Trenčianskeho samosprávneho kraja taktiež časť Trnavského, Bratislavského, Nitrianskeho i Banskobystrického. Zo zahraničných krajín zasahuje v Českej republike do oblasti východnej časti Moravy a na juhu Poľska sem patrí Sliezske a Malopoľské vojvodstvo. Takáto SO je znázornená na Obrázku 1, pričom modrou farbou je zobrazené územie dosiahnuteľné pozemnou dopravou do dvoch hodín a oranžovou farbou územie nachádzajúce sa vo vzdialenosti do 100 km.



Obrázok 2: Spádová oblasť letiska Žilina. Zdroj: Autori.

4. Definovanie aktivít, organizácií a zariadení rozhodujúcich pre rozvoj aktívneho cestovného ruchu

Atraktivita turistických cieľov často pramení z ich prírodných zdrojov, akými sú prírodné krásy či miestna kultúra v kombinácii s vytvorenou infraštruktúrou vrátane reštaurácií, hotelov, nákupných centier či zábavných podnikov. Tieto prvky sú veľakrát prepojené. Prírodné zdroje môžu predstavovať „hardware“ turizmu a byť základom pre rozvoj infraštruktúry napr. v podobe lyžiarskych stredísk, kúpeľníctva alebo ekoturistiky. Túto infraštruktúru možno integrovať do prírodných zdrojov alebo miestnej kultúry, aby sa vytvorili synergie simulujúce dopyt turistov ešte viac [4].

4.1. Aktivity cestovného ruchu

Územie Žilinského kraja je významné svojou rôznorodosťou štruktúry krajiny. Tá sa vyznačuje úrodnými nivami vodných tokov ako sú Váh, Orava, Kysuca či Turiec, poľnohospodárskym, lesným, ale aj vysokohorským reliéfom. Ten tvoria hrebeňové pásma pohorí Západných a Nízkych Tatier, Chočských a Strážovských vrchov, Veľkej a Malej Fatry, a rovnako aj Javorníky. Jedná sa tak poväčšine o hornatú krajinu, ktorej podiel ornej pôdy je veľmi nízky.

Práve toto atraktívne prostredie vyskytujúcej sa prírody sa naozaj mimoriadne podieľa na rozvoji turistiky, zimných či vodných športov. Medzi konkrétne lákavé miesta vhodné na zimné športy možno zaradiť Beskydsko-Javornícku lyžiarsku bežeckú magistrálu, Ski Makov, Ski Zábava Hruštín, Winter Park Martinky, Ski PARK Kubínska Hoľa, Snowparadise Veľká Rača-Oščadnica, Roháče Spálená, Jasná-Nízke Tatry alebo Vrátna Free Time Zone [5].

Obľúbenými turistickými cieľmi oblasti sú vrch Kriváň vo Vysokých Tatrách, Ohnište v Jánskej doline, náučné chodníky Čutkovskou, Kvačianskou a Prosieckou dolinou alebo Ďumbier v Nízkych Tatrách. Územie však ponúka aj ďalšie prírodné atraktivity ako Veľký Choč na hranici Liptova a Oravy, Fačkovské sedlo, Kľak v Rajeckej doline, Babiú horu spadajúcu pod Oravské Beskydy, Súľovské skaly neďaleko Bytče, či snád' najpopulárnejšiu sústavu kaňonov a tiesňav tejto oblasti – Jánošíkove diery [5].

Súčasťou krásnej prírody regiónu sú aj plesá, vodopády či vodné nádrže. Radiť sa sem môže Vrbické pleso v Nízkych Tatrách, Roháčske plesá v Roháčskej doline, vodná nádrž Košiare, Liptovská Mara, Brankovský vodopád v Nízkych Tatrách alebo Šútovský vodopád v Malej Fatre. Outdoorové aktivity sú často návštevníkmi spájané s rozľadňou Terchovské srdce, Bike Parkom Malinó Brdo, Golf Parkom Rajec, príp. Ferratou HZS [5] [6].

Oblasť kraja je bohatá na prítomnosť národných parkov – nachádzajú sa tu Národný park Veľká Fatra, Národný park Malá Fatra, Národný park Nízke Tatry a Tatranský národný park. Pod územie kraja spadajú aj tri chránené krajinné oblasti – Horná Orava, Kysuce a Strážovské vrchy. Štatistický úrad taktiež uvádza, že sa tu okrem iného vyskytuje i 57 národných prírodných rezervácií, 40 prírodných pamiatok, 38 prírodných rezervácií, 18 národných prírodných pamiatok, 17 chránených areálov a 7 chránených vtáčích území [6].

Žilinský región je známy výskytom minerálnych či termálnych prameňov, a práve tento fakt láka do regiónu čoraz viac návštevníkov, ktorí sa podieľajú na rozvoji tejto oblasti a s ňou spojeného cestovného ruchu. Tunajšie kúpele možno považovať za kúpele s medzinárodným významom. V súlade s faktormi priamo vplývajúcimi na SO sem patria liečebné kúpele Bojnice, Trenčianske Teplice, Nimnica, Rajecké Teplice, Turčianske Teplice, Lúčky a Liptovský Ján.

Okrem kúpeľov je nutné spomenúť aj geotermálne vrty nachádzajúce sa v Strážňavách, Rajci, Oraviciach, Bešeňovej či Liptovskom Jáne [6]. Medzi slovenskými ale aj zahraničnými návštevníkmi sú veľmi populárne aquaparky a thermalparky plné vodných atrakcií i oddychových zariadení rôznych cenových úrovní. Pod SO letiska patria napr. AquaRelax Dolný Kubín, Terchovec Terchová, Aquapark Bešeňová, Tatralandia Liptovský Mikuláš, Spa & Aquapark Turčianske Teplice či Thermal & Ski Resort Meander Oravice.

Kultúrno-historický potenciál regiónu ho spomedzi ostatných regiónov Slovenska radí medzi jeden z najvýznamnejších. Hostia, ktorí územie kraja navštívili v období roka 2019, mali na základe štatistického úradu k dispozícii 10 divadelných scén, 11 galérií spolu s ich pobočkami, 40 múzeí či 237 slúžiacich knižníc. Rozsiahle bohatstvo v podobe kultúrnych pamiatok láka obrovské množstvo domácich i zahraničných návštevníkov. Medzi najatraktívnejšie z nich patrí určite najzachovalejšia rezervácia ľudovej architektúry v Slovenskej republike – Vlkolínec, či Kostol Všetkých svätých v Tvrdošíne, obe zapísané aj do zoznamu kultúrneho dedičstva UNESCO. Obľúbenými sú aj ojedinelé objekty ľudovej architektúry v Čičmanoch, kontaktná zoo na Liptove s názvom Zoo Kontakt, skanzen a lesné železničky vo Vychylovke či Oravskej Lesnej, ale aj drevený betlehem v Rajeckej Lesnej. V Martine sú to Slovenské národné múzeum a prvá budova Maticy slovenskej [5] [7].

K lákadlám nie len oblasti, ale aj celej Slovenskej republiky, patrí i veľký počet zrúcanín, zámkov a hradov. Radia sa k nim Hričovský, Súľovský, Blatnický, Sklabinský, Liptovský, Znievsky, Budatínsky, Lietavský, Oravský, Strečno, Likava, Trenčiansky, Beckovský, Čachtický alebo Vršatec. Populárne je i pltníctvo na Váhu a Orave, či neustále pribúdajúce vyhlídkové veže a rozhľadne. Územie pozostáva aj z pomerne veľkého bohatstva jaskýň – vyskytuje sa tu Demänovská jaskyňa slobody, Demänovská ľadová jaskyňa, Važecká jaskyňa, Stanišovská jaskyňa, Brestovská aj Pružinská dúpna jaskyňa. Múzea sídlia v Zuberici, Liptovskom Hrádku, Turzovke, Žiline, Martine či Pribyline. V oblasti sa pre lepšie pochopenie minulosti krajiny či územia domácimi i zahraničnými turistami nachádzajú aj pamätne domy významných osobností, expozície, rôzne kostoly, kaplnky, kaštiele či galérie [5].

Veľké množstvo kultúrnych pamiatok dopĺňajú pre návštevníkov aj obľúbené podujatia, ktoré sa uskutočňujú v tejto oblasti. Môže sa sem radiť napr. najväčšie kultúrne podujatie nie len Žiliny, ale aj severného Slovenska – Staromestské slávnosti. Popularite sa tešia aj folklórne slávnosti vo Východnej, Podroháčske folklórne slávnosti, Jánošíkove dni v Terchovej, druhý najstarší maratón Slovenska – Kysucký maratón, prehliadka profesionálnych slovenských divadiel s názvom Dotyky a spojenia v Slovenskom komornom divadle v Martine, ale aj festivaly pre nadšencov rôznych hudobných žánrov – Terchovský budzogaň, Allegretto Žilina a Liptov Fest [5] [7].

4.2. Organizácie v aktívnom cestovnom ruchu

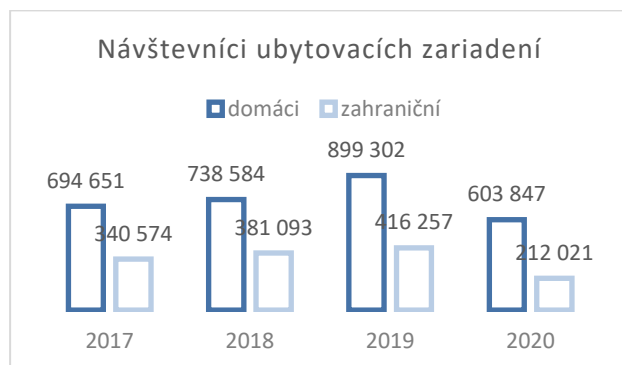
Na Slovensku, po zrušení Slovenskej agentúry pre cestovný ruch, zabezpečujú činnosti spojené s propagáciou krajiny a jej cestovného ruchu Ministerstvo zahraničných vecí a európskych záležitostí Slovenskej republiky, Ministerstvo dopravy a výstavby Slovenskej republiky, turistické informačné centrá, cestovné kancelárie a Zväz cestovného ruchu Slovenskej republiky. V nadväznosti na zrušenie Slovenskú agentúru pre cestovný ruch sa k spomenutým subjektom cestovného ruchu od 1. 4. 2021 pripojila aj nová agentúra Slovakia Travel [8]. Jej cieľom je prebrať všetku činnosť spojenú s podporou a rozvojom turizmu Slovenska, analyticky hodnotiť jeho efekty, ale aj zastrešiť a nadviazať na súčasné regionálne štruktúry. Tými sú krajské a oblastné organizácie cestovného ruchu (OCR). Cieľom týchto OCR je zvyčajne podpora a neustály rozvoj turizmu na národnej úrovni. Podniky aj subjekty, ktoré s podnikaním priamo nesúvisia, často medzi sebou interagujú a tvoria združenia, zväzy, klastre či siete podnikov cestovného ruchu [9].

V prípade ŽSK ide o OCR s názvom Krajská organizácia cestovného ruchu Žilinský turistický kraj (KOCR ŽTK), ktorá okrem ŽSK združuje šesť oblastných organizácií cestovného ruchu (OOCR). Konkrétne ide o OOCR Rajecká dolina, OOCR Klaster Orava, OOCR Región Liptov, OOCR Malá Fatra, OOCR Organizácia cestovného ruchu Kysuce a OOCR Turiec [10].

4.3. Štruktúra zahraničných návštevníkov

Aktivita KOCR ŽTK prostredníctvom presstriпов, medziregionálnych spoluprác, kvalitnej marketingovej propagácie, účasti na veľtrhoch a výstavách, a v nadväznosti na širokú a lákavú ponuku unikátnych prírodných atrakcií, športov, podujatí, ale aj kultúrnych pamiatok, je skutočne pretavená aj do výsledkov. O tom, že to mal KOCR ŽTK v období pred začatím

pandémie naozaj pomerne dobre rozbehnuté, svedčia údaje vyobrazené v *Grafe 1*, z ktorého možno odčítať každoročný nárast domácich i zahraničných návštevníkov.



Graf 1: Návštevníci ubytovacích zariadení ŽSK za obdobie 2017 – 2020. Zdroj: Autorské spracovanie podľa [7].

Oblasť Žilinského kraja bola v roku 2019 najväčším lákadlom zväčša pre zahraničných návštevníkov pochádzajúcich z okolitých krajín. Jedným z dôvodov tejto skutočnosti je aj nedostatočná dopravná dostupnosť kraja týkajúca sa leteckej dopravy. Za významný činiteľ sa dá považovať najmä blízkosť hraníc, ktorá v spojení s dobrým pozemným dopravným napojením, aktívnou spoluprácou kraja s regiónmi a zastupiteľmi médií má za následok, že nadpolovičná väčšina návštevníkov v roku 2019 pochádzala z Českej republiky, u ktorej je návštevnosť výrazne ovplyvnená aj našou spoločnou históriou, a za ktorou nasleduje Poľsko. Výnimkou medzi okolitými krajinami sú návštevníci z Nemecka. Je možné predpokladať, že časť tohto segmentu návštevníkov je historicky prepojená na turizmus spred roka 1989, a teda pochádza z bývalého Východného Nemecka, príp. ide o potomkov týchto občanov. Dôvodom ich návštev môže byť to, že na územie ŽSK jazdili už v minulosti, alebo jednoducho skutočnosť, že sa Nemci ako národ prirodzene zaujímajú o iné krajiny. S podielom 4 % sa v roku 2019 ubytovali obyvatelia Maďarska a Ukrajiny. Aj v tomto prípade možno tvrdiť, že je táto hodnota výsledkom blízkosti hraníc, presstrihov, účasti na veľtrhoch, spolupráce a dobrého pozemného dopravného napojenia. Žilinský kraj však svojou atraktivitou a spomínanou aktivitou v oblasti aktívneho turizmu na svoje územie priťahuje aj návštevníkov zo vzdialenejších krajín. Deje sa to i napriek tomu, že v súčasnosti neexistuje s krajom žiadne priame letecké dopravné napojenie. Z oblasti Blízkeho východu na územie kraja prichádzali obyvatelia Izraela, Pobaltia z Litvy, a v porovnateľnom počte sa ubytovali návštevníci Rakúska, Ruska či Spojeného kráľovstva Veľkej Británie a Severného Írska.

4.4. Kúpeľný cestovný ruch

Nakoľko jedným z cieľov práce je na základe posúdenia aktivít pre rozvoj aktívneho cestovného ruchu v oblasti poskytnutie návrhu leteckého spojenia, riešenie sa spája s kúpeľným cestovným ruchom. Kúpeľný cestovný ruch bol v rámci riešenia problematiky práce zvolený z dôvodu, že je svojou kvalitou pre zahraničných návštevníkov mimoriadne lákavým a cenovo

prístupným segmentom, ktorý vytvára ďalšie príležitosti pre domáci i zahraničný cestovný ruch. Je využiteľný prakticky celoročne. Slovenská republika má v oblasti kúpeľníctva, kúpeľnej zdravotnej starostlivosti a existencie prírodných liečivých zdrojov mimoriadne bohatstvo, a taktiež z historického hľadiska bohatú tradíciu. Zaraďuje sa ku krajinám so zameraním na tradičné liečebné kúpeľníctvo s medicínskym zázemím [11]. Svoje miesto má aj v rámci kúpeľníctva Európy. Spolu s Nemeckom, Rakúskom, Českou republikou a Francúzskom patrí medzi päť najkvalitnejších európskych veľmocí v tejto oblasti. O slovenskom kúpeľníctve sa hovorí i na mnohých zahraničných veľtrhoch cestovného ruchu, čo je znakom, že je oň vo svete skutočne záujem.

5. Dotazník

Neobyčajný potenciál kúpeľných zariadení na území SO letiska Žilina spolu s chýbajúcimi dátami o štruktúre ich zahraničných návštevníkov slúžil ako podklad na vytvorenie krátkeho dotazníka. Dotazník sa zameriaval na kúpeľné zariadenia a týkal sa možnosti spolupráce segmentu kúpeľníctva s letiskom Žilina. Pojednával o určitej možnej kolaborácii cestovných agentúr, ktoré by sa mohli zamerať na organizáciu tohto druhu pobytov, a taktiež napomáhal k špecifikácii potenciálnych zákazníkov a dopravných prúdov, ktoré poskytujú riešenie problematiky práce. Práve táto spolupráca by mohla byť hnacím motorom pre potrebný rozvoj aktívneho cestovného ruchu letiskovej SO.

Cieľom dotazníka bolo zistenie záujmu zo strany kúpeľných zariadení smerom k organizovaným skupinám klientov zo zahraničia uskutočňovaných leteckou dopravou.

5.1. Výsledky dotazníka

Zo všetkých šiestich oslovených kúpeľných zariadení zareagovalo na dotazník ohľadom novej spolupráce s letiskom Žilina a bolo ochotných spolupracovať, všetkých šesť zariadení.

Na prvú otázku dotazníka „Mali by ste záujem o organizované skupiny klientov s leteckou dopravou zo zahraničia napr. Nemecko, Pobaltské štáty, Ukrajina, Srbsko, Poľsko – Varšava a sever? Poznámka: Rozsah krajín je v súčasnosti obmedzený z dôvodu krátkej vzletovej a pristávacej dráhy letiska Žilina a tým doletu lietadiel.“ odpovedali všetky spolupracujúce kúpeľné zariadenia kladne. Z tejto odpovede možno usúdiť, že kúpeľné zariadenia sú skutočne otvorené a dbajú aj na zahraničnú klientelu, ktorá je pre ne rovnako atraktívna, ako domáca.

Druhá otázka sa týkala perspektívy ponúkaných zahraničných trhov a znela „Ak áno, ktoré z uvedených krajín považujete z vášho pohľadu za najperspektívnejšie?“. Oslovené zariadenia prejavili rovnomerný a zároveň najväčší záujem o klientelu z Nemecka, Pobaltských štátov a Poľska.

V poradí treťou otázkou bola „Ak áno, aké veľké skupiny a aké turnusy považujete za optimálne?“. Na prvú časť otázky odpovedali zariadenia rôzne. Počet osôb v jednotlivých organizovaných skupinách sa na základe odpovedí pohyboval v rozmedzí približne 20-50 ľudí. V druhej časti otázky by zariadeniam vyhovovala možnosť uskutočňovať takéto organizované zájazdy mimo sezóny. To znamená, že v kúpeľnom cestovnom ruchu sa jedná o zimné mesiace, konkrétne o obdobie november – december, január – marec.

V poslednej, štvrtej otázke dotazníka „Akým spôsobom by ste sa mohli podieľať na propagácii vášho zariadenia na zahraničných trhoch (prostredníctvom marketingových kampaní v médiách, mailov/newsletterov, výstav, spoluprác so zdravotnými poisťovňami...)?“ bola pozornosť upriamená na spôsob marketingu novej budúcej spolupráce. Zariadenia súhlasili aj s vopred ponúknutými možnosťami, svoje odpovede však doplnili aj o vlastné nápady, čím sa škála ešte zväčšila. Väčšina zariadení v dotazníku odpovedala, že ich propagácia by smerovala skôr do online priestoru. Tento spôsob marketingu ide v súčasnosti pomerne do popredia, a túto skutočnosť si uvedomujú aj oslovené zariadenia, nakoľko týmto spôsobom je možné osloviť naozaj obrovské množstvo potenciálnych klientov. Zariadenia však nevylúčili ani klasickú formu priamej propagácie na zahraničných výstavách. Celkovo je možné zhodnotiť, že zariadenia by marketing týkajúci sa pobytov organizovaných skupín zahraničných klientov rozhodne nepodcenili, práve naopak, aktívne by sa na ňom podieľali a svoje nástroje na propagáciu by vhodne využili.

6. Špecifikácia potenciálnych zákazníkov a dopravných prúdov

Rozvoj aktívneho turizmu SO letiska Žilina sa do budúcnosti nezaobíde bez nadviazania ponuky pravidelných alebo charterových leteckých spojení. Tie sú verejnosťou postrádané najmä od zrušenia pravidelnej linky na trase Praha – Žilina. V spojitosti s kúpeľnými zariadeniami, ktoré táto práca považuje za hlavnú atraktivitu aktívneho turizmu v oblasti, je prvotne nutné vytvoriť kolaboráciu medzi subjektmi cestovného ruchu, napr. cestovnými kancelárkami a letiskom.

Letisko ako poskytovateľ infraštruktúry pre letecké služby môže hrať kľúčovú úlohu pri podpore rozvoja aktívneho cestovného ruchu cieľovej destinácie, a tiež bude dôležitým účastníkom ich OCR. Okrem vytvárania vzťahov s leteckými spoločnosťami môže letisko ťažiť aj zo spolupráce so zmienenými zainteresovanými stranami v oblasti cestovného ruchu. Tento krok zo strany letiska môže byť považovaný za dôležitú súčasť svojich vlastných činností v odvetví rozvoja trás.

Podobne dôležitá je pri vytváraní nových dopravných prúdov i spolupráca OCR s leteckými spoločnosťami. Samozrejme, letecké spoločnosti čoraz viac považujú úsilie v tejto oblasti za najúspešnejšie, keď dochádza k spolupráci všetkých troch kľúčových zainteresovaných strán: leteckých spoločností, letísk a zúčastnených strán v oblasti turizmu. kľúčom k úspechu takýchto partnerstiev sú spoločné ciele, jasná spoločná stratégia, rovnosť medzi partnermi, životnosť partnerstva, jednotný prístup k leteckým spoločnostiam a cestovným kanceláriám, a z pohľadu OCR by malo existovať skutočné pochopenie trhu a potrieb zákazníkov leteckých spoločností a cestovných kancelárií. Nesmie sa však zabudnúť ani na neustále zlepšovanie poskytovaných služieb, ktoré udrží oblasť konkurencieschopnú a rovnako je dôležitá aj spätná väzba od zahraničných klientov, ktorá pomôže pochopiť ich potreby a požiadavky, ako aj ďalšie smerovanie turizmu v SO.

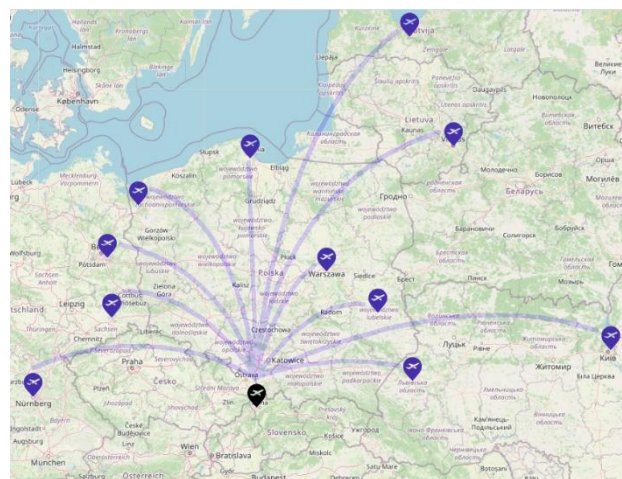
Kódové označenie letiska v Žiline 2C limituje vzlety a pristátia lietadiel s rozpätím krídel väčším ako 36 m, či s vonkajším rozchodom kolies hlavného podvozka väčším ako 9 m. Problémom je súčasná dĺžka RWY, ktorá má hodnotu 1150 m, a teda jej stav obmedzuje prevádzku len na určité typy turbopropových, príp. niektorých typov prúdových lietadiel.

Z hľadiska tejto problematiky je v *Tabuľke 1* uvedený zoznam niekoľkých regionálnych typov lietadiel, ktorými by sa potenciálne spojenia na letisko v Žiline mohli vykonávať či už bez, alebo s určitými obmedzeniami.

Tabuľka 4: Vhodné typy lietadiel na prevádzku na letisku Žilina. Zdroj: Autori.

Typ	Sedadlová kapacita	Aktuálny stav
ATR 42-500/600	48-50	vyhovuje ✓
DORNIER 228/328	19-33	vyhovuje ✓
DASH-8 Q400	78	vyhovuje s obmedzeniami !
SAAB 340/2000	34-58	vyhovuje s obmedzeniami !
BEECHCRAFT 1900	19	vyhovuje s obmedzeniami !
BRITISH AEROSPACE BAe 146-100/200/300	70-112	vyhovuje s obmedzeniami !

Krátka RWY obmedzuje u vyššie uvedených typov lietadiel platiace zaťaženie a/alebo ich dolet. Práve na základe obmedzeného doletu boli v dotazníku ponúknuté len vybrané krajiny. Ako najlepšie možnosti sa pre kúpeľné zariadenia ukázali Nemecko, Pobaltské štáty a Poľsko. Polovicu z oslovených zariadení však zaujala aj Ukrajina z čoho vyplýva, že aj táto krajina má potenciál pri návrhu leteckého spojenia. Návrh všetkých spomenutých dopravných prúdov pre lepšiu predstavu zobrazuje *Obrázok 2*.



Obrázok 3: Návrh dopravných prúdov. Zdroj: Autori.

Predpokladom k nastaveniu frekvencie potenciálnych dopravných prúdov by mali byť odpovede zariadení v dotazníku týkajúce sa optimálnych turnusov. Nakoľko sa liečebné procedúry odporúčajú v trvaní najmenej týždeň, tomuto faktoru by mali byť prispôbené aj letecké linky. Na úvod by sa dalo uvažovať o spojení s niektorou z vybraných krajín vo frekvencii

raz týždenne. Ideálnym dňom, keby by návštevníci do destinácie prichádzali, by mohla byť nedeľa. Ak by sa daná linka na konci sezóny javila ako úspešná a záujem zo strany návštevníkov by rástol, v budúcej sezóne by na ňu mohla nadviazať ďalšia. Frekvencia letov by mohla byť doplnená o deň v pracovnom týždni, napr. o štvrtok, kedy by sa ponuka rozšírila aj pre víkendových návštevníkov. Vyhovovať by mohla však aj určitej skupine účastníkov kongresového cestovného ruchu.

7. Záver

Existencia a strategicky výhodná poloha letiska Žilina umožňuje ďalší rozvoj aktívneho cestovného ruchu v jeho spádovej oblasti. Kombinácia množstva prírodných, kúpeľných, športových i kultúrno-historických atraktivít, ktoré toto územie ponúka, spolu s adekvátnou tvorbou, organizáciou a propagáciou atraktívnej ponuky pre zahraničnú klientelu zo strany subjektov pôsobiacich v cestovnom ruchu vytvárajú vhodné podmienky pre obnovenie spojov a zlepšenie aktuálnej situácie na letisku v Žiline.

Z odpovedí v dotazníku vyplynulo, že všetky kúpeľné zariadenia by aj napriek obavám z prevládajúcej pandemickej situácie boli naklonené k nadviazaniu spolupráce s cestovnými kancelárkami, a tým aj pripravené na príchod zahraničnej klientely. Štruktúra prevládajúcich zahraničných trhov bola vo všetkých zariadeniach podobná. Na výsledky dotazníkového prieskumu nadviazal návrh vhodných typov lietadiel, potenciálnych destinácií a frekvencií leteckých spojení. Kľúčom k úspechu takejto leteckej linky je spolupráca a záujem partnerov, spoločné ciele, jasná stratégia, včasný marketing a najmä pochopenie trhu a potrieb zákazníkov. K odporúčaniam práce pre budúci rozvoj letiska a aktívneho cestovného ruchu v oblasti patrí aj predĺženie vzletovej a pristávacej dráhy na letisku Žilina, ktorá by tak umožnila otvorenie nových zahraničných trhov, obnovenie leteckej prevádzky a tým aj zvýšenie počtu obchodných aj neobchodných cestujúcich v spádovej oblasti letiska.

Referencie

- [1] LSŽ, a. s., „Podnikateľský plán na rok 2020,“ 2020. [Online]. Available: https://www.zilinskazupa.sk/files/5-lsz_podnikatelsky-plan_2020.pdf. [Cit. 20 Január 2021].
- [2] Protimonopolný úrad SR, „Rozhodnutie,“ 14 August 2006. [Online]. Available: <http://www.antimon.gov.sk/data/att/1397.rtf>. [Cit. 2021 Február 10].
- [3] Transportation Research Board, „Defining Your Airport’s Catchment Area,“ 2021. [Online]. Available: <https://crp.trb.org/acrp0331/defining-your-airports-catchment-area/>. [Cit. 10 Február 2021].
- [4] T. Bieger a A. Wittmer, „Air transport and tourism— Perspectives and challenges for destinations, airlines and governments,“ *Journal of Air Transport Management*, zv. I, %1. vyd.12, pp. 40-46, 2006.
- [5] Žilinský turistický kraj, „Žilinský turistický kraj,“ 2021. [Online]. Available: <https://zilinskyturistickykraj.sk/>. [Cit. 20 Február 2021].
- [6] Štatistický úrad SR, „Žilinský kraj - charakteristika regiónu,“ 29 December 2020. [Online]. Available: https://slovak.statistics.sk/wps/portal/ext/themes/regional/zilinsky%20kraj/about/!ut/p/z1/jZFNb4JAEIZ_iweuuwPLsktvK41IQ6y4LOJeGjQUafgwSOXv1ovTVp0bpM875PJvFjjFOsmu5RF1pdtk1XjvtPOWxKu-XxuCVBZbEKwWkmV8Ig4jOHTFFB8sbRZCMBDn0IglmrjRoSAIFg_kod_RsBj-QIAT-u3WF-R.
- [7] Štatistický úrad SR, „Žilinský kraj v číslach 2020,“ 2020. [Online]. Available: https://slovak.statistics.sk/wps/portal/ext/themes/regional/zilinsky%20kraj/publications/!ut/p/z1/jZFNb4JAEIZ_iweuuwPLsktvK41IQ6y4LOJeGjQUafgwSOXv1ovTVp0bpM875PJvFjjFOsmu5RF1pdtk1XjvtPOWxKu-XxuCVBZbEKwWkmV8Ig4jOHTFFB8sbRZCMBDn0IglmrjRoSAIFg_kod_RsBj-QIAT. [Cit. 22 Február 2020].
- [8] Š. Kučera, „Cestovný ruch sa dočkal. Agentúra Slovakia Travel vznikne 1. apríla,“ 30 Marec 2021. [Online]. Available: <https://ekonomika.pravda.sk/ludia/clanok/582951-cestovny-ruch-sa-dockal-agentura-slovakia-travel-vznikne-1-aprila/>. [Cit. 14 Apríl 2021].
- [9] Ministerstvo dopravy a výstavby SR; Ministerstvo hospodárstva SR, „Postavenie NMS v cestovnom ruchu s ohľadom na súčasný vývoj v odvetví,“ 2020. [Online]. Available: http://monitoringmsp.sk/wp-content/uploads/2020/10/Postavenie-MSP-v-cestovnom-ruchu_final.pdf. [Cit. 6 Máj 2021].
- [10] Ministerstvo dopravy a výstavby SR, „Register organizácií cestovného ruchu,“ Január 2020. [Online]. Available: <https://www.mindop.sk/ministerstvo-1/cestovny-ruch-7/register-organizacii-cestovneho-ruchu/register-krajskych-organizacii-cestovneho-ruchu>. [Cit. 2 Máj 2021].
- [11] J. Kerekeš, „KÚPEĽNÍCTVO V CESTOVNOM RUCHU A WELLNESS,“ August 2018. [Online]. Available: https://www.avv.sk/wp-content/uploads/2018/08/3Kupel_miesta_wellness.pdf. [Cit. 10 Máj 2021].

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND INDIVIDUAL MODES OF TRANSPORT

POSUDZOVANIE ENVIRONMENTÁLNYCH DOPADOV DOPRAVNEJ INFRAŠTRUKTÚRY A JEDNOTLIVÝCH DRUHOV DOPRÁV METÓDOU ŽIVOTNÉHO CYKLU

Kristína Kováčiková

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Kovacikova33@stud.uniza.sk

Antonín Kazda

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
kazda@fpedas.uniza.com

Abstract

The paper is focused on the assessment of the environmental impacts of transport infrastructure and individual types of transport using the life cycle assessment method. The paper contains a description of the basic terminology of the problem related to transport, the environment and methods of environmental impact assessment. The paper contains analysis on monitoring carbon dioxide emissions from a global perspective as well as from a regional perspective focused on Slovakia. The aim of the paper is to create a proposal for the assessment of environmental impacts of transport infrastructure, in the form of specification of areas of assessment for selected types of transport with a focus on carbon dioxide emissions. Using the knowledge and principles of the life cycle method, a proposal for relevant indicators and a proposal for a comprehensive assessment of the impacts of selected types of transport, focused on carbon dioxide emissions, is created in the paper.

Keywords

Life cycle assessment, Environment, Transport infrastructure, Transport, Carbon dioxide emissions

1. Úvod

Životné prostredie je ovplyvňované činnosťou človeka, vo väčšine prípadov ide o priame, či nepriame negatívne zásahy, vplyvom rozvoja priemyslu, dopravy, energetiky, poľnohospodárstva. Preto sa stáva čoraz viac diskutovanou témou ochrana životného prostredia najmä eliminácia nepriaznivých dopadov na znečistenie ovzdušia, znečistenie vôd, eutrofizáciu vody, ohrozenie pôdy.

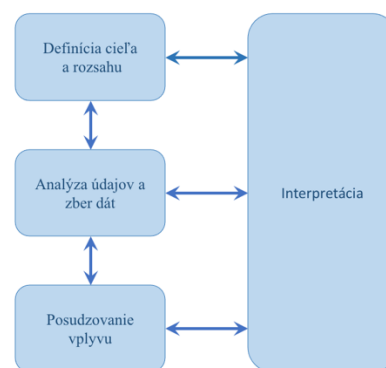
Jedným zo sektorov hospodárstva, ktorý ovplyvňuje životné prostredie je doprava. Znečisťovanie ovzdušia emisiami z dopravy prispieva ku celosvetovým environmentálnym problémom. V súčasnosti sú k dispozícii viaceré metódy pre posúdenie vplyvu na životné prostredie, no nepokrývajú celý životný cyklus. Pri posudzovaní vplyvu na životné prostredie je výhodná metóda posudzovania životného cyklu (LCA), ktorá berie do úvahy celý životný cyklus.

2. Metóda životného cyklu

Metóda posudzovania životného cyklu porovnáva environmentálne vplyvy produktov, výrobkov alebo služieb s ohľadom na ich životný cyklus. Metóda uvažuje so všetkými emisiami, do všetkých zložiek životného prostredia, počas výroby, používania aj zneškodňovania produktu. [1] Zahŕňa aj procesy získavania surovín, výroby materiálov a energie, pomocné procesy a subprocesy. Metódu posudzovania životného cyklu je možné definovať ako zhromažďovanie a

vyhodnocovanie vstupov, výstupov a dopadov na životné prostredie výrobného systému počas celého životného cyklu. [2]

Metóda posudzovania životného cyklu má pevne danú štruktúru podľa medzinárodných noriem radu ISO 14040. Metodika metódy životného cyklu pozostáva zo štyroch fáz, ktoré sa nachádzajú na Obrázku 1, a sú to: definícia cieľa, rozsah štúdie a určenie hraníc, analýza údajov a zber dát, posudzovanie vplyvu a interpretácia výsledkov.



Obrázok 1: Štyri fázy metódy životného cyklu. Zdroj: Autori podľa [3]

3. Emisie oxidu uhličitého vo svete

Emisie oxidu uhličitého sú hlavným dôvodom globálnych klimatických zmien. Aby sa zabránilo najhorším dopadom klimatickej zmeny, je potrebné znížiť emisie. Znižovanie emisií

bolo jednou z najväčších medzinárodných diskusií a zodpovednosť sa delí medzi regióny, krajiny i jednotlivcov.

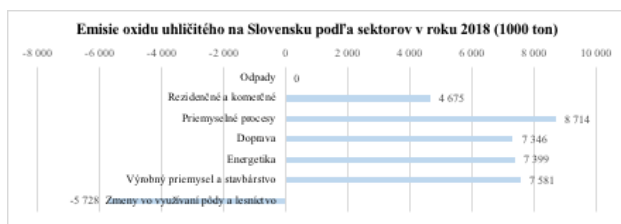


Obrázok 2: Nárast globálnych emisií oxidu uhličitého. Zdroj: Autori podľa [4].

Na Obrázku 2 je možné vidieť nárast globálnych emisií oxidu uhličitého od polovice 19. storočia až do roku 2019. Je možné pozorovať, že pred priemyselnou revolúciou boli emisie veľmi nízke. Rast emisií bol až do polovice 20. storočia stále relatívne pomalý. V roku 1950 svet emitoval niečo viac ako 5 miliárd ton oxidu uhličitého, zhruba rovnako ako Spojené štáty americké, či polovica emisií Číny v roku 2019. Do roku 1990 sa množstvo emisií štvornásobne zvýšilo na 22 miliárd ton. V roku 2019 emituje svet viac ako 36 miliárd ton emisií oxidu uhličitého. Počas posledných rokov sa rast emisií spomalil, ale predpokladá sa, že ešte stále nedosiahol svoj vrchol. [4]

4. Emisie oxidu uhličitého na Slovensku

Podľa Slovenskej agentúry životného prostredia z decembra 2020 sú najnovšie inventúry skleníkových plynov v rámci sektorov Slovenska za rok 2018, stanovené k 14.4.2020. V roku 2018 predstavovali ročné emisie oxidu uhličitého na Slovensku 36,03 milióna ton. Množstvo emisií predstavuje 1,17% ročných emisií Európskej únie a 0,10% ročných svetových emisií. Emisie oxidu uhličitého sa delia do siedmych sektorov: odpad, rezidenčný a komerčný, priemyselné procesy, doprava, energetika, výroba a výstavba a zmeny využívania pôdy a lesníctvo. [4] Ročné emisie oxidu uhličitého na Slovensku podľa sektorov v roku 2018 sú zobrazené na Obrázku 3.



Obrázok 3: Ročné emisie oxidu uhličitého na Slovensku podľa sektorov v roku 2018. Zdroj: Autori podľa [4].

Priemyselné procesy sú sektorom s najvyššou produkciou emisií oxidu uhličitého, na druhom mieste je sektor výroby a výstavby. Priemyselné procesy majú výrazný vplyv na životné prostredie. Na vývoj produkcie emisií oxidu uhličitého z dopravy na Slovensku vplyva najmä cestná doprava, prevažne individuálna cestná doprava a nákladná doprava, a to z dôvodu zvyšovania spotreby paliva. [5] Emisie oxidu uhličitého sa v roku 2018 zvýšili v porovnaní s rokom 2000 o 73,46%. [6] Ročné emisie oxidu uhličitého z dopravy na Slovensku za vybrané roky sú uvedené v Tabuľke 1.

Tabuľka 1: Ročné emisie oxidu uhličitého z dopravy na Slovensku, stanovené na základe výfukových plynov. Zdroj: Autori podľa [6].

Rok	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Emisie CO ₂ z dopravy [t]	4 234 755	6 272 138	6 569 274	7 008 247	7 141 252	7 243 642	7 345 644
Emisie CO ₂ z cestnej dopravy [t]	4 077 900	6 159 740	6 481 490	6 913 650	7 046 400	7 151 180	7 255 460
Emisie CO ₂ zo železničnej dopravy [t]	154 179	104 570	82 320	84 322	86 533	84 352	82 930
Emisie CO ₂ z leteckej dopravy [t]	2 650	7 793	5 131	3 655	3 559	3 420	2 850
Emisie CO ₂ z vodnej dopravy [t]	26	35	333	6 620	4 760	4 690	4 404

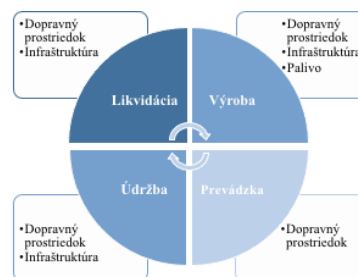
Emisie oxidu uhličitého z dopravy majú stúpajúcu tendenciu v rokoch 2000 - 2018. V roku 2018 vyprodukovala cestná doprava 98,77%, železničná doprava 1,13%, letecká doprava 0,04% a vodná doprava 0,06% emisií oxidu uhličitého. Emisie zo železničnej a leteckej dopravy majú v sledovaných rokoch celkovo klesajúcu tendenciu; na druhej strane emisie z cestnej a vodnej dopravy z roka na rok stúpajú.

5. Návrh komplexného posúdenia environmentálnych dopadov emisií oxidu uhličitého v doprave

Pri posudzovaní vplyvu dopravy na životné prostredie sa väčšina štúdií zameriava na emisie priamo spojené s prevádzkou vozidiel - spaľovanie pohonných látok v dopravných prostriedkoch ale v štúdiách nie sú zahrnuté energetické zdroje vstupov, či výstupy zo životných cyklov potrebných infraštruktúr, dopravných prostriedkov a palív. Aby bolo možné komplexne posúdiť environmentálne dopady jednotlivých druhov dopravy, je potrebné vykonať posúdenie celého životného cyklu, zahŕňajúceho aj ukazovatele, ktoré sú v súvislosti s posudzovaním emisií oxidu uhličitého v doprave nedocenené, opomínané.

Pre vytvorenie návrhu komplexného posúdenia environmentálnych dopadov emisií oxidu uhličitého v doprave, bola zvolená metóda životného cyklu a prístup „od kolísky po hrob“ („cradle-to-grave“), čo zahŕňa celkový cyklus dopravy, ktorý sa skladá zo štyroch fáz: výroba, prevádzka, údržba a likvidácia.

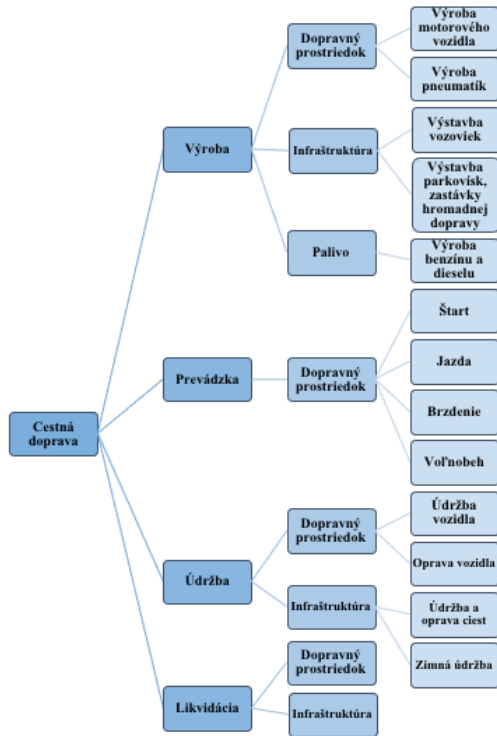
Na Obrázku 4 je zobrazený životný cyklus dopravy, skladajúci sa zo štyroch fáz, pričom v každej z fáz boli stanovené základné segmenty, ktoré je možné posudzovať pre rôzne typy dopravy. Každý zo segmentov (dopravný prostriedok, infraštruktúra, palivo/energia) má svoj vlastný životný cyklus. Pre potreby tohto návrhu sú vybrané z uvedených segmentov fázy životného cyklu, priamo vplyvajúce na produkciu emisií oxidu uhličitého a tým na environmentálny dopad dopravy.



Obrázok 4: Životný cyklus dopravy. Zdroj: Autori.

5.1. Životný cyklus cestnej dopravy

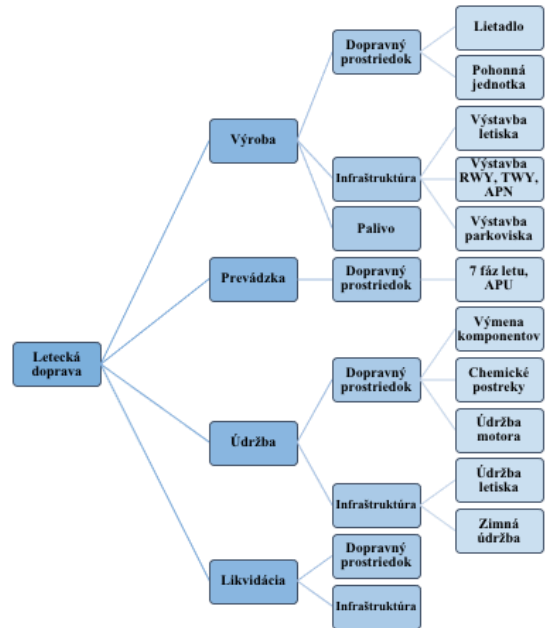
Environmentálny dopad cestnej dopravy nepozostáva len z dopadov pri prevádzke vozidla - zo spotreby paliva a tvorby emisií – výfukových plynov, ale aj tvorby emisií pri jeho výrobe a ďalej pri výstavbe oprave a údržbe dopravnej infraštruktúry a ďalších komponentov, ktoré sú potrebné na zabezpečenie cestnej dopravy a následne ich likvidácii. Pre stanovenie výšky produkcie emisií oxidu uhličitého cestnej dopravy metódou životného cyklu, je potrebné zohľadniť všetky ukazovatele, ktoré boli identifikované pri vypracovaní návrhu vzhľadom na životný cyklus. Na základe poznania a špecifikácie troch segmentov, ktoré vstupujú do životného cyklu dopravy, sme pre jednotlivé fázy navrhli ukazovatele zo segmentov, ktoré sú pre danú fázu dôležité. Na Obrázku 5 sa nachádza životný cyklus pre potreby LCA cestnej dopravy.



Obrázok 5: životný cyklus cestnej dopravy. Zdroj: Autori.

5.2. Životný cyklus leteckej dopravy

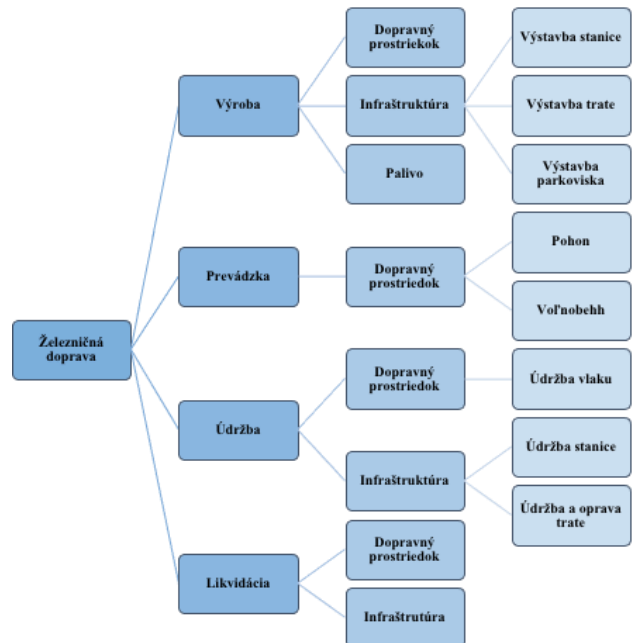
Tak ako u cestnej dopravy, environmentálny dopad leteckej dopravy nepozostáva len z výfukových plynov. Životný cyklus leteckej dopravy, zobrazený na Obrázku 6, sa skladá z troch hlavných segmentov: dopravný prostriedok, infraštruktúra a palivo.



Obrázok 6: Životný cyklus leteckej dopravy. Zdroj: Autori.

5.3. Životný cyklus železničnej dopravy

Pri životnom cykle železničnej dopravy je dôležité, sa zamerať rovnako ako pri cestnej a leteckej doprave, aj na segment infraštruktúry a paliva, nielen výlučne na dopravný prostriedok. Obrázok 7 zobrazuje návrh životného cyklu železničnej dopravy pre posúdenie environmentálnych dopadov emisií oxidu uhličitého.



Obrázok 7: Životný cyklus železničnej dopravy. Zdroj: Autori.

6. Posúdenie environmentálnych dopadov dopravnej infraštruktúry

Posúdenie environmentálnych dopadov dopravnej infraštruktúry, najmä výstavby a opráv, považujeme za jednu z najdôležitejších častí z pohľadu posudzovania jednotlivých druhov dopravy metódou životného cyklu. Predpokladáme, že dopad jednotlivých druhov dopravy na životné prostredie bude výrazne ovplyvnený v prípade, že bude zohľadnený aj samotný dopad infraštruktúry, nie len prevádzky dopravných prostriedkov, ako je to v súčasnosti vyhodnocované v dostupných publikovaných štatistikách.

Pre potreby stanovenia dopadu dopravnej infraštruktúry na Slovensku za obdobie rokov 2010-2019, budeme spracovávať v prípade cestnej dopravy výstavbu a opravy bitúmenových vozoviek na diaľniciach, rýchlostných cestách a cestách prvej triedy, v prípade leteckej dopravy výstavbu a opravy letiskových pohybových plôch a v prípade železničnej dopravy výstavbu a opravy železničných tratí. Z pohľadu emisií údržba infraštruktúry, či už cestnej, leteckej alebo železničnej dopravy môže byť pre potreby tohto článku zanedbaná, pretože predstavuje veľmi nízke hodnoty, ktoré by boli pravdepodobne takmer rovnaké pre všetky druhy dopravy.

Predpokladáme, že môžu vzniknúť odchýlky vo výsledných výpočtoch v porovnaní so skutočným stavom. Nakoľko vstupné parametre výpočtov hodnoty emisií z produkcie materiálov budú totožné pre všetky sledované typy infraštruktúry, tieto odchýlky budú zanedbateľné z pohľadu samotných výstupov. Skutočný stav dopadov dopravnej infraštruktúry na Slovensku nebol, podľa dostupných informácií, do 5/2021 vykonaný žiadnym iným subjektom. V súčasnosti neexistuje univerzálne kritérium pre hodnotenie emisií skleníkových plynov pri výstavbe bitúmenových vozoviek. Na základe štúdie vykonanej v roku 2016 pomocou procesnej metódy hodnotenia životného cyklu sú pre potreby tejto práce stanovené hodnoty pre výpočet množstva emisií, ktoré vznikli v rokoch 2010-2019 na Slovensku z výstavby, opravy a údržby cestných komunikácií, diaľnic, rýchlostných ciest a ciest 1. triedy. [7]

Výstavba bitúmenovej vozovky má významné dopady na životné prostredie. Emisie skleníkových plynov sa hodnotili a počítali pre prípadovú štúdiu, ktorá bola vykonaná v Číne vrátane fázy výroby, miešania, prepravy, pokladania, zhutňovania a vytvrdzovania surovín. [7] Celkové emisie oxidu uhličitého z 20 km dlhého projektu výstavby štvorprúdovej bitúmenovej vozovky boli 52 264 916,06 kg. [7]

Pre stanovenie hodnoty emisií z výstavby a opravy bitúmenových vozoviek sme vychádzali z hodnôt, ktoré boli zistené v spomínanej štúdiu, ktorá bola vykonaná v Číne. Finančné prostriedky vynaložené na výstavbu, opravu a údržbu a dĺžku vybudovaných diaľnic a ciest 1. triedy za obdobie rokov 2010-2019 sme určili na základe analýzy výročných správ NDS a SSC. V prípade výstavby vozovky sme stanovili hodnotu emisií oxidu uhličitého na 2 613 245,80 kg na 1 kilometer štvorprúdovej cesty (1 306 622,90 kg na 1 kilometer dvojprúdovej cesty) a v prípade opravy vozovky sme stanovili hodnotu emisií na 130 263,67 kg na 1 kilometer štvorprúdovej cesty (65 131, 83 kg na 1 kilometer dvojprúdovej cesty). Za opravu vozovky budeme pre potreby tohto článku uvažovať vyfrézovanie povrchovej vrstvy vozovky a jej následné obnovenie.

Tabuľka 2: Vyhodnotenie NDS a SSC 2010-2019. Zdroj: Autori.

	Dĺžka v km	Hodnota emisií CO ₂ (t)	Náklady (€)
NDS - výstavba	184,37	288 965,53	3 101 856 000
NDS - oprava	483,92	17 435,89	22 076 767
SSC - výstavba+oprava	869,73	28 323,72	473 404 445
Spolu	1538,02	334 725,14	3 597 337 212

V Tabuľke 9 sa nachádza prehľad a zhodnotenie získaných údajov za obdobie rokov 2010-2019. Ako je možné vidieť v tabuľke, spolu bolo spoločnosťami NDS a SSC vystavaných alebo opravených viac ako 1 500 kilometrov vozoviek pri celkových nákladoch viac ako 3,5 miliardy eur. Pri danej hodnote počtu kilometrov tak predpokladáme, že vzniklo takmer 335 tisíc ton emisií.

V prípade letiskových pohybových plôch na regionálnych letiskách na Slovensku môžu byť letiskové pohybové plochy bitúmenového charakteru, cementobetónového charakteru, prípadne kombinovaného charakteru. Na Slovensku je šesť verejných medzinárodných letísk: Košice, Bratislava, Žilina, Piešťany, Poprad-Tatry a Sliač. Na letiskách sa nachádza spolu: 7 RWY, 29 rolovacích dráh a 8 odbavovacích plôch. Pri RWY a rolovacích dráhach výrazne prevláda cementobetónová konštrukcia. [8] Letiskové dráhy a odbavovacie plochy bitúmenového charakteru sú zastúpené v najmenšom počte pri všetkých typoch vozoviek. [8]

V období rokov 2010-2019 boli na slovenských regionálnych letiskách vykonávané minimálne opravy a za dané obdobie sa nekonala výstavba letiskových pohybových plôch ani na jednom regionálnom letisku. Preto, tak ako pri cestnej infraštruktúre, kde sme zanedbali hodnotu emisií z minimálnych opráv a údržby vozovky, zanedbáme tieto činnosti aj pri leteckej infraštruktúre. Z toho dôvodu, pri posúdení environmentálnych dopadov dopravnej infraštruktúry na Slovensku za obdobie rokov 2010-2019 bude hodnota emisií za letiskové pohybové plochy nulová.

Železničnú trať tvorí železničný spodok a železničný zvršok. Železničný zvršok tvoria koľajnice, podvaly, upevňovadlá a štrkové lôžko, na ktorom ležia všetky tri zvyšné komponenty. Ťažbu a spracovanie štrku, ktorý tvorí štrkové lôžko, považujeme za najvýznamnejšiu z pohľadu produkcie emisií oxidu uhličitého. Na základe predpokladu, že produkcia a spracovanie štrku tvoria najväčší podiel množstva emisií pri výstavbe a oprave železničnej trate zanedbáme pre potreby tejto práce výrobu a spracovanie ostatných materiálov a budeme pracovať so všeobecne stanovenou šírkou a výškou štrkového lôžka – 400cm x 50cm jednokoľajovej trate.

Pre potreby výpočtov množstva materiálu (štrku) sme si určili šírku a výšku štrkového podlažia. Tretiu premennú, dĺžku, sme stanovili na základe analýzy výročných správ ŽSR. Na základe analýzy sme zistili, koľko kilometrov železničnej trate bolo vybudovaných a vyžadovalo údržbu za obdobie rokov 2010-2019, taktiež sme zistili, koľko finančných prostriedkov bolo vynaložených na dané práce. Empiricky sme si stanovili predpoklad, že finančnú odmenu za každú zmluvu, ktorá bola uzatvorená na výstavbu alebo údržbu, tvorí 50% cena za prácu a 50% cena za materiál. V prípade výstavby a opravy železničnej trate sme stanovili jednotnú hodnotu emisií na 19 853,52 kg na 1 kilometer. Vyplýva to z hustoty štrku z hutného kameňa 1 600 kg / m³ [9] a hodnoty emisií z ťažby a spracovania štrku, kde na 1 kg štrku pripadá 0,005839 kg emisií CO₂.

Výsledné hodnoty dopadov dopravnej infraštruktúry sa nachádzajú v Tabuľke 3. Môžeme pozorovať, že za obdobie rokov 2010-2019 bola výstavba a oprava cestnej infraštruktúry najvyššia, spomedzi posudzovaných druhov dopravy, viac ako 1500 kilometrov. Na výstavbu a opravu cestnej infraštruktúry boli vynaložené najvyššie náklady. Taktiež, pri cestnej infraštruktúre môžeme pozorovať najvyššiu hodnotu vyprodukovaných emisií, viac ako 330 000 ton za sledované obdobie.

Výstavbou a opravou železničnej infraštruktúry sa na dĺžku 422 kilometrov vyprodukovalo takmer 13 000 ton emisií, v pomere k cestnej infraštruktúre to predstavuje výrazne menej na 1 kilometer. Výstavba a oprava železničnej infraštruktúry je však oproti cestnej infraštruktúre, približne o 43% nákladnejšia v prepočte na kilometer.

Letecká infraštruktúra, ako už bolo spomenuté, za obdobie 2010-2019 nezaznamenala výstavbu alebo výraznú opravu letiskových pohybových plôch na regionálnych letiskách na Slovensku, preto vo výslednej tabuľke má nulové hodnoty.

Tabuľka 3: Dopady dopravnej infraštruktúry 2010-2019. Zdroj: Autori.

	Dĺžka v km	Náklady (€)	Hodnota emisií CO ₂ (t)
Cestná infraštruktúra – bitúmenové vozovky	1538,02	3 597 337 212	334 725,14
Letisková infraštruktúra – letiskové pohybové plochy	0	0	0
Železničná infraštruktúra – železničné trate	422,00	2 243 634 000	12 646,69

Tabuľka 4 predstavuje komparáciu hodnôt emisií zo sledovaných druhov dopravy v roku 2018. Ako prvé sú uvedené hodnoty produkovaných emisií CO₂, ktoré sú emisiami výfukových plynov dopravných prostriedkov. V treťom stĺpci Tabuľky 4 sú uvedené hodnoty emisií CO₂ vrátane emisií pri výstavbe dopravnej infraštruktúry, ktoré vychádzajú z našich výpočtov. V Tabuľke 4 môžeme pozorovať nárast oproti publikovaným hodnotám u cestnej aj u železničnej dopravy. Pokiaľ spriemerujeme hodnoty emisií z výstavby a opravy dopravnej infraštruktúry z pozorovaných rokov, môžeme povedať, že pri cestnej doprave sa hodnota emisií navýši každý rok približne o 3%, pri železničnej doprave o 1,5% a pri leteckej doprave o 0%.

Tabuľka 4: Emisie oxidu uhličitého za rok 2018 so zahrnutím dopravnej infraštruktúry. Zdroj: Autori.

	Produkované emisie CO ₂ za rok 2018 (t)	Emisie CO ₂ vrátane dopravnej infraštruktúry (t)
Cestná doprava	7 255 460	7 260 032,78
Letecká doprava	2 850	2 850
Železničná doprava	82 930	84 438,87

Z nášho posúdenia environmentálnych dopadov dopravnej infraštruktúry za sledované obdobie vyplýva, že v prípade cestnej a železničnej dopravy, je potrebné hodnotiť vyprodukované množstvo emisií nie len na základe výfukových plynov, ale do takéhoto hodnotenia zahrnúť aj vplyv dopravnej infraštruktúry.

Pri cestnej a železničnej doprave je rozširovanie dopravnej infraštruktúry nevyhnutné a je potrebné vykonávať opravy v krátkych intervaloch. Napríklad v prípade slovenskej cestnej infraštruktúry je výstavba, opravy a údržba vozoviek stále vo všeobecnosti nedostatočná a ak by sa vykonávala vo vyššej

miere, rástli by aj hodnoty emisií oxidu uhličitého. V železničnej doprave sa neustále pracuje na rekonštrukciách starých tratí, zvyšovaní dostupnosti a elektrifikácií tratí, pôsobí to na zvyšovanie hodnoty emisií zo železničnej infraštruktúry. Aj v železničnej doprave je však objem vykonávanej výstavby, rekonštrukcii a modernizácii dopravných ciest vykonávané v podstate nižšom rozsahu oproti aktuálnym potrebám. Platí preto predpoklad, že hodnoty emisií dopravnej infraštruktúry by v podmienkach dostatočných zdrojov rástli, rovnako ako v cestnej doprave.

Naopak pri leteckej doprave je infraštruktúra priestorovo obmedzená, bez častých potrieb rozširovania sa. Z toho dôvodu emisie oxidu uhličitého, ktoré sa vyprodukujú z leteckej infraštruktúry, nikdy neprevýšia emisie, produkované či cestnou alebo železničnou infraštruktúrou.

Zhodnotením výsledkov porovnania merateľných ukazovateľov vybraných druhov dopravy sme dospeli k návrhu, aby boli pre merateľné ukazovatele prispôsobené, resp. rozšírené štatistické zisťovania. Je zrejme, že v prípade presnejšieho sledovania merateľných ukazovateľov, podstatných pre tvorbu emisií je možné zaviesť efektívne porovnanie dopadov druhov dopravy na životné prostredie v celom ich životnom cykle. Všetky rozhodujúce merateľné ukazovatele by bolo vhodné zaviesť do povinných štatistických hlásení. Príkladom môžu byť realizované dĺžky dopravných ciest vo vzťahu k spotrebe jednotlivých druhov materiálov významných z pohľadu tvorby emisií pri ich primárnej výrobe. V rámci Plánu obnovy, reformy a investície v oblasti zelenej ekonomiky tvoria najväčšiu časť, až 2,17 miliardy eur. Myslíme si, že by bolo vhodné, aby boli preukázateľné prínosy aj prostredníctvom metódy posudzovania životného cyklu, pretože by vďaka tomu bola dokázaná účelnosť finančných prostriedkov.

7. Záver

Téma ochrany životného prostredia a eliminácie negatívnych vplyvov je v súčasnom období vysoko diskutovaná na regionálnych i globálnych úrovniach. Dôležitým aspektom pri posudzovaní environmentálnych vplyvov je sektor dopravy. V tejto súvislosti je väčšina štúdií zameraná na prevádzku vozidiel - spaľovanie pohonných látok v dopravných prostriedkoch. V rámci výstupov štúdií však absentujú skupiny ukazovateľov ako sú energetické zdroje vstupov, či výstupy zo životných cyklov potrebných infraštruktúr, dopravných prostriedkov a palív. Aby bolo možné komplexne posúdiť environmentálne dopady jednotlivých druhov dopravy, je potrebné vykonať komplexné posúdenie celého životného cyklu, zahŕňajúceho nielen prevádzku vozidiel, ale aj ostatné súvisiace zdroje emisií, ktoré sú v súvislosti s posudzovaním napríklad emisií oxidu uhličitého a iných plynov v doprave zanedbávané aj keď ich dopad môže byť významný. Ak chceme posúdiť komplexný environmentálny vplyv jednotlivých druhov dopravy, je nutné do hodnotenia zahrnúť aj dopad dopravnej infraštruktúry prislúchajúcej danému typu dopravy a produkciu, údržbu a likvidáciu dopravných prostriedkov.

Pri využití metódy LCA sme do komplexného posúdenia zaradili doteraz zanedbávanú kategóriu – dopravnú infraštruktúru. Následne sme vytvorili návrh súboru komponentov pre špecifikáciu posúdenia environmentálnych vplyvov dopravnej infraštruktúry jednotlivých typov dopravy. Ide o kategóriu, ktorá

nebola do súčasnosti v rámci posudzovania vplyvov dopravy na životné prostredie realizovaná.

Pri celkovom zhodnotení je možné konštatovať, že v rámci prvého návrhu sme zahrnutím ukazovateľov pre jednotlivé segmenty dopravy vytvorili rozsiahlu škálu možností pre komplexné posudzovanie environmentálnych vplyvov pre jednotlivé druhy dopravy. Posúdenie environmentálnych dopadov dopravnej infraštruktúry – druhý návrh, považujeme za jednu z najdôležitejších častí z pohľadu posudzovania jednotlivých druhov dopravy metódou životného cyklu. V súvislosti s druhým návrhom je možné vyvodiť konštatovanie, že v leteckej doprave je infraštruktúra územne ohraničená, bez častých potrieb rozširovania sa. Z toho dôvodu emisie oxidu uhličitého, ktoré sa vyprodukujú z leteckej infraštruktúry, nikdy neprevýšia emisie, produkované či cestnou alebo železničnou infraštruktúrou. Je však dôležité upozorniť na to, že ide o posudzovanie vplyvov dopravnej infraštruktúry. Jednotlivé druhy dopravy by pre rôznorodosť ich environmentálneho vplyvu mali byť využívané z pohľadu ich užívateľov čo najefektívnejšie vzhľadom na minimálne čiastočnú elimináciu nepriaznivých vplyvov na životné prostredie tým aký typ dopravy je zvolený pre akú vzdialenosť, resp. pohyb v mestskom ohraničenom priestore.

Záverom je možné vysloviť podnet pre spracovanie problematiky na vyšších úrovniach, v rámci konzultácií s regionálnymi i európskymi a celosvetovými štatistickými úradmi vytvoriť priestor pre komunikáciu a vytvorenie nových databáz zahŕňajúcich potrebné dáta pre jednoduchšie posúdenie environmentálnych vplyvov aj s využitím v práci navrhovaných ukazovateľov a metódy LCA. Zavedením sledovania zdrojov a podielu emisií od výroby primárnych materiálov po ich spotrebu v dopravnej infraštruktúre bude tiež možné vytvoriť podľa metódy LCA rámcový základ pre vyhodnocovanie efektívneho nakladania s investíciami vo vzťahu k životnému prostrediu a záťaže, ktorú doprava ako celok predstavuje z pohľadu emisií. Aktuálne výzvy pre realizáciu reforiem v súlade s plánom obnovy by bolo možné uplatnením merateľného posudzovania dopadov na životné prostredie efektívne vyhodnocovať v oblasti všetkých druhov dopravy.

Referencie

- [1] Fath, B. (2019). Encyclopedia of Ecology (ISBN:978-0-444-64130-4. vyd.). Elsevier.
- [2] Envi-pak. (2016). Posudzovanie životného cyklu - LCA. Cit. December 2020. Dostupné na Internet: <https://envipak.sk/clanok/Posudzovanie-zivotneho-cyklu-LCA>
- [3] ISO. (2006). ISO 14040:2006(en) Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Dostupné na Internet: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
- [4] Ritchie, H., & Roser, M. (2020). CO2 and Greenhouse Gas Emissions. In: Our World in Data. Cit. Január 2021. Dostupné na Internet: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- [5] Korenova, L. (2020). Emisie skleníkových plynov z dopravy. Cit. Január 2021. Dostupné na Internet: <https://www.enviroportal.sk/indicator/detail?id=1081>
- [6] SHMU, & MZP SR. (2020). NATIONAL INVENTORY REPORT OF THE SLOVAK REPUBLIC 2020 (ISBN 978-80-99929-06-8. vyd.)
- [7] Feng, M., Aimin, S., Ruiyu, L., Yue, H., & Chao, W. (2016). Greenhouse Gas Emissions from Asphalt Pavement Construction: A Case Study in China. Dostupné na Internet: International Journal of Environmental Research and Public Health, 13(3), 351. doi:10.3390/ijerph13030351
- [8] Kováčiková, K. (2019). *Komparácia cementobetónových a bitúmenových letiskových vozoviek pre potreby regionálnych letísk*. Dostupné na Internet: <https://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioForm&sid=967BFBFA3819CAA82A425FC5726>
- [9] Materiálová kalkulačka. (2020). Dostupné na Internet: <http://anteco.sk/materialova-kalkulacka/>

THE IMPORTANCE OF AN AIRCRAFT MAINTENANCE PROGRAM FOR OPERATOR

VÝZNAM PROGRAMU ÚDRŽBY LIETADIEL U PREVÁDZKOVATEĽA

Jakub Kulíšek
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
kulisek.jakub77@gmail.com

Martin Bugaj
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
martin.bugaj@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper on the topic The importance of aircraft maintenance for operator deals with the maintenance of aircraft at smaller operators. Maintenance is an important part of the operation of aircraft, and therefore we have created a work in which we pay detailed attention to the overall maintenance of the aircraft. The introductory chapter of the paper reveals to the reader the history of aircraft maintenance from its beginnings, during the first attempts of the Wright brothers, through the First World War, the Second World War to the current maintenance. The second chapter is the main part of the work and the work describes the general maintenance performed on aircraft around the world. In this chapter, we paid attention to the accuracy of the terms and we wanted to bring the reader valuable information that can be used further. In the introductory subchapters, we focus mainly on structural maintenance, followed by the maintenance of components that are located on the aircraft and last but not least, the type of maintenance performed on the aircraft. The chapter concludes with the maintenance review itself and selected maintenance checks. In the third chapter we deal with service and overhaul of aircraft. The subchapters contain information on maintenance planning, maintenance processes and problems that may occur during maintenance. The fourth chapter deals with the selected type of aircraft, namely the Piper PA-28R, where the reader can find general information about the aircraft, but also information about technical parameters. In the last part of the work, we focused on the practical part, in which we worked on a detailed analysis of the comparison of the two sectors. From the sources of information, we tried to conscientiously choose those that will enrich the work and give the reader sufficient knowledge about the paper.

Keywords

Maintenance, Planning, Service, Repairs, Operation, Piper PA-28R

1. Úvod

Téma údržby lietadiel má bohatú históriu po celom svete. Prvotné začiatky údržby lietadiel môžeme pozorovať už v začiatkoch existencie ľudstva a prvotných pokusoch gréckych vynálezcov. Údržba mala veľmi význam pri pokusoch ľudstva dostať sa do vzduchu. Veľa pokusov skončilo však tragicky a údržba v týchto prípadoch bola zbytočná. Až začiatkom nového milénia 20 storočia sa údržba dostala do popredia.

Medzi priekopníkov v letectve určite môže zaradiť bratov Wrightovcov, ktorý uskutočnili prvý let. Tu sa začína počiatok údržby vykonávanej na lietadlách. Pri úvodnej kapitole sme dávali na zreteľ postupný historický vývoj údržbových organizácií a ich význam pre letectvo v každom jednom období. Téma údržby lietadiel je veľmi veľká, a preto nie je možné zachytiť všetky potrebné informácie do jednej práce. Našou úlohou bolo priniesť do práce prehľadný popis vývoja údržby od jej začiatkov až po aktuálne novodobé údržbové organizácie, ktoré pracujú na sofistikovaných pracoviskách s diametrálne odlišnými postupmi. Hlavnou časťou údržby lietadiel je plánovanie údržby a jej následná realizácia. Pri realizácii údržby sa treba zamerať na dva hlavné sektory. Prvým je traťová údržba vykonávaná na letisku. Pri tejto kapitole je podrobne vysvetlený postup práce, a aj časová náročnosť, kedy je táto údržba vykonávaná. Ruka v ruke ide s traťovou údržbou aj údržba ťažká, ktorá svojimi špecifikami

sa odlišuje od tej traťovej. V podkapitolách sa venujeme jej významu, a taktiež postupom, ktoré sa počas tejto údržby musia vykonať na letúnoch. Pri údržbe je dôležité zachovať precíznosť a neposlednom rade aj bezpečnosti pri práci. V hlavnej časti práce je rozanalyzované plánovanie údržby, jej následné aplikácie na celok a na záver jej revízia, či všetky aplikované celky sú v poriadku. V záverečných kapitolách práce sa venujeme konkrétne vybranému typu letúna, na ktorom sme vykonali analýzu rozdielov použiteľnosti v dvoch hlavných sektoroch. Hlavnou úlohou celej diplomovej práce je priniesť analýzu obchodnej a neobchodnej prevádzky v 3 skúmaných oblastiach. Prvou je rozsah údržby a ich rozdiely. Druhá skúmaná oblasť je poruchovosť letúna, a teda spoľahlivosť, kde sme svedomito rozanalyzovali všetky potrebné dáta a vytvorili súhrnný komentár. Záverom praktickej časti sa venujeme cenovej stránke, kedy sme porovnali ceny súkromných prevádzkovateľov letúnov a porovnali ich.

Údržba letúnov je jedným z najdôležitejších prvkov celej leteckej dopravy, kedy úlohu kompetentných zastáva množstvo faktorov, od ľudí až po techniku. Všetky tieto celky majú úlohu ošetriť letún pred ďalším letom a predísť všetkým nežiaducim prvkom, ktoré sa počas letu môžu vyskytnúť.

2. História údržby lietadiel

Táto kapitola rozoberá postupy údržby lietadiel od obdobia 1. svetovej vojny až po súčasnú dobu. V tejto kapitole sa primárne budeme venovať histórii údržby letúnov v čase 1. svetovej vojny kedy letectvo a najmä lietadlá nepodliehali, až tak veľký technologickým kritériám a v ďalších bodoch tejto kapitoly si rozoberieme údržbu počas nasledujúcich rokov 20. storočia až po aktuálnu dobu.

Údržbu lietadiel môžeme kategorizovať do takých 3 základných období a to:

1. obdobie údržby lietadiel (1903-1918)
2. obdobie údržby lietadiel (1918-1945)
3. obdobie údržby lietadiel (1950-súčasnosť)

3. Údržba v letectve všeobecne

Údržba lietadla je pre bezpečný let nanajvýš dôležitá. Licencovaní technici sa zaväzujú vykonávať funkcie včasnej údržby v súlade s pokynmi výrobcu. Úkon údržby lietadla sa nikdy neberie na ľahkú váhu. Následky takéhoto konania by mohli byť smrteľné a technik by mohol prísť o licenciu a čeliť trestnému stíhaniu. [5] Výrobcovia drakov, motorov a komponentov lietadiel sú zodpovední za zdokumentovanie postupov údržby, ktoré následne oboznamujú manažérov a technikov o tom, kedy a ako majú vykonávať údržbu svojich výrobkov. Malé lietadlo môže vyžadovať iba niekoľko príručiek vrátane príručky údržby lietadla. Tento dokument zvyčajne obsahuje najčastejšie používané informácie potrebné na správnu údržbu lietadla. Dôležitý údaj obsahuje aj údajový list typového osvedčenia pre lietadlo. Zložité a veľké lietadlo vyžaduje niekoľko príručiek na adekvátne sprostredkovanie správnych postupov údržby. Okrem príručky údržby môžu výrobcovia ponúkať dokumenty, ako sú príručky opráv konštrukcií, príručky generálnych opráv, príručky schém zapojenia, príručky komponentov a ďalšie. [1]

Správna údržba sa vzťahuje aj na použitie určeného náradia a prípravkov uvedených v dokumentoch údržby výrobcu. V minulosti nepoužitie správneho náradia spôsobilo poškodenie kritických komponentov, ktoré následne zlyhali a viedlo to k haváriám lietadiel a stratám na ľudských životoch. Technik je zodpovedný za získanie správnych informácií, postupov a nástrojov potrebných na vykonanie údržby alebo opráv. Existujú štandardné postupy údržby lietadla, ktoré môže technik použiť pri vykonávaní údržby alebo opravy. Nachádzajú sa v dokumentoch schválených Federálnym úradom pre letectvo (FAA). Ak nie sú uvedené v dokumentoch výrobcu, môže technik na dokončenie práce použiť postupy uvedené v týchto príručkách. Tieto postupy nie sú špecifické pre žiadne lietadlo alebo komponent a zvyčajne sa týkajú metód používaných pri údržbe všetkých lietadiel. [1]

Všetky činnosti spojené s údržbou lietadla alebo komponentmi musia byť zdokumentované vykonajúcim technikom v denníku lietadla. Ľahké lietadlo môže mať iba jeden denník pre všetky vykonané práce. Niektoré lietadlá môžu mať samostatný denník motorov pre všetky práce vykonávané na motoroch. Iné lietadlá majú samostatné denníky pri práci s vrtuľami. [10]

Veľké lietadlá si vyžadujú množstvo dokumentácie pozostávajúcej z tisícov postupov vykonaných stovkami

technikov. Bežné je elektronické odosielanie a vedenie záznamov o údržbe vykonávanej na veľkých lietadlách. Dôležitosť správneho vedenia záznamov o údržbe by sa nemala prehliadať. [1]

Programy údržby sa vyvíjajú pre každý nový typ lietadla na základe predchádzajúcich skúseností s podobnými materiálmi, motormi, komponentmi alebo štruktúrami. Nové materiály alebo štruktúry, ktorých skúsenosti sú obmedzené, sa pozorujú častejšie, kým sa nedosiahne základná úroveň spoľahlivosti. Časové predĺženia intervalov inšpekcií sú založené na pozorovaniach vykonaných počas bežných servisných kontrol. [1]

3.1. Druhy údržby vykonávané na lietadle

Trafová údržba je údržba, ktorá sa vykonáva pred letom, aby sa zabezpečilo, že lietadlo je vhodné na plánovaný let. Zahŕňa riešenie problémov a následné odstránenie chýb. Tento typ údržby patrí medzi najbežnejšie. Taktiež sa niekedy nazýva ako, predletová údržba, servisná kontrola a nočná kontrola, čo je najbežnejšia služba údržby vykonávaná na lietadle. Kontrola údržby vyžaduje nástroje a zvyčajne sa vykonáva na letisku pod „otvoreným nebom“. K trafovej údržbe dochádza najčastejšie, pretože pokrýva základné inšpekčné kontroly. Technici údržby lietadla bežne počas prehliadok kontrolujú veci ako kolesá, brzdy a hladiny kvapalín. Vykonaním kontroly trafovej údržby sa zabezpečí, že lietadlo je schopné letu a bezpečné, aby mohol pokračovať v prevádzke. Lietadlo potrebuje trafovú údržbu každých 24 až 60 hodín kumulovaného času letu, ale záleží to na prevádzkovateľovi lietadla. [2]

Ťažkú údržbu možno označiť, ako náročnú údržbu a pozostáva z úloh, ktoré sú vo všeobecnosti dôkladnejšie a dlhodobejšie ako trafovej údržby, ale vykonávajú sa menej často. Spoločnosť MRO (údržba, opravy a generálne opravy) bude musieť mať veľké zariadenia a špecializované vybavenie a personál, ktorý bude vykonávať údržbu základne, a mnoho operátorov túto funkciu uzavrie. Medzi rôzne činnosti môžu patriť:

- Kontroly C a D ktoré kontrolujú zhoršenie stavu draku lietadla, motorov a systémov, napr. korózia, únava
- Odstraňovanie nedostatkov - implementácia servisných vestníkov a smerníc o letovej spôsobilosti, aj keď je to možné aj počas trafovej údržby.
- Modernizácia technológie - montáž systému predchádzania a výstrahy terénu, systému predchádzania zrážkam vo vzduchu
- Rekonfigurácia kabíny, nátery [3]

Definícia ťažkej údržby je jednoduchá - je to všetka údržba, ktorá nespadá do kategórie trafovej údržby. V praxi sú to hlavne ťažké kontroly, ako napríklad kontroly C a D. Počas týchto kontrol sa hodnotia hlavné a vedľajšie letecké systémy spolu s komplexnými a časovo náročnými úlohami, ako je prevencia korózie, konštrukčné práce, výmena hlavných komponentov, renovácia interiéru atď. Všetky tieto práce musia byť samozrejme vykonané v hangári a vyžaduje dost plánovania a značnej dávky spolupráce medzi leteckou spoločnosťou a MRO. [3]

4. Servis lietadiel – údržba, opravy a generálne opravy

Činnosti údržby komerčných lietadiel tvoria dôležitú súčasť letovej spôsobilosti. Takéto činnosti spočívajú v servise, opravách, úpravách, generálnych opravách, kontrolách a stanovenie stavu. Tieto úlohy zahŕňajú rôzne operácie, ktoré sú zamerané na obnovu častí, aby vyhovovali prísny úrovniam použiteľného stavu. Všeobecne existujú dva typy inšpekčných požiadaviek alebo kontrol MRO, ktoré sú potrebné vykonať na komerčných lietadlách. Údržba opravy, ktorá zahŕňa také činnosti vykonané v dôsledku zlyhanie s cieľom obnoviť časť na uspokojivú úroveň. Vo všeobecnosti ide o overovanie porúch a zahŕňa neplánovanú údržbu. Druhou je preventívna údržba, ktorá spočíva v údržbe častí a prevádzkyschopných predmetov prostredníctvom systematických kontrol. Tento typ údržby sa označuje ako plánovaná údržba, pretože sa vykonáva v presne stanovených časoch v živote lietadla a môže sa riadiť buď kalendárom, letovými hodinami alebo letovými cyklami. [4]

Plánovanie údržby zahŕňa usporiadanie sekvencií, v ktorých sa pracuje. Robia sa objednávky a rozhoduje sa o úlohách, kto ich bude mať na starosti a kedy sa dokončia. Faktory, ktoré je potrebné brať do úvahy, sú trvanie práce, požadované zručnosti, pracovné priority, dostupnosť požadovaných náhradných dielov, primerane kvalifikovaní pracovníci, špeciálne nástroje a stav údržby zariadenia. Kvôli zložitostiam spojeným s takýmito dohodami a interakciami sa od systémov MRO vyžaduje účinný spôsob na pomáhanie pri prekonávaní mnohých rozmanitých výziev. Takéto systémy by uľahčili rozhodovací proces zohľadnením všetkých vyššie uvedených faktorov. Komplexná automatizácia sa nepovažuje za možnú respektíve žiaducu a plánovanie údržby, podobné ako pri akejkoľvek inej manažérskej interakcii alebo rozhodovacom nástroji, bude často vyžadovať ľudský úsudok. Inými slovami, cieľom nie je ani tak automatizovať rozhodnutia, ako skôr umožniť používateľom prijímať správne a rýchle rozhodnutia na základe presných a najaktuálnejších údajov a informácií, ktoré sú k dispozícii. Systém zodpovedný za poskytovanie týchto informácií bude dostatočne spoľahlivý na integráciu viacerých zložitých systémov IT a aplikácií, pričom súčasne poskytuje komplexné rozhrania prevádzkového združenia, tak v rámci organizácie, ako aj s jej dodávateľmi. [4]

Ľudské zlyhanie sú dôvodom tejto neúplnej a nedokonalnej údržby. Zvyčajne to zahŕňa problémy, ako neutiahnutie rúrok alebo skrutiek na konci úlohy, vynechanie zaistenia drôtu, kontrola položiek trvanlivosti, ponechanie niekoľkých otočných prvkov bez kontroly zachytenia atď. Aby sa tento problém prekonala, údržbová organizácia trénuje kontrolu pracovného prostredia. Keď pracovník dokončí svoju prácu, nadriadený ju skontroluje postupne a všetka kontrola sa následne monitoruje pomocou rôznych senzorov. [5]

Nesprávna údržba, ktorá má závažnejšiu povahu, napríklad kríženie spojov vedenia, poškodenie komponentov a nedodržovanie dokumentácie, nedodržovanie opatrení, nedodržovanie štandardu prípravy, a to všetko má za následok degradáciu v profesionálnej normy, ktorá sa očakáva od technikov údržby. Počiatočné školenia, preškolenia a školenia zákazníkov prispievajú k oživeniu týchto problémov s údržbou. Spätná väzba od zákazníka / koncového používateľa pomáha systému pri vykonávaní opráv, ktoré sa považujú za vhodné. [5]

4.1. Procesy údržby

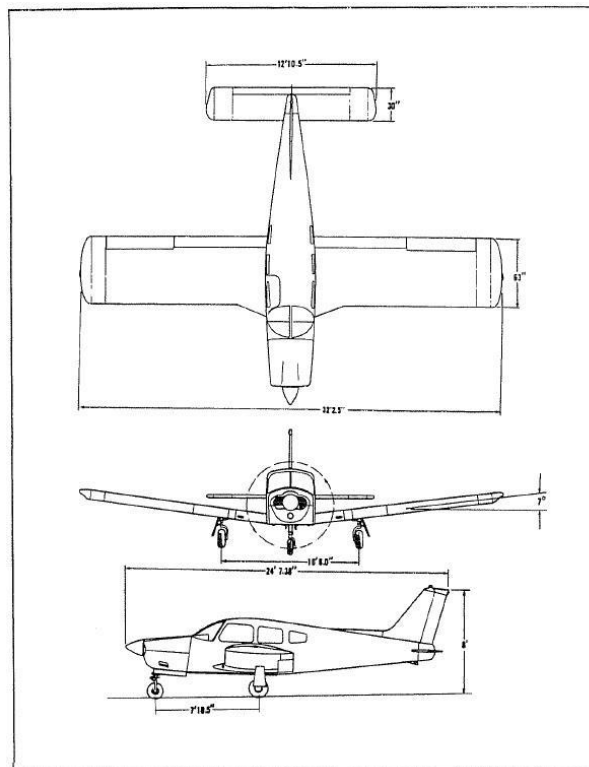
Úlohy a činnosti týkajúce sa údržby lietadiel možno kategorizovať podľa jedného z nasledujúcich procesov:

A. Hard-time: Proces primárnej údržby, z ktorého musí byť položka odstránená službou v stanovený čas alebo skôr. Kontroly draku a podvozku a ich následná generálna oprava je príkladom činností, ktoré reprezentujú tú ťažšiu činnosť vykonávanú na lietadle. Je to vlastne preventívny proces, pri ktorom je známy zhoršený stav produktu a zásahmi údržby na prijateľnú úroveň sa tento produkt stáva životaschopným. Realizovanie opráv je v obdobiach súvisiacich s časom v službe, ako napríklad kalendárny čas, počet cyklov, počet pristátí. [6]

B. On-Condition (OC): Proces údržby obmedzenej na komponenty, v ktorých zachovanie letovej spôsobilosti možno určiť vizuálnymi kontrolami, meraniami, skúškami alebo inými prostriedkami bez kontroly alebo generálnej opravy. Tieto kontroly sa musia vykonať v časových obmedzeniach presne predpísaných schválenými prevádzkovateľom programu údržby. [6]

5. Piper PA-28R

Piper je jednomotorový letún s výsuvným podvozkom vyrobený z celokovového materiálu. Zväčšený trup zvýšil pohodlie na sedadlách. Veľké dvere kabíny umožňujú kombinovaný vstup a výstup z priestraného interiéru. Štyri samostatné sedadlá umožňujú individuálne pohodlie pre lety. Do lietadla bola zabudovaná zvuková izolácia, ktorá izoluje zvuky od motora a okolitého priestoru. Lietadlo sa dá prevádzkovať aj v podmienkach VFR alebo IFR. [7] [8] [9]



Obrázok 4: Piper PA-28R. Zdroj: [7].

5.1. Praktické využitie letúna

Letún Piper PA-28R má svoje široké využitie v letectve. Keďže ide o letún, ktorého využiteľnosť je široká dá sa tento letún používať v rôznych sektoroch. Veľmi obľúbeným sa stal medzi nadšencami privátneho lietania, či lietania pre svoju potrebu. Piper svojou cenou patrí medzi tie prijateľnejšie typy lietadiel, keďže cena sa pohybuje medzi 40 000€ až po 120 000€ podľa opotrebovania letúna. Na lietadle sa musia robiť pravidelné kontroly, ktoré stanovuje výrobca. Servis letúnov sa zakladá na precíznej práci technika aby sa predišlo rôznym technickým problémom, ktoré sa počas letu môžu vyskytnúť. Využitie letúna môžeme zaradiť do 2 sektorov, a to komerčné a nekomerčné inak povedané súkromný sektor. V rámci toho komerčného sektoru sa lietadlo využíva hlavne pri výcviku pilotov na leteckej škole, kde sa vo veľkom počte používa v celom svete.

6. Praktická časť

V praktickej časti sa budeme venovať porovnávaniu letúna Piper PA-28R v oblasti dvoch sektorov. Ako bolo spomenuté vyššie letún sa dá využívať v dvoch oblastiach, a to komerčnom a nekomerčnom. O oboch sme sa si povedali v kapitolách vyššie. Našou primárnou úlohou je porovnať tento letún v 3 hlavných sektoroch. Porovnávať budeme rozsah údržby letúna, cenu, ktorú ale porovnáme v rámci nekomerčného sektora, keďže komerčný sektor, patrí do kategórie, kde si každá spoločnosť chráni svoje údaje za cenu údržby pred konkurenciou a budeme sa venovať aj spoľahlivosti, inak povedané poruchovosti letúna. Poruchovosť budeme porovnávať a posledných 5 rokov.

6.1. Porovnanie obchodnej a neobchodnej prevádzky

Pri porovnaní údržby oboch sektorov budeme vychádzať z podporných materiálov, ktoré nám pomohli tvorbe analýzy a následnému skúmaniu. Pri komerčnom druhu dopravy ide o celok veľmi zložitých úkonov, ktoré sme skúmali. Komerčná prevádzka, alebo inak povedané obchodná prevádzka sa dá rozdeliť do 2 sektorov. Prvým je sektor lietadiel bez licencie, ktorý obsahuje časti výcvikových organizácií podľa nariadenia, ďalej organizácie schválená na výcvik, a taktiež špeciálnu prevádzku letúna. V rámci tohto sektora delíme letúna na iné ako zložené lietadlá a zložené lietadlá. V oblasti iných, ako zložitých lietadiel pracujeme s ľahkými lietadlami a inými, ako ľahkými lietadlami. Druhým sektorom obchodnej prevádzky sú letúne s licenciou, do ktorého spadá držiteľ osvedčenia a plus k nemu prislúchajúca licencia. V oblasti sektoru letúnov s licenciou sa stretáme s lietadlami zložitými a inými ako zložitými. Neobchodná časť nie je až tak zložitá na rozdelenie a v nasledujúcom porovnaní si popíšeme hlavné rozdiely, v obchodnej a neobchodnej prevádzke. Letúne v neobchodnej prevádzke už nerozdeľujeme do viacerých sektorov, podľa toho či majú alebo nemajú licenciu. Tu je prvý rozdiel, kedy vidíme, že obchodná prevádzka je zložitejšie v delení letúnov na licencie. Čiže druh prevádzky je jednoduchší u neobchodnej prevádzky. Rovnaké znaky môžeme badať pri druhu lietadiel, kde sa oba sektory zhodujú pri prevádzke lietadiel v každom bode. V treťom bode sa budeme venovať rozdielom pri prevádzke v oblasti časti M (údržba). Pri neobchodnej, ale aj obchodnej prevádzke je badateľné, že pre ľahké lietadlá sa časť M neaplikuje. Na rozdiel od neobchodnej prevádzky je časť M záväzná jedine pri časti licencovaných lietadiel, kde má svoje uplatnenie. Tak isto, ako časť M sa uplatňuje ten istý model aj pri časti ML (licencovanie), kde jedinými rozdielom je časť licencovaných lietadiel. Je to

pochopiteľné už aj podľa názvu, že táto časť sa bude venovať, len licencovaným letúnom. Časť, ktorá sa venuje CAMO a konkrétne SMS (safety manažment systém) je diametrálne odlišná v rámci obchodnej a neobchodnej prevádzky. Pri neobchodnej prevádzke sa CAMO uplatňuje v oblasti ľahkých a iných, ako ľahkých lietadiel individuálne, a to na povel pilota či vlastníka letúna. To znamená, že riadenie je vykonávané pilotom či vlastníkom, alebo CAMO alebo CAO. CAO je organizácia, ktorá sa zaoberá údržbou ľahkých lietadiel. Preto sa tento model uplatňuje v neobchodnej prevádzke, ale tak isto aj obchodnej prevádzke rovnako, pretože ide o ľahké lietadlá. Rozdiel môžeme vidieť hlavne pri zložitých typoch lietadiel. Pri týchto typoch sa časť CAMO aplikuje záväzne, či pri neobchodnej alebo obchodnej prevádzke. Pri porovnávaní je dôležité porovnať aj samotnú časť CAO a to v 2 sektoroch a to CAM a M. V časti CAM sa aplikuje táto časť hlavne pre ľahké letúne v oboch sektoroch rovnako. Tak isto aj časť CAO M je v oboch sektoroch totožná. Rozdiel prichádza pri zložitých typoch letúnov, ktoré tieto časti neobsahuje, a preto sa ani neaplikujú pri jednom či druhom sektore. Rozdiel teda prichádza v aplikácii časti CAM a M, kedy ľahké letúne tieto časti využívajú individuálne alebo nezávislým personálom v oblasti neobchodnej prevádzky, alebo sa uplatňuje časť 145 v obchodnej prevádzke letúna. V poslednej skúmanej časti sa budeme venovať časti 145 kde opäť, ako vo vyššie spomenutej časti CAO sa aplikuje časť 145 pri neobchodnej prevádzke buď individuálne alebo časťou CAO, alebo časťou 145. Pri zložitých typoch letúnov je však ten rozdiel, že tu je časť 145 záväzne daná. Taký istý prípad sme pozorovali aj pri obchodnej prevádzke, kde pri ľahkých letúnoch je aplikovaná časť CAO a časť 145. Pri zložitých letúnoch je táto časť 145 záväzná. Pri analyzovaní hlavných rozdielov obchodnej a neobchodnej prevádzky sme skúmali hlavné body, v ktorých sa tieto 2 sektory rozlišujú. Ako prvý rozdiel bol ten, že neobchodná prevádzka nemá požadovaný nezávislý audit kvality. To znamená, že pri obchodnej prevádzke je audit kvality precíznejší a hlavne je vyžadovaný oproti neobchodnej prevádzke, kde sú tieto auditové akcie menej často. Ďalším rozdielom je to, že neobchodná prevádzka nedisponuje personálom, ktorý spadá do kategórie A, čo je prevádzka údržby na lietadle a ľubovoľnom lietadlovom celku, pokiaľ je tento lietadlový celok upevnený na lietadle. Následne tiež personálom kategórie C, čo je údržba nezábudovaných lietadlových celkov na lietadle. Ostatnými všetkými kategóriami je vybavená obchodná letecká prevádzka. Pri neobchodnej prevádzke je potreba si vytvoriť príručku pre organizáciu údržby. Pri tejto príručke je dôležité aby ju schválil úrad a jej následné zmeny, ktoré sa postupom času menia. Pri zostavovaní rozdielom je dôležité tiež sledovať rozsah opravení, ktorý je pre letún dôležitý a ten sa určite pri neobchodnej prevádzke podľa tried a kvalifikácii. Triedy sú lietadlá, motory a lietadlové celky. Pri kvalifikácii ide však a kompaktný balík, ktorý musí byť dodržaný. Pri vydávaní osvedčenia o uvoľnení do prevádzky je dôležité aby bol personál oprávnený podľa časti 66. Kde personál musí mať vydaný príslušný certifikát, ktorý ho oprávňuje uvoľňovať lietadlá do prevádzky. Pri vetroňoch alebo lietadlových celkoch toto uvoľnenie musí byť s národnými predpismi podľa predpisu L1. Všetky zmeny, ktoré spadajú pod organizáciu údržby pri neobchodnej prevádzke musia byť bezodkladne oznámené civilnému leteckému úradu. Je dôležité poznamenať, že komerčný sektor je znám tým, že svoje letúne častejšie využíva na leteckú prevádzku, a preto hlavný rozdiel vidíme v počte prehliadok a generálnych opráv, ktoré často bývajú nad rámec tých, ktoré sa vykonávajú v nekomerčnom sektore.

6.2. Poruchovosť a spoľahlivosť letúna v komerčnom sektore

Z našich preskúmaných 10 nehôd sme zistili následné dáta 40% príčin nehôd boli nehody spôsobené stratou výkonu motora alebo samotnou chybou motora. Pri týchto typoch strojov je to vzhľadom na vek letún bežná situácia, kedy motor už pomaly odchádza, a preto sa na ňom vyskytujú závažné chyby. Aj pri detailnom preskúmaní motora sa nemusí prísť na chyby, ktoré sa vyskytnú pri samotnom lete. Môžeme teda povedať, že za väčšinou nehôd, ktoré sme skúmali je chyba motora a teda poruchovosť je najvyššia práve pri motorovej časti. Medzi ďalšie príčiny nehôd a teda poruchovosti patria ľudské zlyhania, ktoré sú neodmysliteľnou časťou leteckých nehôd, tie spolu s poruchami či chybami čapov tvoria 20% celkových nehôd. Je jasné, že ľudia nie sú stroje a každý človek je neomylný, preto sa nehody tvorili, tvoria aj tvoria, ale technickým chybám sa dá predísť, a preto je dôležitá kontrola všetkých častí v motore, ale aj mimo neho aby nedochádzalo k nehodám v dôsledku chybných častí čapového uloženia. Posledných 20% všetkých našich skúmaných nehôd tvorí v rovnakom pomere 10% a 10% chyby na strane podvozku, či je to chybné uchytenie, alebo ide o zlé vysunutie podvozku pri pristáti. Zvyšok chýb 10% tvoria chyby, ktoré sa vyskytujú na krídlach. Ide o malé, ale aj veľké poškodenia, ktoré sú dobre viditeľné už z diaľky, ale taktiež môže ísť o chyby, ktoré technik nemusí vidieť, ale majú veľký význam, ak sa udeje nehoda. Tieto poškodenia je dôležité preveriť, buď nedeštruktívnymi metódami, ktoré odhalia poškodenia pod povrchom krídla, alebo kompletnou výmenou časti, ktorá nezodpovedá ďalšiemu letu. Na záver môžeme povedať, že 80% poruchovosti nami skúmaných nehôd bola zapríčinená technickou nedokonalosťou. Chyby sa stávajú a je treba podotknúť, že veľmi milo nás prekvapilo, že len 20% nehôd bolo zapríčinených ľudskou chybou. Je vidieť, že ak človek je kvalitne preškolený a pozná letún veľmi dobre, tak ho neprekvapia žiadne okolnosti. Po preskúmaní nehôd od roku 2000 po rok 2016, je veľmi veľa nehôd zapríčinených hlavne technickou chybou a ľudské chyby boli len v minimálnom rozsahu. Spoľahlivosť letúna Piper PA 28R je hlavne daná tým, ako je o letún postarané, množstvo nehôd sa nemuselo stať, ak by si personál, či v hangári alebo predletovej kontrole všimlo malé detaily, ktoré rozhodli, že lietadlo bude mať nejaké technické problémy. Piper PA 28R je podľa nás veľmi spoľahlivé lietadlo, ktoré má obrovské využitie vo svete komerčného sektoru.

6.3. Poruchovosť a spoľahlivosť v nekomerčnom sektore

V tejto analýze sme sa zamerali na nehody v období 5 rokov. Pri štúdiu všetkých nehôd sme svedomito preskúmali všetky dostupné zdroje informácií, aby naša analýza bola správna a vedeli sme na jej konci presne určiť, kde sa stala chyba, a aká je teda spoľahlivosť letúna v nekomerčnom sektore. Po našej analýze sme dospeli k záverom, že väčšinu našich nehôd tvoria zlé meteorologické podmienky, ktoré nastali počas letu alebo finálneho priblíženia a mali za následok 40% príčin zrážky s objektmi alebo poškodenia okolitých objektov. Pri zlých poveternostných podmienkach dochádza aj ku strate riadenia, ktoré tvoria 20% našich nehôd, kedy piloti úplne stratili kontrolu nad letúnom a došlo k nehode. Zostávajúcich 40% nehôd a to v pomere 10% pre každú oblasť sú nehody, ktoré sa stali vďaka chybám motoru, či chybe údržbového personálu, ktorí nedostatočne skontroloval vykonanú prácu. Následne zvyšné nehody boli v dôsledku ľudskej chyby či zlej orientácii v priestore a zlom vyhodnotení situácie. Záverom našej analýzy je

porovnanie získaných dát, a to sú, že 70% nehôd, ktoré sa udiali stoja za chybou pilota alebo pozemného personálu, ktorí sa stará o letún. Pri tejto analýze sme tieto výsledky aj očakávali. Nekomerčný sektor je špecifický hlavne, tým že letúne nie sú, tak pravidelne vo vzduchu, ako v komerčnom sektore. Z našej analýzy sme zistili, že majiteľ alebo prevádzkovateľ má lepšie technické zabezpečenie a servis letúna, v dôsledku toho, že letún nie je tak často vo vzduchu, tým pádom sa neopotrebovávajú súčiastky nadmerne a dochádza k menej technickým poruchám na stroji, ako pri komerčnom sektore. Samozrejme musíme rátať s tým, že majitelia letúnov, ktoré sa využívajú na komerčný druh dopravy majú úplne iné počty cyklov opráv a hlavne generálnych opráv, pri ktorých sa tieto škody dajú nájsť, ale podľa nášho názoru môžeme povedať, že letúne v rámci nekomerčného sektoru využívania sú spoľahlivejšie z technického hľadiska. Pri nehodách v porovnaní s komerčným sektorom, len 20% nehôd zavinených ľudskou chybou je neporovnateľné číslo oproti 70% nehôd v nekomerčnom sektore. Pri tomto skúmaní sme prišli k záveru, že piloti v komerčnom sektore sú často konfrontovaní so situáciami, pri ktorých si dokážu zachovať chladnú hlavu a nespánikáriť, a tým predísť novej katastrofe. Je jasné, že sa medzi pilotmi nekomerčného sektoru nájdu aj takí, ktorí situácie vedú riešiť pokojne, ale pri našej analýze sme zistili veľký nepomer nehôd zapríčinených ľudským zlyhaním.

6.4. Porovnanie ceny údržby v oboch sektoroch

Pri porovnávaní ceny údržby je dôležité si uvedomiť, ako často využívame letún počas roku. Cena údržby je variabilná podľa toho, či chceme skúmať cenu za jeden celý rok, alebo za počas odlietanych hodín. Ceny sa veľmi líšia v závislosti využívania letúna.

Pri nekomerčnom sektore je nutné podotknúť to, že letún je vo vzduchu menej často, a preto aj cena za údržbu bude nižšia v porovnaní s cenou údržby pri komerčnom sektore. Keďže letecké školy a spoločnosti, ktoré prevádzkujú letún v komerčnom sektore si svoje ceny za údržbu taja a nechcú podávať informácie pre verejnosť, našou úlohou je rozanalyzovať ceny údržby z dostupných zdrojov informácií od súkromných prevádzkovateľov, ktorí svoje ceny uverejňujú. Pri porovnávaní cien sme vychádzali z dvoch vecí. Prvou je využívanie a cena letúna za 1 rok. Pri ročnom užívaní letúna súkromní prevádzkovatelia v priemere nalietajú od 20 do 35 hodín. Z dostupných informácií sme zistili, že tieto hodiny sa zhodujú u 90% súkromných prevádzkovateľov. Je dôležité tiež poznamenať, že väčšina z nich sú priamymi vlastníkmi letúnov, a preto do ceny nemusíme započítavať prenájom letúna, ktorý sa šplhá od 150€ na hodinu do 250€. Pri výpočte sme použili následné veličiny. Cena za letecký benzín sa pohybuje ku dnešnému dnu okolo 2€, tak isto aj cena za letecký olej plus treba počítať aj opotrebovanie vrtule, ktoré je vyrátané na 6€ za jednu letovú hodinu. Pri nálete 25 hodín za rok si preto majiteľ či prevádzkovateľ zaplatí za celkové vedenie letúna následné ceny. Pri spotrebe paliva za hodinu, ktorá je 38 litrov a vynásobený ceny za 1 liter dostávame 76 € za hodinu letu. Plus treba pripočítať aj cenu za letecký olej, ktorý je 2€ a samozrejme opotrebovanie vrtule. Pri spočítaní všetkých veličín dostávame sumu 84€ za jednu hodinu letu. Pri ročnom nálete 25 hodín je cena za prevádzku letúna cca. 2050€. Pri preskúmaní rôznych fór a diskusiách s súkromnými prevádzkovateľmi, sme zistili, že cena za údržbu letúna sa odlišuje vo veľmi malom smere. Je však dôležité poznamenať, že k cene treba započítať ešte poplatky,

ktoré platí pilot letisku a samozrejme, ak nemá vlastný hangár, alebo iné miesto kde by letún mohol byť zaparkovaný, je treba si pripočítať aj cenu za miesto v hangári. Našou úlohou bolo však porovnať cenu pri prevádzke letúna za 1 rok. Rozdielne sumy však prichádzajú pri, takzvanej ročnej prehliadke letúna, ktorá sa vykonáva po 100 nalietaných hodinách. Cenu vypočítame podobne, ako pri prehliadke pri menšom počte nalietaných hodín. Počítame s cenou za liter leteckého benzínu, plus cenu oleja, uskladnenie letúna, každé letisko si počíta inú cenu za odstavené lietadlo, my sme si určili cenu 700€ za rok. K týmto sumám treba prirátat poistenie, ktoré je dôležité platiť, poistenie vychádza na 1000€ za 1 rok. Pri výpočte sumy sme prišli k výsledok za ročnú prevádzku a následná prehliadka letúna, stojí prevádzkovateľa, a teda aj majiteľa letúna cca. 10 200€. Z dohľadaných informácií sme zistili, že prevádzka letúna sa rozlišuje 2 bodoch, ktoré sme rozobrali vyššie a detailne popísali cenovú ponuku, vďaka ktorej vieme koľko cca. stojí Piper majiteľa za 1 rok a následne, aj pri 100 hodinovej prehliadke. Komerčný sektor, ale v tomto hľadisku nebude o nič rozdielny, keďže sumy za letecký benzín či olej sú pre všetkých prevádzkovateľov rovnaké. Rozdiel však bude pri prevádzke za 1 rok. Počas roku prevádzkovatelia komerčného sektoru nalietajú o mnoho viac hodín, ako piloti súkromných letúnov. Preto sa môžeme iba domnievať o koľko viac sa odlišujú tieto sektory. Súkromné letecké školy ponúkajú ceny za údržbu na rovnakej úrovni, ako sú ceny privátnych letov. Preto môžeme konštatovať, že súkromný sektor sa od toho komerčného neodlišuje vo veľkom, je dôležité poznamenať, že ceny za rok a odlietanych hodinách sú veľmi rozdielne.

7. Záver

Hlavným dôvodom výberu témy bola nepreskúmaná časť rozdielov komerčného a nekomerčného využitia letúna Piper PA-28R. V úvode sme si určili ciele, ktoré sme sa svedomito snažili splniť v každej kapitole.

Pri tvorbe materiálu sme pracovali s bohatými zdrojmi informácií zo zahraničných článkov, kníh, fór a blogov. V prvej úvodnej kapitole sme v krátkych podkapitolách rozobrali tému histórie letectva, ktorá nám pomohla lepšie pochopiť tému a jej začiatky. V druhej veľkej kapitole sa venovali údržbe lietadiel vo všeobecnosti, ako je to známe v tejto dobe. Štruktúrna údržba či údržba komponentov boli jednými s podkapitol, ktoré majú svoje miesto v našej práci. V každej s podkapitol sa detailne venujeme ich špecifickým vlastnostiam a prínosom pre letectvo. Pri práci sme sa venovali, aj generálnym opravám a servisu letúna. Generálne opravy patria medzi tie najhlavnejšie časti kontroly, pri ktorých prechádza letún celým radom kontrol. Letún sa odstaví na určité obdobie podľa vážnosti a údržbová organizácia pracuje na výmene a oprave komponentov, ktoré sú zadané v popise práce za obdobie nalietaných hodín. Pri údržbe lietadiel je dôležité dbať aj na úplnosť procesu údržby a správnosti. Štvrtou časťou práce bolo predstavenie nami vybraného typu letúna Piper PA28-R. V podkapitolách sa venujeme jeho všeobecným informáciám a hlavne technickým parametrom, ktoré toto lietadlo má. Letún sme analyzovali v 2 sektoroch. Prvým bol sektor komerčnej prevádzky, ktorý je známy využiteľnosťou, buď v rámci leteckej školy, aerotaxi či letov pre medicínske účely. Druhým sektorom skúmania bol sektor nekomerčnej prevádzky, ktorý je špecifickým využívaním pre účely privátnych letov alebo zážitkových letov či športu. V praktickej časti sme podrobne rozobrali 3 vybrané skúmané skupiny, a to rozdiely v údržbe, ktoré boli rozdielne v určitých

parametroch, následne sme sa venovali spoľahlivosti letúna. Pri tejto analýze sme si určili pre každý sektor 10 nehôd a po ich skúmaní sme určili v tabuľke a následnom komentári rozdielne informácie. Záverečným bodom práce bol parameter ceny za údržbu letúna. Tu sa ceny určovali podľa výpočtov za určité obdobie, a to obdobie jedného roka a 100 hodinovej prevádzky letúna.

Na záver by sme chceli zhrnúť výsledky práce. Našou úlohou bolo vytvoriť materiál, ktorý vecne a podrobne informuje čitateľa o tom, čo to je údržba, a aké má vlastné špecifiká.

Referencie

- [1] Training, A., Maintenance, B., Schools, A., Books, A., Jar, T., Structures, A. - Maintaining the Aircraft. [online]. 2020 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://www.flight-mechanic.com/maintaining-the-aircraft/>
- [2] SWOBODA, M.: Line Maintenance – Management and Main Challenges. [online]. 2017 [cit. 2020-10-27]. Dostupné z: <http://airlinebasics.com/line-maintenance-management-and-main-challenges/>
- [3] SWOBODA, M.: Aircraft Maintenance - Line, Base and Defects. [online], 2014 [cit. 2020-10-27]. Dostupné z: <http://airlinebasics.com/aircraft-maintenance-line-base-and-defects/>
- [4] ENTHUSIAST, A.: Scheduled B Checks for Aircraft Airworthiness. [online]. 2019 [cit.2020-11-21]. Dostupné z: <https://www.aviationenthusiasts.org/post/aircraft-maintenance-b-check>
- [5] VARAPRASADARAO, R.: Aircraft servicing, maintenance, repair & overhaul – the changed scenarios through outsourcing. [online]. 2017 [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328880433_AIRCRAFT_SERVICING_MAINTENANCE_REPAIR_OVERHAUL_THE_CHANGED_SCENARIOS_THROUGH_OUTSOURCING
- [6] ACKERT, S.: Aircraft Maintenance Handbook for Financiers. [online]. 2018 [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: http://www.aircraftmonitor.com/uploads/1/5/9/9/15993320/aircraft_mx_handbook_for_financiers_v1.pdf
- [7] PIPER, A.: Piper Arrow Manual - Pilot's Operating Manual. [online]. 2013 [2020-10-10]. Dostupné z: https://wayman.edu/files/Piper_Arrow_II_POH.pdf
- [8] BUGAJ, M., NOVÁK, A., STELMACH, A. and LUSIAK, T., 2020. Unmanned Aerial Vehicles and Their Use for Aircraft Inspection, Proceedings of the 22nd International Conference on New Trends in Civil Aviation 2020, NTCA 2020 2020, pp. 45-50.
- [9] LĀŽĀROIU, G., KLIESTIK, T. and NOVAK, A., 2021. Internet of things smart devices, industrial artificial intelligence, and real-time sensor networks in sustainable cyber-physical production systems. Journal of Self-Governance and Management Economics, 9(1), pp. 20-30.
- [10] Bugaj, M., Novák, A. 2010. Všeobecné znalosti o lietadle: drak a systémy, elektrický systémy. 1. vyd.-Žilina: Žilinská univerzita, 2004.-247 s.

NEW THREATS IN SECURITY

NOVÉ HROZBY V OBLASTI BEZPEČNOSTNEJ OCHRANY

Natália Kundráthová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
nkundrathova@gmail.com

Karol Lysina
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Karol.Lysina@nsat.sk

Abstract

The article is focused on modern threats in the department of security. The urge to address this issue is due to growing occurrence of unmanned aerial vehicles (UAV) all around the world. The operation of these vehicles is also closely linked to incidents that threaten security, but the most serious are increasing numbers of incidents connected to operation of UAV. For correct processing, it is very important to define the basic concepts and facts related to the topic of UAV. Safety and security in general, are inseparable parts of air transport. Taking into account the constant development of aviation technology, especially in the department of UAV, it is necessary to know the emerging threats and pitfalls associated with the operation of UAV. The following chapters define in more detail the causes of incidents. Later on, we get to know various methods of detection and protection connected to operation of UAV using the comparative method. Key part of our paper is being formed by the analysis of current regulatory framework at European and national level. The result is a proposal for new legislation that could and also should be implemented in national regulations. All things considered, such legislation must meet all attributes necessary for the safe operation of UAV and protection against their illegal use.

Keywords

UAV, threat, legislation

1. Úvod

Pojem *bezpilotný prostriedok, bezpilotné lietadlo* alebo *UAV* si za posledné desaťročie osvojilo mnoho ľudí po celom svete. Prostriedky, ktoré spájajú moderné princípy elektroniky a umelej inteligencie si našli svojich milovníkov, ale aj odporcov. Bezpilotné prostriedky, ktoré boli sprvu používané najmä na vojenské účely rýchlo uplatnili svoje využitie aj v civilných sférach. Jednoduchá dostupnosť týchto prostriedkov zvyšuje ich atraktivitu pre rôzne skupiny ľudí. Často je vybavenie takéhoto prostriedku kamerou najväčším lákadlom pre nadšencov, ale aj podniky. Významné postavenie majú bezpilotné lietadlá v službách polície a záchranných službách, ako aj službách činných v trestnom konaní. Vo všeobecnosti môžeme konštatovať, že za nárast výskytu bezpilotných prostriedkov môže práve ich schopnosť odpovedať na potreby ľudí. Nedávno sa však začalo čoraz viac objavovať škodlivé používanie dronov. Ich použitie viedlo k vzniku mnohých problémov v oblasti bezpečnosti, ochrany a súkromia, ktoré sa prejavili rôznymi kybernetickými útokmi, hrozbami a výzvami, ktoré sú uvedené a vysvetlené v tejto práci. Vzhľadom na fakt, že bezpilotné prostriedky sú súčasťou leteckej dopravy, podliehajú istým reguláciám a pri ich používaní je nutné dodržiavať stanovené pravidlá. Najväčšie riziko spojené s používaním bezpilotných prostriedkov vo vzdušnom priestore je ich stret s lietadlom. V tejto súvislosti boli navrhnuté rôzne bezpečnostné návrhy a odporúčania, aby sa zabezpečila ochrana pred UAV.

2. Bezpečnosť v letectve

Ak existuje odvetvie, ktoré má tendenciu ocitnúť sa na fronte globálnych bezpečnostných a kybernetických rizík, je to letectvo. Napriek tomu, že letecká doprava predstavuje najbezpečnejší spôsob cestovania, vďaka svojim rozsiahlym medzinárodným regulačným rámcom majú letecké udalosti mimoriadny vplyv na povedomie verejnosti. Od nedávnych útokov až po tie, ktoré siahajú do ďalekej minulosti, sú hrôzostrašné správy silnejšie ako upokojujúce štatistiky. Rozvíjajúce sa technológie, meniaci sa charakter vojny a rastúca závislosť na kybernetickom priemysle menia povahu hrozieb. Týmto spôsobom zároveň vytvárajú tlak na priemysel, aby zabezpečil udržanie svojej úrovne bezpečnosti, pričom sa predpokladá, že počet cestujúcich v leteckej doprave sa bude stále zvyšovať.

3. Bezpečnostné hrozby

Bezpečnostných hrozieb v letectve môže byť niekoľko. Druhy hrozieb pramenia z niekoľkých faktorov, ktoré si určite zaslúžia dôkladnú analýzu. Existuje veľa „chorobných príznakov“, ktoré hrozia prekazením akýchkoľvek pokusov o dosiahnutie globálnej bezpečnosti. Tieto príznaky predstavujú hrozby pre globálnu bezpečnosť a zahŕňajú širokú škálu trendov, medzi ktorými je medzinárodný terorizmus iba jedným z mnohých. Napriek zjavným prekážkam, ktoré hrozby a zraniteľnosti predstavujú, v súčasnosti existuje zásadnejší problém, ktorý vylučuje splnenie medzinárodnej bezpečnosti – neexistuje spôsob, ako dosiahnuť úplnú medzinárodnú bezpečnosť. Nové bezpečnostné hrozby

vznikajú zo dňa na deň. Existuje však jedna oblasť medzinárodnej bezpečnosti, v ktorej hrozby, zraniteľnosti a procesy prevencie boli katalogizované, a tou je bezpečnostná ochrana civilného letectva. V dvadsiatom storočí došlo k exponenciálnemu tempu technologických zmien. Ľudia, ktorí disponujú takouto technológiou naďalej osídľujú planétu spôsobmi, ktoré vytvárajú nové a zvyšujú existujúce demografické tlaky. Našu kolektívnu budúcnosť budú čoraz viac formovať naše kroky a postoje v súčasnosti. Všetky tieto príznaky zmeny sa opierajú o súčasnú éru. Pokus o dôsledné a statické vymedzenie pojmov ako je terorizmus, nie je v takom dynamickom prostredí úplne bezproblémový. Podľa Paula Wilkinsona je terorizmus „osobitnou formou politického násillia, nie politickou filozofiou alebo hnutím. Je to vopred dané a jeho cieľom je vytvoriť atmosféru extrémneho strachu. Je zameraná na širšie publikum alebo cieľ než na bezprostredné obeť násillia. A to neodmysliteľne zahŕňa útoky na náhodné a symbolické ciele vrátane civilného obyvateľstva, a preto terorizmus predstavuje útok na ľudské práva.“[1]

Na základe záznamov z histórie bezpečnostnej ochrany letectva možno konštatovať, že pri mnohých príležitostiach boli pokusy o sabotáž úspešné, čo zdôrazňuje mylnosť existujúcich bezpečnostných systémov leteckých spoločností. Napriek rôznym protiopatreniam stále existuje potenciál úspešnej sabotáže, a zároveň existuje veľa spôsobov ako preniknúť do bezpečnostného systému leteckej spoločnosti. Aj keď je hrozba teroristického útoku pre civilné letectvo relatívne nízka, sabotáž lietadla vo vzduchu predstavuje najtraumatickejšiu a najviditeľnejšiu tvár medzinárodného terorizmu. Tento samotný aspekt by mal byť dostatočným stimulom na zabezpečenie úplného vykonávania akýchkoľvek medzinárodných právnych predpisov. Letecké predpisy radu L predstavujú implementáciu štandardov a odporúčaných postupov Medzinárodnej organizácie civilného letectva – ICAO. Zmluvné štáty organizácie ICAO sa zaväzujú plniť štandardy/opporúčania pre štát. Ak sa členské štáty rozhodnú plniť tieto odporúčania, je potrebné plniť ich v plnom rozsahu. V prípade, že sa rozhodnú neplniť nich, musia oznámiť ICAO-u odchýlku. Najrozšírenejšie druhy bezpečnostných hrozieb.

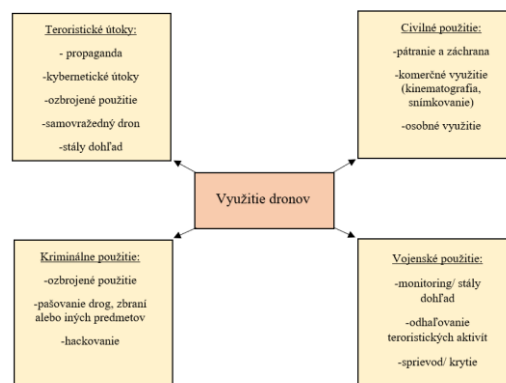
4. Hrozby 21. storočia

Svet bol nedávno svedkom významného nárastu počtu použitých UAV a globálnym neustálym nárastom dopytu po ich viacúčelových aplikáciách. Prenikavý aspekt týchto dronov je spôsobený ich schopnosťou odpovedať na potreby ľudí. UAV poskytujú používateľom *vtáčie oko*, ktoré je možné aktivovať a používať takmer kedykoľvek a kdekoľvek. Nedávno sa však medzi zločincami aj kybernetickými zločincami začalo objavovať škodlivé používanie UAV. Pravdepodobnosť a frekvencia takýchto útokov je veľmi vysoká a ich dopad môže byť veľmi nebezpečný, nakoľko má ničivé účinky. Preto je veľmi nevyhnutná potreba detekčných, ochranných a preventívnych opatrení. „Zločinci“ využívajú UAV na dosiahnutie svojich škodlivých cieľov. Technologický pokrok umožňuje ľahkú manipuláciu s týmito zariadeniami a dajú sa tak použiť na rôzne útoky. Vďaka bezdrôtovej komunikácii sú UAV zraniteľné voči rôznym útokom, vrátane únosov UAV. Tieto útoky môžu mať drastické účinky, najmä obchodné a nekomerčné straty. Od skorého zavedenia bezpilotných prostriedkov sa na UAV hľadí ako na zariadenia spojené s hlavnými bezpečnostnými problémami, čo z nich robí legitímne ciele, ktoré sú náchylné na

rôzne typy útokov. Ďalej ich možno použiť ako potenciálny vektor útoku pre používateľov so zlými úmyslami. Zvyšuje sa tak šanca na nový asymetrický typ vojny.

5. Zneužívanie UAV na protiprávne činy

Drony môžu nájsť svoje všestranné využitie v rôznych doménach. Napriek tomu, že vieme tieto zariadenia použiť v náš prospech, úmerne vzrastá popularita zneužívania týchto prostriedkov na vykonávanie kriminálnych alebo teroristických aktivít. V súlade so vzrastajúcou popularitou využívania dronov práve na tieto účely existujú nové výzvy spojené s niekoľkými otázkami bezpečnosti a bezpečnostnej ochrany.



Obrázok 1: Využitie dronov. Zdroj Vlastné spracovanie podľa Jean-Paul, et al., Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations, in Elsevier Public Health Emergency Collection 2020, doi: 10.1016/j.ijot.2020.100218]

6. UAV verzus letecká doprava

Je nevyhnutné, aby sme skonštatovali, že počet incidentov medzi UAV a lietadlami má stúpajúcu tendenciu. V tomto prípade je nevyhnutné riešiť porušenia bezpečnosti a súkromia na najvyššej vnútroštátnej úrovni. To zahŕňa prijatie veľmi prísnych postupov, ktoré obmedzujú schopnosť dronu zhromažďovať obrázky a nahrávať videá ľudí a nehnuteľností bez povoleného súhlasu.

Hlavné existujúce obmedzenia z hľadiska bezpečnosti dronov:

1. Dostupnosť na trhu – dostupnosť dronov na všetkých trhoch z nich urobila vhodnú voľbu pre teroristov a zločincov na vykonávanie nelegálnych aktivít. Potrebne sú ďalšie bezpečnostné kontroly a inšpekčné požiadavky, najmä pre majiteľov pokročilých typov dronov.
2. Slabé zabezpečenie – výrobcovia by mali brať bezpečnosť ako kľúčovú súčasť pri vývoji ľubovoľného firmvéru, hardvéru a aplikácií. Osvedčeným postupom na prevenciu väčšiny bezpečnostných útokov je preto zabezpečenie už „od plienok“.
3. Videnie/vyhnutie sa – operátori dronov majú obmedzené zobrazenie vzdušného priestoru, pri ovládaní dronu z obrazovky (napríklad počítača) je náročné spozorovať okolité lietadlá, prípadne zabrániť ich stretnutiu.

4. Oneskorené reakcie – pokiaľ nie je dron riadený plne autonómne, kontrola zariadenia je závislá na signáloch prenášaných z riadiacej stanice.
5. Slabé politiky – prijatie politik autorizácie a autentifikácie by malo byť prísne, aby sa zabránilo neoprávneným subjektom v prístupe do systému dronu, a taktiež aby sa zabránilo možným vnútorným hrozbám.
6. Izolácia v reálnom čase – vo veľkej miere sa prijíma a používa implementácia mechanizmov, ktoré okamžite odpoja/vypnú dron, akonáhle sa zistí bezpečnostná hrozba. Takto sa minimalizujú možné škody a zabráni sa zraneniam alebo úmrtiam. Rovnako dôležitá je potreba mať na akomkoľvek drone nainštalovaný príkazový čip návratu na základňu.
7. Fáza obmedzeného testovania – drony musia prejsť dôkladným testovaním, aby vyhodnotili zodpovedajúcu úroveň ohrozenia, keď sa dostanú do nesprávnych rúk. Preto aplikácie ovládajúce drony musia byť testované – aby sa zabránilo akejkolvek bezpečnostnej chybe, ktorú by mohli útočníci zneužiť vo svoj prospech.
8. Obmedzené možnosti forenznej činnosti – napriek tomu, že forenzne drony nie sú v súčasnosti prioritou, účinné a ľahké forenzne nástroje sú potrebné pri zisťovaní, lokalizácii, hľadaní a uchovávaní digitálnych dôkazov spolu s ich odpovedajúcimi zdrojmi.
9. Slabá úroveň ochrany – systémy ochrany dronov by mali obsahovať tri hlavné fázy (detekcia, oprava a ochrana).
10. Slabá schéma autentifikácie – boli odhalené spôsoby ako možno drony ľahko uniesť a zachytiť prostredníctvom procesu narušenia autentifikácie. Preto sa na vylepšenie tohto nedostatku odporúča vylepšiť viacfaktorovú autentifikačnú schému.

7. Incidenty

Od roku 2015 sa na celom svete dramaticky zvýšil počet incidentov UAV týkajúcich sa bezpečnosti a bezpečnostnej ochrany (v blízkosti letísk alebo lietadiel samotných). Hlavným problémom dronov operujúcich v blízkosti letísk a vo vzdušnom priestore je nebezpečenstvo kolízie medzi lietadlami s letovou posádkou a UAV. Napriek tomu, že niektoré lacnejšie verzie UAV nie sú schopné vykonávať dlhý let, sofistikovanejšie modely takýchto zariadení sú schopné stráviť vo vzduchu aj niekoľko hodín. To znamená, že keď sa v blízkosti letiska alebo jeho zariadení objaví dron, môže byť z bezpečnostných dôvodov letisko uzavreté. Najväčšie riziko, ktoré bezpilotné lietadlá predstavujú pre lietadlá s letovou posádkou, je ich nasatie do motorov, ktorého účinky majú devastačný charakter. To samozrejme predstavuje ďalšie náklady, prípadné meškania letov, „poškodenie mena“ letiska a podobne. Práve z tohto dôvodu sme sa rozhodli spomenúť v tejto práci niekoľko závažných incidentov, ktoré sa stali za posledné roky. Jedná sa o incidenty, ktoré mali vážny dopad na bezpečnosť.

8. „Anti-drone“/ „counter-drone“ systémy

Zvyšujúci sa počet výskytu dronov v zakázaných oblastiach, v blízkosti letísk, a samozrejme, aj neustále sa zvyšujúci počet incidentov „vo vzduchu“ viedol k narastajúcim obavám o

bezpečnosť a bezpečnostnú ochranu. Práve z tohto dôvodu vznikli technológie Anti-Drone/Counter-Drone (C-UAS). Takéto technológie sa môžu používať na letiskách. Spravidla sú rozdelené do troch hlavných kategórií: preventívne opatrenia, detekčné senzory a technológie a protipatrenia na zmiernenie protiprávnych činov.

9. Útoky UAV na kritické infraštruktúry letísk

Špiónážne letecké telekomunikačné systémy zamerané na zhromažďovanie informácií sú prvým krokom pri prieskume pri príprave útoku. Operátor môže špehovať akýkoľvek cieľ bez toho, aby bol detegovaný – vďaka schopnosti manévrovať a zhromažďovať informácie na veľkú vzdialenosť. Pripojená kamera UAV je schopná snímať údaje, získavať vysokokvalitný materiál (fotografie, video) a naspäť odosielať zhromaždené informácie s cieľom pripraviť útok [2]. Niekoľko štúdií [3, 4] dokázalo, že drony vybavené rádiovými vysielačmi/prijímačmi sa dajú použiť na získavanie nezašifrovaných informácií z rádiových prenosov alebo dokonca na vytvorenie vysokofrekvenčného šumu alebo telekomunikačného rušenia. Okrem toho môžu drony spôsobiť značné škody napríklad na dislokovaných alebo personálom neobsadených zariadeniach, ktoré podporujú letecké telekomunikačné systémy alebo inú kritickú infraštruktúru [2]. Najviac dotknutými takýmito útokmi sú CNS (Communication, Navigation and Surveillance) systémy. Tieto systémy zahŕňajú: letecké telekomunikačné systémy, navigačné systémy a prehľadové systémy. Systémy CNS môžu pri napadnutí stratiť integritu a svoju prevádzkovú účinnosť. To má zároveň za následok spomalenie toku premávky a služieb ATM. Navyše sa môžu vyskytnúť meškania alebo dokonca zrušené lety. Zároveň môže dôjsť k strate materiálu/neposkytnutiu služieb a to predstavuje vyvodenie právnej zodpovednosti voči iným poskytovateľom/letiskovým zariadeniam. Ďalším z mnohých populárnych útokov je útok na bezdrôtové siete a IT infraštruktúru letiska. Práve operačné stredisko letiska, ktoré je podporované centrálnou informačnou sieťou, slúži ako interakčný bod pre všetky zainteresované strany letiska. Riadi procesy od prevádzkových častí letiska, systémov riadenia letu až po operácie na zemi a systémy pozemnej obsluhy [5]. Operačné stredisko riadi všetku výmenu údajov a zdieľanie informácií, ktoré sa získavajú zo senzorov a iných inteligentných zariadení, a kvôli rozšíreným hraniciam letiska komunikujú prostredníctvom bezdrôtových sietí LAN alebo bezdrôtových sietí s rozsiahlymi oblasťami. Drony vybavené bezdrôtovými anténami a softvérom môžu využívať výhody komunikácie prístupového bodu, a takýmto spôsobom vystopovať a zachytávať dáta odoslané medzi bezdrôtovo pripojenými zariadeniami.

Aj keď existuje množstvo technologických riešení C-UAS, neexistujú žiadne medzinárodné štandardy pre správny návrh a používanie takýchto systémov práve na letiskách a ich kritických infraštruktúrach. Podľa FAA (Federal Aviation Administration) by letiská usilujúce sa o nasadenie detekčných systémov UAS mali poznať riziká spojené s nasadením týchto systémov [6]. Vzdušný priestor by mal byť primerane chránený. Najmä v koncových riadených oblastiach a riadených okrskoch letiska je nevyhnutné vylúčiť akékoľvek rušenie iných dôležitých rádiových signálov – systémy pre pristátie podľa prístrojov (ILS), prehľadové radary, samotná rádiová komunikácia a podobne. Rušenie je navyše v mnohých krajinách nezákonné, a rušenie ako také nemôže byť na mnohých letiskách použité, a to najmä z bezpečnostných

dôvodov. Rovnako rušenie GPS/GLONASS signálov v blízkosti letiska sa považuje za nebezpečné aj pre civilné letectvo, pretože mnohé lietadlá sa v súčasnosti pri vzlete a pristáti spoliehajú práve na satelitnú navigáciu.

10. Právne predpisy v Európskej únii

Pre zabezpečenie efektívnej a bezpečnej prevádzky vo vzdušnom priestore je nutné, aby boli vytvorené predpisy a postupy, ktoré sú schopné regulovať všetky oprávnenia a zákazy spojené s prevádzkou bezpilotných prostriedkov. Európska únia zriadila Agentúru Európskej únie pre bezpečnosť letectva - *European Union Aviation Safety Agency (EASA)*, ktorej primárnym cieľom je koordinovať postup štátov Európskej únie v oblasti civilného letectva. Na žiadosť Európskej komisie, členských štátov Európskej únie a ďalších zainteresovaných strán, vypracovala agentúra EASA dokument, ktorý definuje tri kategórie bezpečnostných požiadaviek na UAV, a to konkrétne: otvorená kategória, špecifická kategória a certifikovaná kategória.

V roku 2019 bolo vydané vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2019/947 o pravidlách a postupoch prevádzky bezpilotných lietadiel. Toto nariadenie komplexne zjednocuje pravidlá používania UAS v celej Európskej únii. S účinnosťou od 1. januára 2021 EASA štandardizovala predpisy týkajúce sa UAV vo všetkých svojich členských štátoch. Nový regulačný rámec nahrádza existujúce nariadenia, ktoré predtým prijali jednotlivé členské štáty. Okrem 28 členských štátov prijali nové predpisy o bezpilotných lietadlách aj Island, Švajčiarsko, Lichtenštajnsko a Nórsko.

Zodpovednosť za hybridné hrozby prevzala aj Európska únia. Aby si mohla plniť úlohu poskytovateľa bezpečnosti, mala by sa zamerať najmä na vzájomnú prepojenosť medzi vonkajšou a vnútornou bezpečnosťou. Definície hybridných hrozieb sú rôzne, a aby bolo možné reagovať na premenlivú povahu týchto hrozieb, musia zostať flexibilné. Pod pojmom hybridná hrozba si môžeme predstaviť akúkoľvek činnosť, ktorá je vykonávaná so zámerom poškodiť cieľ ovplyvňovaním jeho rozhodovania na miestnej, regionálnej, štátnej alebo inštitucionálnej úrovni (napríklad ovplyvňovanie verejnej mienky v kybernetickom priestore). Nástrojmi týchto hrozieb môžu byť masívne dezinformačné kampane a využívanie sociálnych sietí na propagandu alebo radikalizáciu/nábor/priame ovládanie priaznivcov. Hlavnú zodpovednosť za hybridné hrozby nesú samotné členské štáty, pretože jednotlivé slabiny sú väčšinou špecifické pre jednotlivé krajiny. Mnoho členských štátov Európskej únie sa však stretáva aj so spoločnými hrozbami, ktorých cieľom môžu byť aj cezhraničné siete alebo infraštruktúry.

11. Právne predpisy na Slovensku

Pravidlá lietania s bezpilotnými prostriedkami na území Slovenskej republiky sú vymedzené v zákone č. 143/1998 Z. z. o civilnom letectve (letecký zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov, podľa ktorého *lietadlá spôsobilé lietať bez pilota môžu vykonávať lety vo vzdušnom priestore len za podmienok, ktoré prihladajú na bezpečnosť letu a ktoré určí rozhodnutím Dopravný úrad po dohode s ministerstvom obrany.* [53]. Letecký zákon však bližšie nešpecifikuje prevádzku bezpilotných prostriedkov, preto bolo

Dopravným úradom vydané Rozhodnutie č. 2/2019 zo dňa 14. novembra 2019, ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky [7].

Na základe tohto rozhodnutia je prevádzka bezpilotných prostriedkov rozdelená do dvoch skupín (označenie A a B). Dovoľená minimálna vzdialenosť od vzťažného bodu letiska, v ktorej je možné vykonať let s takýmto bezpilotným lietadlom, je 5,6 km v maximálnej dovolenej výške od zeme 30 metrov. Pre hmotnostné kategórie C0- C2 je dovoľená minimálna vzdialenosť od vzťažného bodu letiska 3,7 km v maximálnej dovolenej výške od zeme 30 metrov. Pokiaľ je let vykonávaný v riadenom vzdušnom priestore, je potrebné vyplniť žiadosť a kontaktovať riadenie letovej prevádzky, najneskôr 24 hodín pred vykonaním letu. V žiadosti o povolenie na vykonanie letu bezpilotným prostriedkom v riadenom okrsku letiska (CTR) je operátor povinný uviesť základné informácie týkajúce sa plánovaného letu. Operátor je zároveň povinný oboznámiť príslušné stanovisko riadenia letovej prevádzky o vykonaní letu s časovým predstihom minimálne 15 minút. Riadenie letovej prevádzky je oprávnené vykonávať zmeny týkajúce sa plánovania letu - určenie iného priestoru pre vykonanie letu, určenie maximálnej výšky letu, určenie času vzletu a pristátia. V prípade ukončenia letu lietadla schopného lietať bez pilota je povinnosťou operátora oboznámiť o prerušení/ukončení letu príslušné stanovisko riadenia letovej prevádzky [7]. Na základe nariadenia Komisie (EÚ) 2019/947 . existujú aj výnimky, ktoré si môžu členské štáty upraviť samostatne. Ide konkrétne o minimálny vek pre lietanie s UAS, či pravidlá pre lietanie v riadenom vzdušnom priestore.

11.1. Súčasná situácia v Slovenskej republike

Všeobecné podmienky pre prevádzku bezpilotných prostriedkov sú jasne vymedzené a každý prevádzkovateľ by ich mal ovládať. Okrem rôznych rozdelení a technických vymedzení je však nevyhnutné dbať pri prevádzke na základné práva. V rozhodnutí Dopravného úradu č. 2/2019 zo 14. novembra 2019 je dané: „Let bezpilotným lietadlom sa vykoná tak, aby nebola ohrozená bezpečnosť iných lietadiel, osôb a majetku na zemi a aby sa zabezpečila ochrana životného prostredia pred hlukom a emisiami zo znečisťujúcich látok z bezpilotného lietadla.“ Neodmysliteľnou súčasťou prevádzky s bezpilotnými prostriedkami je ochrana súkromia. Dodržiavanie pravidiel ochrany osobných údajov, ktoré sú stanovené v smernici 95/46/ES o ochrane údajov alebo v rámcovom rozhodnutí č. 2008/977, sú nevyhnutné. Ďalšou oblasťou je ochrana osôb a majetku. Majetkové právo upravuje rôzne formy vlastníctva nehnuteľností a osobných vecí. Pod pojmom majetok možno rozumieť osobné vlastníctvo, vrátane duševného. Súčasná legislatívna úprava Slovenskej republiky však nijak bližšie nešpecifikuje následné kroky, ktoré možno podniknúť pri ohrození bezpečnosti iných lietadiel, osôb alebo majetku na zemi, spôsobené prevádzkou bezpilotných prostriedkov.

11.2. Oprávnenie bezpečnostných zložiek

Čo súčasná legislatíva špecifikuje, je zásah bezpečnostných zložiek, konkrétne Vojenskej polície, pokiaľ sa jedná o zabezpečenie obrany a bezpečnosti štátu. Zakázaná je činnosť bezpilotného prostriedku v chránenom vojenskom

objekte, a to do výšky 120 metrov nad zemou, ktorý je označený zákazom fotografovania. Operátor bezpilotného prostriedku sa pri porušení takéhoto zákazu dopúšťa priestupku. V ustanovení § 20d zákona č. 124/1992 Zb. o Vojenskej polícii v znení neskorších predpisov je uvedené, cit.: „vojenský policajt je pri zaistovaní ochrany chráneného vojenského objektu oprávnený prerušiť činnosť lietadla spôsobilého lietať bez pilota na mieste, kde je to zakázané“. Zároveň „o použití donucovacieho prostriedku prerušenia činnosti lietadla spôsobilého lietať bez pilota rozhoduje vojenský policajt podľa konkrétnej situácie tak, aby použitý donucovací prostriedok a intenzita jeho použitia neboli zjavne neprimerané zakázanej činnosti. Vojenský policajt upustí od použitia donucovacieho prostriedku, ak by prerušením činnosti lietadla spôsobilého lietať bez pilota mohlo dôjsť k ohrozeniu života alebo zdravia“ [8]. Vojenský policajt je oprávnený použiť zbraň iba ak nie je možné prerušiť činnosť bezpilotného prostriedku na mieste, kde je takáto činnosť zakázaná, iným spôsobom. Pod pojmom zbraň sa rozumie strelná zbraň, bodná zbraň alebo zbraň hromadnej účinnosti. Použitíu zbrane však predchádza výzva vojenského policajta od upustenia vykonávania protiprávneho činu s výstrahou, že bude použitá zbraň. Zároveň je policajt povinný vykonať varovný výstrel. Výstraha a varovný výstrel môže absentovať len ak je vojenský policajt napadnutý alebo ak je ohrozený život alebo zdravie inej osoby/vec neznesie odklad. Poslednou výnimkou je situácia, kedy vojenský policajt nie je schopný lokalizovať osobu, ktorá ovláda bezpilotný prostriedok a ide o použitie zbrane podľa oseku 1 písm. i).

Zároveň zákon č. 4/2001 Z. z. o Zbore väzenskej a justičnej stráže v znení neskorších predpisov hovorí, že v objektoch, ktoré sú chránené zborom, je zakázaná činnosť bezpilotných prostriedkov, ak nebola takáto činnosť vopred písomne odsúhlasená generálnym riaditeľom. Taktiež tento zákon oprávňuje príslušníka zboru vykonať potrebné úkony na zabránenie činnosti takéhoto prostriedku, ak by jeho činnosťou mohol byť zmanený alebo inak ohrozený účel výkonu väzby, účel výkonu trestu odňatia slobody, účel výkonu detencie¹¹ alebo bezpečnosť chránených objektov. Podľa ustanovenia § 13c je príslušník zboru oprávnený vykonať tieto úkony najmä rušičkou, špeciálnymi donucovacími prostriedkami alebo strelnou zbraňou [9] [12].

Na základe zistených informácií a analýzy zákonov platných v Slovenskej republike môžeme konštatovať, že súčasná legislatívna úprava týkajúca sa oprávnenia prerušiť činnosť bezpilotných prostriedkov oprávňuje na vykonanie takéhoto aktu len dve vyššie spomenuté bezpečnostné zložky, a to konkrétne Vojenskú políciu a príslušníkov Zboru väzenskej a justičnej stráže. Toto oprávnenie samozrejme podlieha rôznym podmienkam, ktoré je nutné splniť.

12. Návrh

Legislatíva v oblasti civilného letectva si vyžaduje neustálu zmenu a aktualizáciu. Letecká doprava predstavuje dynamické odvetvie, preto je veľmi často nutné okrem zmien dopĺňať aj právne predpisy o nové oblasti a požiadavky. Samotné UAV už dávno nie sú vo vzdušnom priestore ničím výnimočným. Práve naopak, vo veľkej miere sú UAV súčasťou vzdušného priestoru, a je na čase, aby sa orgány začali zaoberať tým, ako ich prevádzka ovplyvňuje bezpečnosť, bezpečnostnú ochranu a riadenie letovej prevádzky. Vzhľadom na fakt, že technológia v

oblasti bezpilotných prostriedkov napreduje raketovým tempom, treba predpokladať, že nové hrozby budú taktiež rásť raketovým tempom. Mnoho krajín už podniká veľké kroky v implementácii a obrane proti bezpilotným lietadlám (USA, Spojené kráľovstvo, Belgicko, Bulharsko, Poľsko a mnoho ďalších). Na spomínané letiská boli nainštalované špičkové detekčné systémy s cieľom zvýšiť bezpečnosť a bezpečnostnú ochranu v oblasti letiska, a zároveň „bojovať“ proti neoprávnenej činnosti UAV. Podľa mnohých odborníkov je však akýkoľvek úmyselný útok schopný tieto detekčné systémy obísť. Najdôležitejšia otázka, ktorú si však treba položiť, znie: Stačí sa riadiť tým, čo nám hovorí Ústava? Naozaj „Každý môže konať čo nie je zákonom zakázané, a nikoho nemožno nútiť, aby konal niečo, čo zákon neukladá? [10]“. Stačí sa riadiť tým, že prevádzkovateľ môže konať všetko, čo mu zákon nezakazuje, alebo je potrebná reaktívna činnosť a riešenie problematiky aktívnej ochrany letísk?

Pokiaľ by Slovenská republika nasledovala vzor zo zahraničia a implementovala by na letiská detekčné systémy, ktoré sú schopné nie len detegovať, ale aj zneškodniť bezpilotné prostriedky, bude musieť vytvoriť k tomuto zákroku príslušnú legislatívnu úpravu - prevádzkovatelia civilných letísk nie sú policajno-bezpečnostné zložky, ktoré majú takéto oprávnenie, ale právnické osoby alebo fyzické osoby. Nie na všetkých letiskách je, ani medzinárodných, stála prítomnosť príslušníkov Policajného zboru, pričom ide o príslušníkov hraničnej a cudzineckej polície. Zamestnanci ochrany letiska sú držiteľmi preukazu odbornej spôsobilosti podľa zákona č. 473/2005 o poskytovaní služieb v oblasti súkromnej bezpečnosti a o zmene a doplnení niektorých zákonov (zákon o súkromnej bezpečnosti) v znení neskorších predpisov, pričom konajú na základe oprávnení vymedzených najmä v tomto a leteckom zákone.

Neraz sa stretávame s rôznymi názormi, ktoré sú spojené so zneškodňovaním bezpilotných prostriedkov napríklad v oblasti letiska. Predstavuje ohrozenie širšej verejnosti v dôsledku zneškodnenia bezpilotného prostriedku správne riešenie? Neohrozuje takáto činnosť ľudí viac ako samotné UAV? Ideálne by bolo, keby sa podarilo UAV eliminovať už na hranici priestoru letiska. Pre zločincov je rovnako ako vzdušný priestor atraktívny aj priestor letiska samotného (letová časť, terminál, a podobne). Páchatelia sa na tieto miesta zameriavajú z dôvodu veľkej koncentrácie prítomných ľudí – ich cieľom je spôsobiť čo najväčšie škody na životoch a majetku. Uplatnením jednoduchého princípu - keď raz niečo vzlietlo na oblohu, musí z nej aj dopadnúť naspäť na zem – sa nám vynára ďalšia otázka. Je horšie, ak zostrelené UAV dopadne na zem a pri páde poškodí lietadlo, alebo fakt, že výbušné zariadenie pripevnené na bezpilotnom prostriedku môže zabiť celú posádku lietadla? Riskujeme, že vystrelené náboje doletia na rôzne miesta, no nie je to „menšie zlo“, než nechať vyhodiť do vzduchu celé lietadlo s niekoľkými osobami na palube, resp. dopustiť zrážku drona (nasatie do motora) s lietadlom najmä pri vzlete?

Práve kvôli týmto nezodpovedaným otázkam by legislatívna úprava nemala upravovať „len“ oprávnenie zneškodniť bezpilotný prostriedok, ale mala by zároveň vyriešiť túto „morálnu dilemu“. Ako sme už v práci spomenuli, súčasná platná legislatíva nám špecifikuje zásah bezpečnostných zložiek, a to konkrétne Vojenskej polície a Zboru väzenskej a justičnej stráže, pokiaľ sa jedná o zabezpečenie obrany a bezpečnosti štátu. Podľa nášho názoru je potrebné takto oprávniť aj iné osoby, ktoré síce nepredstavujú bezpečnostné zložky SR, ale z

rovnakých dôvodov (zabezpečenie obrany a bezpečnosti štátu alebo ochrany zdravia a života osôb) takéto oprávnenie potrebujú.

Kľúčovým riešením problematiky hrozieb spojených s používaním bezpilotných prostriedkov je byť vždy o krok vpred. Rýchlo rozvíjajúce sa možnosti zneužívania bezpilotných prostriedkov nemôžu predbehnúť príslušné orgány v možnostiach reagovať.

13. Záver

Predmetom tohto článku bola analýza novodobých hrozieb v oblasti bezpečnostnej ochrany [11]. Po tom, ako sme si predstavili hrozby, ktoré sú v súčasnej modernej spoločnosti najvýznamnejšie, sme sa zamerali práve na bezpilotné prostriedky. Bepilotné prostriedky sa tešia obrovskej popularite, no zároveň predstavujú pre leteckú dopravu obrovskú hrozbu, pokiaľ nie sú používané správne, respektíve s dobrým úmyslom. Nárast incidentov stúpa priamoúmerne s nárastom výskytu týchto zariadení vo vzduchu. Ako sme sa mohli v článku dozvedieť, v súčasnosti existuje mnoho účinných systémov a zariadení, ktoré sú schopné detegovať bezpilotné prostriedky. Čo však absentuje, je právna úprava, ktorá by oprávňovala prevádzkovateľov letísk na zásah voči bezpilotným prostriedkom, ktoré ohrozujú bezpečnosť alebo sa nachádzajú v zakázaných zónach. Je veľmi dôležité, aby orgány s normotvornou právomocou v oblasti civilného letectva reflektovali na súčasnú situáciu a dynamický charakter tejto oblasti a reagovali potrebnou zmenou a doplnením príslušných právnych predpisov.

Referencie

- [1] WILKINSON, P.: How to combat the reign of terror, *New Statesman* 2.august 1996, s.12
- [2] *Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber-Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies* [online]. Dostupné na internete: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7349857/#B38-sensors-20-03537>
- [3] *Security, Privacy, and Safety Aspects of Civilian Drones: A Survey* [online]. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/publication/313329204_Security_Privacy_and_Safety_Aspects_of_Civilian_Drones_A_Survey
- [4] *Smart Airport Cybersecurity: Threat Mitigation and Cyber Resilience Controls* [online]. Dostupné na internete: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/1/19>
- [5] *Addressing airport cyber- security (Final report)* [online]. Dostupné na internete: https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/news/Addressing_airport_cyber_security_Full_0.pdf
- [6] *FAA Letter from FAA Office of Airports on Guidance on Use of Counter UAS Systems at Airports* [online]. Dostupné na internete: https://www.faa.gov/airports/airport_safety/media/attachment-1-counter-uas-airport-sponsor-letter-july-2018.pdf

- [7] *Dopravný úrad. Rozhodnutie č. 2/2019 ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky* 2019. [online]. Dostupné na internete: <http://nsat.sk/wp-content/uploads/2019/11/R2-2019.pdf>
- [8] *Zákon č. 124/1992 Zb. o Vojenskej polícii* [online]. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/1992/124/>
- [9] *Zákon 4/2001 Z. z. Zákon o Zbore väzenskej a justičnej stráže* [online]. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2001/4/>
- [10] *460/1992 Zb. Ústava Slovenskej republiky* [online]. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/1992/460/>
- [11] Galierikova, A., Materna, M., Sosedova, J. 2018. Analysis of risks in aviation. *Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2018, 2018-October*, pp. 1427–1431.
- [12] Novák Sedlačková, A., Kandra, B. 2015. *Medzinárodnoprávna úprava ochrany civilného letectva pred činní protiprávneho zasahovania*. Bratislava : DOLIS, 2015. - 132 s., ilustr. - ISBN 978-80-8181-028-2.

UNRULY PASSENGERS ON BOARD AIRCRAFT

NEPRISPŔSOBIVÍ CESTUJÚCI NA PALUBE LIETADLA

Marianna Lásková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
laskova@stud.uniza.sk

Alena Novák Sedláčková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
alena.sedlackova@fpedas.uniza.sk

Abstract

Unruly behaviour on board aircraft can cause a minor inconvenience to the other passengers, or else, it can escalate to such a degree where the passengers' safety is jeopardised. Over the last three decades, the number of unruly passenger incidents has increased dramatically. The frequency and severity of such incidents had become a growing concern of the international community and aviation industry itself. Consequently, different preventive and countermeasures have been implemented to cope and deter such behaviour. The primary aim of this paper is to focus on the legal aspect of trying and prosecuting the offenders who have committed an offence or act that jeopardises the safety of aircraft or good order on board. This was accomplished by analysing the international legal framework governing unruly behaviour, namely the Tokyo Convention of 1963 and its amending Montreal Protocol from 2014. The main factor that was observed is the way how these legal instruments addressed the provisions for trying the alleged offenders and their effectiveness in the deterrence of unruly behaviour. In this paper, formal legal and case-study methods, along with comparative reasoning, were used to analyse the legal instruments. The findings showed that the Tokyo Convention had made a valuable contribution to establishing an international security legal framework. However, considerable deficiencies of this treaty have hindered the global legal uniformity and effective enforcement mechanism. Those shortcomings were to be eliminated by the Montreal Protocol. Nevertheless, the analysis revealed that, while it succeeded to eliminate the most triggering shortcoming of jurisdiction, it failed to address the lack of strong enforcement and has even constrained the powers of in-flight security officers. Regrettably, that proves to impede the achievement of the Montreal Protocol's objectives, and it sees only a small added value. Hence, further improvements are needed to ensure that it is effective in the realities faced by modern aviation.

Keywords

Unruly passengers, offences on board aircraft, international aviation law, Tokyo Convention 1963, Montreal Protocol 2014

1. Introduction

Over the past few decades, air transport has become more and more approachable to the general public. The competitiveness of the aviation environment has increased worldwide connectivity and reduced airfares; so, flying was no longer an adventure or a novelty. It became a necessity. With aircraft becoming bigger and faster, the passenger traffic has been increasing each year significantly. While the advances in aviation have been outstanding, the industry was facing a constant threat from unruly passengers.

Such threat has forced the international community and particularly international organisations to undertake political and strategic measures to prevent incidents on board aircraft. The increasing frequency and severity of such incidents is alarming, and the aviation industry has been calling for robust measures for decades.

The phenomenon of unruly passengers on board aircraft is a real challenge and ongoing concern for airlines worldwide. Unruly passenger incidents range from the least significant acts to more serious ones, such as refusal to comply with lawful commands or instructions, harassment, verbal abuse, and others. Despite the fact that such acts are committed by a minority of passengers, they have a disproportionate impact. They cause

inconvenience, affect the passengers' well-being, endanger the health and safety of crew and passengers, and lead to significant operational disruption and additional expenses for airlines.

This article will focus on the legal aspect of prosecuting unruly passengers who have committed an offence or act that jeopardises safety on board aircraft. For that reason, it will provide an analysis of the provisions in the Tokyo Convention of 1963 and its amending Montreal Protocol of 2014. The further intention of the article is to analyse the shortcomings and legal gaps of the treaties and propose a list of potential amendments and solutions that should be considered as possible improvements in the future.

2. Convention on Offences and Certain Other Acts Committed on Board Aircraft, 1963

The era of the 1960s was marked by an upsurge of onboard violence, which coincided with a significant increase in unlawful aircraft seizures [1]. Upon facing the lack of a globally recognised mechanism to exercise national jurisdiction over unruly passengers, the political representatives around the world were compelled to pursue an aim to find universally applicable solutions under the auspices of the newly founded ICAO. Subsequently, the ICAO Legal Committee prepared a draft of the Convention on Offences and Certain Other Acts Committed on

Board Aircraft that was concluded in Tokyo on September 14, 1963—hence commonly referred to as Tokyo Convention [2].

The Convention has contributed considerably to the establishing of more explicit rules of jurisdiction over offences committed on board aircraft. First and foremost, it identified unruly behaviour on board aircraft as:

“acts which, whether or not they are offences [against penal law], may or do jeopardize the safety of the aircraft or of persons or property therein or which jeopardize good order and discipline on board [3].”

Furthermore, it implemented four main clauses that represented a breakthrough in aviation security law:

1. The State of aircraft registration was given the authority to exercise jurisdiction over offences committed on board the aircraft while in-flight, regardless of where the aircraft might be.
2. The aircraft commander was given the power to deliver or disembark a passenger who has committed or is about to commit an offence or an act that jeopardises the flight’s safety. Furthermore, the aircrew and appointed passengers were not supposed to be held responsible in any legal proceedings resulting from the treatment against the offender.
3. Duties and powers of the Contracting States were identified in respect to delivered unruly passengers.
4. The Convention defined the crime of unlawful aircraft seizure.

These provisions have been of significant benefit to the international society since the addressing of offences committed on board had been ambiguous prior to the ratification of the Tokyo Convention.

2.1. Shortcomings and Legal Gaps of the Tokyo Convention

At the time of drafting the Convention, most of the States involved had been inauspiciously affected by World War II and the Cold War [1]. Concerned about the sovereignty and security of their airspaces, these countries have embraced a protectionist approach to some of the Convention’s provisions.

Over the years, the States’ reservations have proven to be unavailing, and the Tokyo Convention was considered to be not a very effective deterrent to unruly behaviour. Moreover, it actually could not keep up with the modern realities.

This statement was substantiated by a number of legal shortcomings and gaps in the Convention that allowed the offenders to escape justice and left the aircraft operators to bear the financial consequences of the unruly passenger incidents.

2.1.1. Scope

A substantial shortcoming of the Tokyo Convention lies in the definition of the scope. Article 1(1) stipulates that the Convention shall apply to the offences against the penal law and acts that jeopardise the safety of the aircraft, people or the good

order and discipline on board [3]. However, the Convention does not describe what constitutes an “offence,” leaving this matter to be determined by the penal law of each individual State. Owing to the imperfection of the provision, the conduct that may constitute an offence in a State of boarding or aircraft registration may not be considered an offence in a State where an unruly passenger is delivered to the authorities [4].

2.1.2. Temporal Scope

Article 1(3) of the Convention states:

“For the purposes of this Convention, an aircraft is considered to be in flight from the moment when power is applied for the purpose of takeoff until the moment when the landing run ends [3].”

The choice of definition of aircraft being in flight has weakened scope application as it does not encompass the time of embarkation/disembarkation and taxiing. If an unruly passenger incident occurs during such time, the Convention will not apply to the incident.

That is at odds with Article 17 of the Warsaw Convention of 1929, which holds the aircraft operator liable for the wounding of a passenger caused by another passenger on board the aircraft and in the course of embarkation or disembarkation. Hence, an aircraft operator would be legally responsible under the Warsaw Convention, but the unruly passenger would not be liable under the Tokyo regime for committing an offence on board aircraft [4].

2.1.3. Jurisdiction

As already mentioned, the Convention granted jurisdiction to exercise power over the offences to the State of registration. However, this provision caused considerable difficulties in the legal prosecution of offenders. The reason is that in most cases, an unruly passenger who committed an offence on board the aircraft was handed over to the authorities of a foreign State with no legal power over the aircraft. The State of registration, which was in a position to enforce the law, was rarely able to do so because the alleged perpetrator was not physically present in its territory [4].

Cases where the offender is physically present in a State of landing but should be tried in the State of aircraft registration, are usually settled with extradition for prosecution [2]. It is important to note that the State of registration is unlikely to pursue extradition for minor offences, particularly if a high cost of extradition procedures outweighs the apparent severity of the conduct in question [4]. Nonetheless, because a specific act does not merit extradition does not necessarily mean that the conduct is undeserving of any sanction.

2.1.4. Leased Aircraft

Another legal issue arises when aircraft is registered in one country but operated by an aircraft operator based and legally present in another State. According to the Tokyo Convention, the State of registration should be the authority to exercise jurisdiction over the offender. This issue undertakes even greater importance in the context of legal proceedings, extradition, and procedures for the recourse. In cases when an

offender is required to be extradited, the State of registration may be reluctant to take any legal action, especially when no citizen or legal entity is aggrieved [5]. Under the circumstances, the State of registration will probably avoid the inconveniences and costs for extradition and prosecution.

In such cases, the State of operator would probably feel more competent to follow the legal actions against an alleged perpetrator. However, the Convention does not recognise the State of operator and its powers.

2.1.5. Jurisdiction Conflict

As mentioned earlier, the Tokyo Convention vested the right to exercise jurisdiction over offences on board aircraft to the State of registration. Nevertheless, this right is nonexclusive as the Convention identifies in Article 4 other authorities that may exert their powers over the foreign aircraft.

This provision allows for a potential conflict of jurisdictions since many States may feel entitled to claim their jurisdiction. The Tokyo Convention omits a system of priorities or concurrency governing the order in which the several possible criminal jurisdictions should be exercised [6]. Though it indicates a priority to the State of registration, that does not always imply that such a State would be the first to exert its jurisdiction.

2.1.6. Omission of Acts Jeopardising Safety

As outlined in subchapter 1.1.1, the Convention's scope distinguishes offences against penal law and acts that may jeopardise the safety of the aircraft or people on board or which may jeopardise the good order and discipline on board.

Nevertheless, several substantial provisions have omitted the jeopardising acts and focused solely on the offences against the penal law. Those are the provision that defines the powers of the State of aircraft registration and other States under Article 4, which are allowed to interfere with the foreign aircraft. The provision's wording supports the interpretation that the Contracting States are not required to extend their jurisdiction over the jeopardising acts. Hence, the intended jurisdiction system under which at least one State—the State of registration, has the power over offences and acts on board is flawed.

2.1.7. Lack of Strong Enforcement

The absence of a robust enforcement mechanism is considered as another significant shortcoming of the Tokyo Convention. That is especially applicable to the concept of "either extradite or prosecute," which means that a State with physical control over the alleged offender should either extradite that person or exercise power and bring him/her to justice.

The Convention does not mandate an obligatory jurisdiction, which accounted for States' lack of willingness and motivation to proceed with legal actions against the offender.

Furthermore, the Convention explicitly delineates in Article 16(2) that it does not establish an obligation upon the Contracting States to grant extradition. Since the Convention lacks a legal scheme of obligatory extradition, the States are left to seek extradition of the offenders, if at all, on the grounds of the extradition treaties.

2.1.8. Other Shortcomings

1. *Double jeopardy*: The text adopted in Tokyo is silent on the issue of double jeopardy or *ne bis in idem* [7, 8]. Overall, it is undoubtedly preferable to have such a clause included in a treaty with a global implication rather than not.
2. *Right of Recourse*: The unscheduled landing to deliver an unruly passenger to the authorities may considerably increase the carrier's operating costs [4]. Unfortunately, the Convention does not grant a right of recourse to the aggrieved aircraft operators. Those are left to bear the financial consequences of the incidents themselves or seek to recover incurred costs through civil proceedings or reparations orders in the criminal proceedings.
3. *Cooperation of Contracting States*: The Convention does not encourage the Contracting States to cooperate, coordinate actions or share necessary information about the incidents.
4. *Aircraft Commander*: The Convention uses the term "aircraft commander," which on its own does not constitute an issue. However, "pilot in command" would be a more appropriate term, as the powers of the captain could be transferred to the second pilot in case of captain's incapacitation or neurotic behaviour, as was the case of the JetBlue Flight 191 and its disruptive captain [9].

3. Protocol to Amend the Convention on Offences and Certain Other Acts Committed on Board Aircraft, 2014

Notwithstanding the fact that the Tokyo Convention is one of the most widely adopted conventions in ICAO history, modern realities have shown that its effectiveness is limited and does not reflect the commercial transformation of the industry. The Tokyo Convention, in particular, failed to address the question of leased aircraft, which at the time of drafting seemed insignificant. Nowadays, it became a compelling issue. In 2014, the international society concluded Protocol to Amend Tokyo Convention under the auspices of the ICAO. This Protocol aimed to amend the shortcomings that the Convention omitted.

The Protocol managed to address the Jurisdiction issue by vesting the State of operator a power over leased aircraft. The State of landing was identified with power over the foreign aircraft. Furthermore, the drafters incorporated provisions on double jeopardy, due process, and a right of recourse.

3.1. Shortcomings and Legal Gaps of the Montreal Protocol

Regrettably, as the following pages will demonstrate, the provisions intended to amend the inadequate clauses of the Convention were eventually left out of the Final Act. Some of the revised provisions have created new gaps and caused new shortcomings to emerge. Others even discouraged certain delegations from signing the concluded Protocol.

3.1.1. Scope

The industry has been calling for a precise specification of what constitutes the "offence" and "acts that jeopardise the safety". However, even though the drafters proposed such a list of offences to be incorporated into the scope of the Protocol. The

delegates refused the notion and left the scope in its original shape.

Given the decision made, some delegates have expressed concern over particular behaviour towards air crew, which should not be tolerated in any circumstances. To heighten the crew's protection, the Protocol has incorporated Article 15 *bis* that "encourages" States to initiate the legal proceedings in the events of offences involving physical assault or threat to the crew members and in cases where the passengers refuse to follow the instructions of the crew.

With the formulation of Article 15 *bis* a question arises, whether the Article represents a sufficient development and brings the necessary change. The unfortunate—yet by some delegates desirable choice of the word "encouraged" basically makes any enforcement obligation nonbinding. That was a fairly unexpected outcome in the context of behaviour that, according to the delegates' polling, no State seems to have forgotten to criminalise [10].

3.1.2. Temporal Scope

Another flaw, which the Protocol attempted to address, is the temporal scope defined in Art. 1(3) of the Tokyo Convention. The scope of the revised article has been extended to include the period from the moment all aircraft doors are closed after embarkation until the moment those doors are opened for passengers to disembark.

The improvement in the scope applicability is appreciated; however, the amended definition does not align with the airline's liability under the Warsaw Convention.

Nonetheless, one may wonder why the Convention that addresses acts and offences committed on board aircraft, as definite in the title, has the scope of application limited to the phase when the aircraft is in flight.

3.1.3. Jurisdiction

The Tokyo Convention's jurisdictional deficiency was addressed in Article 3(1 *bis*), and the Protocol identified three authorities that are "competent to exercise jurisdiction over offences and acts committed on board". The first one is the authority of the State of aircraft registration. Another one is the State of landing and finally, the State of operator.

The article empowered the positions of the State of landing and allowed the State of operator to exercise jurisdiction over the leased aircraft. Furthermore, the provision specifically refers to both offences and acts.

However, one may ask how to comprehend a choice of words "competent to exercise jurisdiction." According to the Legal Information Institute, the term competent refers to "the ability to act in the circumstances, including the ability to perform a job or occupation, or reason or make decisions [11]".

Nevertheless, does the ability to exercise jurisdiction imply that it is mandatory or optional? The Legal Committee decided to improve the enforcement mechanism of the Convention and asked for mandatory jurisdiction provisions. However, the wording used in Article 3(1 *bis*) appears ambiguous and allows uncertainty of the obligation.

3.1.4. State of Landing and State of Operator Jurisdiction

The provision in Article 3(2*bis*)(b) lays down the obligation for the State of operator to establish jurisdiction over leased aircraft with permanent residence in such State. It does, however, address the offences while leaving out the jeopardising acts. The provision's wording suggests the interpretation that the State of Operator is not eligible to exercise jurisdiction over the acts that jeopardise the safety of aircraft, people, or good order on board.

Likewise, the State of landing shall establish jurisdiction as per Article 3(2 *bis*)(a) in these two cases: over the offences committed on board aircraft that has scheduled landing or takeoff in such State or over the offences that jeopardise the safety of aircraft, people, or good order on board. It is worth noting that Article 3(2 *bis*) omits an event of unscheduled landing. A diversion represents a significant operational disruption, and the pilots opt for this solution only as a last resort. However, unless the offence meets the safety jeopardising constrain, the State of landing would not be eligible to exercise jurisdiction under the amended Convention.

The delegates decided to exclude the diverted flights from the State of landing jurisdiction since they do not provide legal certainty. The offenders may not know under what jurisdiction they would be tried because the State of landing is determined based on the captain's decision. The drafters of the Protocol tried to avoid legal uncertainty by incorporating Art. 3(2 *ter*), which lays down the following: "In exercising its jurisdiction as State of Landing, a State shall consider whether the offence or act in question is an offence in the State of operator [emphasis added]."

The formulation does not guarantee unambiguous interpretation. It is not clear to what extent the State of landing should pay attention to the findings of whether the occurrence constitutes an offence in the State of operator. Does it mean that the State of landing cannot proceed with the legal actions if the State of operator does not consider the occurrence in question as an offence? Or can the State of landing still decide to carry on with the legal proceedings even though the State of operator does not deem the occurrence an offence? It appears that each Contracting State can decide to interpret the provision in its own way.

3.1.5. In-flight Security Officers (IFSO)

The need for universal legal recognition of the IFSOs' powers and immunities was fundamental for modernising the Tokyo Convention. The IFSO's status became the most time-consuming and challenging topic at the Diplomatic Conference, just as it was in the Legal Committee [12]. At the Conference, the delegates were offered two options of Article amending the powers of the IFSO to choose from [13].

The first option would have vested the aircraft commander and the IFSO same authority to impose measures on the passengers in accordance with the original Art. 6(1)(a) and (b). The same option would also highlight the existing chain of command where only the aircraft commander would have the authority to disembark or deliver the alleged offender [13].

The second option would allow for the absolute authority of the aircraft commander, and the IFSO would only be given the

power to take preventive measures to immediately protect the safety of the aircraft and people on board [13].

The delegates endorsed the second option with minor alterations, whereas the first option was only supported by five delegations [12]. The delegates decided to limit the powers of the IFSO in order to uphold the *status quo* and preserve control over the aircraft in the hands of the aircraft commander. It should be noted that the pilot's decision on the safety concern in the cabin is dependent on the information given to him by the cabin crew while he remains locked in the cockpit. The IFSO, conversely, can assess the situation right away and apply necessary measures.

Note that the States that opposed the full authority for the IFSOs could still decide not to allow a foreign IFSO in their airspaces under Article 6(4). However, by limiting their powers, they have discouraged States—deploying the IFSOs from ratifying the Protocol. Unfortunately, that was a case of the United States and several other States [14, 15].

4. Conclusion

Notwithstanding the shortcomings mentioned above, the provisions concerning the in-flight security officers turn out to be a stumbling stone that has divided the Diplomatic Conference. The majority of States opposed the proposal to grant full authority to in-flight security officers. As expected, those were the States that did not deploy officers on their aircraft nor allowed foreign officers in their territory. Unfortunately, the deficient authority of in-flight security officers has become a significant deterrent for ratifying the amended Convention. The States affected by the limitation concluded that they would not support the Protocol. Only 24 of the 86 states presented signed the Final Act. The States of the European Union or North America were not among them. The paucity of signatures suggests that the Protocol did not meet the Conference's objectives and left many flaws unresolved.

In conclusion, the effective way to discourage future offences is through preventive measures at the airport, which do not achieve the same level of deterrence that could exist under a uniform international legal system. However, neither Tokyo Convention nor Montreal Protocol does provide a strong legal framework. The success of the Tokyo Convention does not lie in its substance but, instead, in the willingness of States to implement it. The prospects for Montreal Protocol ratification, on the other hand, are not likely to achieve similar widespread acceptance. The rationale is that the State of operator and State of landing jurisdiction may not provide a necessary counterweight to the disadvantages of the IFSO provisions and other shortcomings.

Finally, in a few words, the Montreal Protocol missed the opportunity to improve the somewhat deficient Tokyo Convention while only offering small benefits. However, the number of unresolved shortcomings demonstrates the States' indifference in recognising the importance of creating a strong legal framework governing the offences and acts committed on board. Until there is a general desire for such a framework, which may take another decade or two, the States should pursue their initiatives and amend national laws with the following provisions:

1. Implementing a list of offences: Enumerated offences and acts can secure the uniform interpretation of the Protocol's scope. Wherever such offence would occur, the Contracting State would commence legal actions against the alleged offender.
2. Improving formulation of mandatory jurisdiction: The formulation of mandatory jurisdiction now allows for ambiguity, which may deteriorate the obligatory requirement.
3. Extending the definition of aircraft in flight: Currently, the Protocol does not align the liability of the aircraft operator under the Warsaw Convention of 1929 and Montreal Convention of 1999 with the scope application of the Protocol. The Protocol should address all incidents that occur on board and not only when the aircraft is in flight.
4. Extending the jurisdiction of the State of landing and State of operator: The State of landing and State of operator should be eligible to exercise jurisdiction over both offences and acts that jeopardise the safety or good order on board. Furthermore, the State of landing should be able to exercise its jurisdiction over the alleged offender on board the diverted aircraft.
5. Improving the legal certainty: The Landing State should be, in case of diverted flight, eligible to exercise its jurisdiction only if the act in question constitutes an offence in the State of landing. Currently, Article 3(2 *ter*) uses ambiguous formulation.
6. Extending the powers of in-flight security officer: The in-flight security officer should be granted the power to act preventively in every safety-related occurrence on board. Furthermore, it would improve the overall efficiency if the in-flight security officer could act without prior authorisation from the aircraft commander.
7. Incorporating the principle of "either extradite or prosecute": In the context of enumerated offences and jeopardising acts, the Protocol should require the Contracting States to initiate the legal proceedings against the alleged offender or to extradite such person to the State, which shows the legitimate interest. This amendment should not affect the sovereign right of every State to grant political asylum to the offender.
8. Changing the term aircraft commander to pilot in command: A slight change of term may allow transferring the powers of the aircraft commander to the first officer in the event of the captain's incapacitation.

Bibliography

- [1] S.-Y. Jung, *A Legal Analysis of Aviation Security under the International Legal Regime*, Ottawa: Library and Archives Canada, 2005.
- [2] R. P. Boyle and P. Roy, "The Tokyo Convention on Offences and Certain Other Acts Committed on Board

- Aircraft," *Journal of Air Law and Commerce*, vol. 30, no. 4, p. 305, 1964.
- [3] *Convention on Offences and Certain Other Acts Committed on Board Aircraft*, 1963.
- [4] T. Colehan, "Unruly Passengers: The Airline Industry Perspective on the Revision of the Tokyo Convention," *Journal on Aviation Management 2014*, 2014.
- [5] A. I. Mendelsohn, "In-Flight Crime: The International and Domestic Picture under the Tokyo Convention," *Virginia Law Review*, vol. 53, no. 3, pp. 509-563, 1967.
- [6] I. Sopilko and S. Yevhenii, "Jurisdiction Over Crimes Committed on Board Aircraft in Flight Under the Tokyo Convention 1963," 2016. [Online]. Available: file:///C:/Users/HP/Downloads/JURISDICTION_OVER_CRIMES_COMMITTED_ON_BOARD_AIRCRA.pdf. [Accessed 9 May 2021].
- [7] J. J. Lopez Gutierrez, "Should the Tokyo Convention of 1963 Be Ratified?," *Journal of Air Law and Commerce*, vol. 31, no. 1, 1965.
- [8] R. P. Boyle and R. Pulsifer, "The Tokyo Convention on Offenses and Certain Other Acts Committed on Board Aircraft," *Journal of Air Law and Commerce*, vol. 30, no. 4, pp. 303-354, 1964.
- [9] Los Angeles Times, "JetBlue pilot restrained by passengers is competent for trial," 16 June 2012. [Online]. Available: <https://www.tampabay.com/incoming/jetblue-pilot-restrained-by-passengers-is-competent-for-trial/1235699/>. [Accessed 25 May 2021].
- [10] ICAO, "Legal Committee 35th Session, Doc 10014-LC/35," Montreal, 2013.
- [11] Legal Information Institute, "Competent," May 2020. [Online]. Available: <https://www.law.cornell.edu/wex/competent>. [Accessed 27 May 2021].
- [12] M. Jennison, "The Montreal Protocol of 2014 Is Intended to Modernise the Tokyo Convention of 1963: Can it Succeed?," *Annals Air and Space Law*, vol. 39, pp. 1-38, 2014a.
- [13] ICAO Legal Committee, "Draft Text of the Protocol to the Tokyo Convention of 1963 Proposed by the Legal Committee, DCTC Doc No. 3," Montreal, 2014.
- [14] R. Silk, "Treaty on unruly passengers takes effect; U.S. not on board," 6 January 2020. [Online]. Available: file:///C:/Users/HP/Downloads/Treaty_on_unruly_passengers_ta.pdf. [Accessed 24 May 2021].
- [15] Delegates of the United States, "Draft Protocol to Amend the Tokyo Convention of 1963 - Authority and

Protections for In-Flight Security Officers, DCTC Doc No. 7," Montreal, 2014.

ASPECTS OF AIRLINE CREW ROSTERING

PREVÁDZKOVÉ ASPEKTY PLÁNOVANIA POSÁDOK

Manh Le Duc
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Le_duc@stud.uniza.sk

Benedikt Badánik
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Benedikt.badanik@fpedas.uniza.sk

Abstract

Airline crew rostering is a complicated planning-type problem, and its objective is to assemble pairings into schedules that maximise the satisfaction levels of crews. The rostering process focuses on achieving a more balanced workload distribution among the crewmembers that allows designing rosters in the interest of the crew. The main purpose of the paper was to explain the fundamental aspects of airline crew rostering and its impact on crewmembers' fatigue. Additionally, the research identified mitigation measures that airlines should make to combat or mitigate crewmembers' fatigue when designing their rosters. The paper also allowed readers to understand the effects of fatigue on crew's alertness and performance. The qualitative research methods (such as literature review) was used to understand the complexity of the airline crew rostering, the flight and duty time limitations, crew's rest requirement and crewmembers' fatigue. The survey was used as the quantitative research method to identify crewmembers' satisfaction with their rosters that would help to optimise the rostering process. An online survey (using Google Forms) was distributed to potential respondents (experienced crewmembers) via email addresses and online platforms. Respondents were asked 18 closed-ended questions divided into two parts (demographic and operational experience). One hundred eleven responses were gathered, which showed that age plays a crucial role in crewmembers' fatigue. In addition, cargo pilots are usually more dissatisfied with their rosters due to exhausting flight duty periods at nights.

Keywords

Airline crew rostering. Flight time and duty time limitations. Rest requirements. Crew's fatigue.

1. Introduction

One of the most crucial and challenging operational processes in the airlines' industry is scheduling process. An airline's schedule is considered an essential indicator of its business strategy. Crew related costs represent a major operating airline's expense. Therefore, the effective utilisation of crews is substantial. The importance of understanding airlines crew scheduling and creating effective and optimised rosters for crewmembers is essential, due to its impact on airlines' financial performance. Even a little improvement of crew scheduling can save a lot of money for airline. Poor quality of crew planning (e.g. lack of crewmembers) can lead to a downfall. For example, scheduled flights might get cancelled/delayed or crewmembers may report sick. Generally, airlines use standby crews to solve these disruptions.

Crew scheduling is a complicated and challenging task, which is constantly influenced by predictable and unpredictable occurrences, such as staffing shortage or weather conditions. I have decided to address this topic because it has major influence on airline safety. In addition, addressing this topic helps to better understand flight time limitations and aspects that must be considered when designing rosters for crewmembers, particularly awareness of fatigue. Good crew planning and scheduling are considered the main aspects that make an airline's operations successful. However, crew planning and scheduling must follow many rules and regulations laid down by aviation legislation. Limitations are defined by rules and regulations that airlines must not violate to provide safe

operations. Crew fatigue is a hazard that should be avoided as much as possible because it might cause potentially dangerous situations during operations. Fatigue affects all aspects of human functioning. Sleep loss and circadian body clock disruptions lead to degraded alertness and performance of crewmember.

Typically, airlines scheduling is divided into two stages: crew pairing and crew rostering. The objective of the first stage – crew pairing is supposed to cover the monthly plan with the smallest crew resources possible. Crew rostering is the next stage of the scheduling that aims to assign pairing and required training to actual crewmember considering their qualifications, personal requests, holidays, and others (as discussed in chapter Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.).

The main objective of this paper is to analyse major aspects of the airline's crew rostering process that ensure the airline's safe operations and suggest new approach to crew rostering that could help avoid any rostering complications. In addition, the paper defines the regulator's rules and restrictions that define flight time limitations of crewmembers (chapter Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.). An important part of the paper is survey research (chapter Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.) that helps to understand the importance of crew's satisfaction in terms of roster. Key findings are summarised, and a new approach is suggested.

2. The Crew Scheduling Problem

According to Devici and Demirel an airline crew scheduling can be defined as “the assignment of flight and cabin crews to scheduled flights, so as to ensure that the crew needed for all flights are covered” [1]. In other words, it can be understood as the problem of determining cost-minimizing assignments for both flight and cabin crew to a set of tasks and to each flight leg in the airline’s schedule. A crew schedule is specified by the sequence of flight legs and other activities (e.g. vacation leave, training, and others) to be accomplished by a crewmember over a period of time. All regulations and rules must be applied in order to construct crew schedules. [2] [1]

Airline crew scheduling problem is very complex and difficult problem. Therefore, it is generally divided into two subproblems: crew pairing problem and crew rostering (assignment) problem. For a large airline, the integrated problem is too large to be solved simultaneously. These two subproblems are planning-type problems. Authors Devici and Demirel are explaining that crew scheduling problem is broken down into these subproblems, due to their different objectives and difficulty to calculate crew rostering prior to generating crew pairings. Finally, the rules that cockpit and cabin crews are obligated to follow, are specified under two different headings: pairing and rostering. [3]

Firstly, the crew pairing problem must be solved, which results in generating mini schedules, called pairings, typically spanning 1-5 days. The objective of the crew pairing problem is to minimize the crew costs associated with covering all flight legs in the flight schedule [2]. After the crew pairing problem, the crew rostering problem is solved in which pairings are assembled into longer crew schedules in the form of either rosters or bidlines, typically spanning approximately 30 days [1]. In the other words, the objective of crew rostering problem is typically to assemble pairing into schedules that maximize the satisfaction levels of crews. Each subproblem will be furthermore described in the following subchapters. This paper is mainly focused on the airline crew rostering problem.

2.1. Crew Pairing Problem

According to author Barnhart “the crew pairing is composed of a sequence of flight legs, with the flight legs comprising a set of daily work activities, called duty periods or duties, separated by overnight rest periods” [2]. Besides that, the first and last legs of the pairing must begin and end at the same crew base. Crew pairing is the vital phase of the crew scheduling, because during this process airline is minimizing the operational crew costs while maximizing the efficient use of the crew. The crew costs represent is the second largest operating costs that airlines must cover. Moreover, airline must consider rules and meet restrictions set by regulatory agencies, e.g. Federal Aviation Administration (FAA) in U.S. or European Union Aviation Safety Agency (EASA) in Europe. The main purpose of crew pairing optimization is to determine the most cost-effective crew pairing consisting of all the flights in the flight schedule.

Crew Rostering (Assignment) Problem

The second subproblem an airline must solve is the crew rostering problem, also called crew assignment problem. This phase is important as much as the crew pairing process and it is solved after the crew pairing problem. Authors Kohl and Karish

state that the main objective is “to assign anonymous crew pairing either to personalized rosters or to anonymous bidlines which subsequently will be assigned to individual crewmembers” [4]. Authors Kohl and Karish provided a detailed description of the essential aspect of the airline crew rostering problem and elaborate on the main elements. A graphical representation of the crew rostering problem is shown in Figure. When solving crew rostering problem, the input generally consists of crew information, activities to be rostered, rules and regulations, and the objectives for creating the rosters. When designing personalized rosters, crewmember’s information about his/her personal records, qualifications, pre-assigned activities, and vacation days are provided. Crewmember’s qualifications are understood as information about the crewmember’s allowed equipment that he/she can operate or list of destinations he/she cannot fly to. When flying internationally, language proficiency can be a factor that decides the cabin crews’ destination. Inputs of pre-assigned activities are ground duties (e.g. medical checks), pairings, reserves (e.g. standby duties), and training activities [4]. The rules and regulations are described in detail in the chapter **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov..**

An airline’s planning/scheduling department should design rosters to meet a fair balance between an effective usage of crewmembers’ capacities and the airline’s operational needs [5]. In a real-life operation, the poor quality of roster planning (including unforeseen circumstances or operational delays) can lead to sleep and health disorders caused by crew’s fatigue.

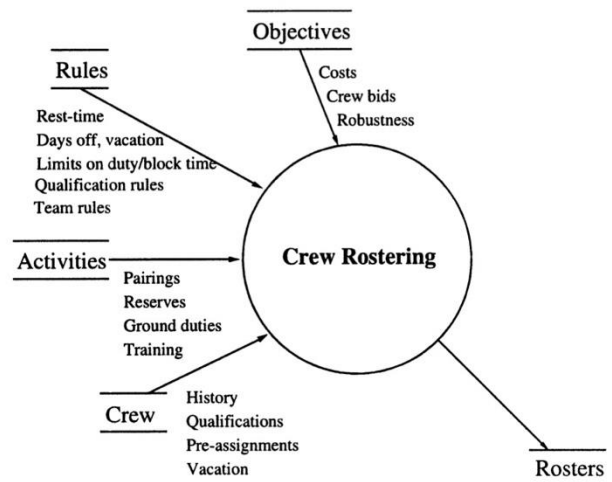


Figure 1: Graphical representation of the airline crew rostering problem
Source: N. Kohl and S. E. Karisch, “Airline Crew Rostering: Problem Types, Modelling, and Optimization”, 2004.

The crew rostering problem can be solved in different ways and usually one of the following approaches is used:

- A) Bidlines approach are typically used in North America (especially in the U.S.), where the rostering problem is solved in two steps. During the first step, the anonymous set of schedules are created such that each pairing is included in exactly as many schedules as are needed to fully staff the flight. In the second step, these created schedules are assigned to individual crewmembers based on the bidlines approach. This approach allows crewmembers to bid on their preferred work schedules and based on their

seniority the schedules are then allocated. In other words, bidlines schedules are assigned to a crewmember through a bidding and allocation process based on seniority.

- B) Personalized rostering (i.e. preferential bidding) is an approach, where individual rosters are created directly for each crewmember. The outcome are individualized schedules, called rosters. This approach takes into consideration the needs (e.g. trainings), requests and preferences (such as holidays or day off, or even desired destinations of assigned flight legs) of each crewmember, in order to satisfy certain quality criteria. Then they are directly assigned to the pairings equally between all flights. This approach is used by many European airlines with small differences. Crewmembers' preferences are considered during the creation of the individual roster. Their preferences can be awarded according to crew seniority (e.g. a crewmember who has worked the longest for the airline is the most senior crewmember and therefore a maximum of his/her preferences get granted compared to less senior crewmembers) or based on fair share basis. [6] [4] [3] [2]

From the crews' point of view, the most beneficial approach for them is the bidlines approach. This process allows a crewmember to bid for a specific line, therefore he/she can expect what the schedule will look like if the bid is granted. Within the personalized rostering a crew can only express preferences for specific attributes of their rosters, but not knowing how exactly the roster will look like. The M2P Crew Study 2018 has proven that bidding and duty plan stability are most important for airline crewmembers [7]. Nowadays preferential bidding systems give an immediate feedback for a crewmember during a bidding phase and characterize important aspects of the expected rosters. According to authors Kohl and Karisch "drawbacks of bidlines are greater costs that occur when the bidlines cannot be assigned entirely to individuals due to conflicts with pre-assignments and vacations days, and some pairings of the bidline can hence not be assigned" [4].

All mentioned rostering approaches are very similar, if they are considered from a solution point of view. However, from a modelling point of view, the approaches differ mainly in the formulation of the objective function. The main objective is to minimize crew costs, but also taking into consideration quality of life criteria for the crew. Airlines usually apply various rostering principles differently, which are also combined and extended. Rostering systems that support modelling of the different rostering environments and bring proper optimization to solve the resulting problems must be universal and flexible. [4]

3. Flight and Duty Time Limitations and Rest Requirements

Flight and duty time limitations (FTL) are rules and restrictions necessary to ensure that crewmembers do not endanger the safety of the flights. FTL aims to ensure control of fatigue and standardisation in the regulations. An airline is prohibited from scheduling a crewmember to work over these limits. In addition, the objectives of FTL are to ensure adequate rest periods for crewmembers but also to roster the duration and timing of individual duty periods that will enable them to operate to a satisfactory level of efficiency and safety in all situations. Limitations included in this chapter are concerned with the

prevention of fatigue and the maintenance of alertness of crewmembers during flight time and duty period. Flight and duty time limitations and rest requirements must be adhered to, but operators generally consider them by as a target to maximise duty times and minimise rest times [5]. The FTL should be considered as a recommendation for guiding air carriers on the utilisation of their personnel.

4. Crew Fatigue

Crew fatigue is acknowledged as a hazard that predictably degrades various types of human performance and cause accidents and incidents in the aviation industry [8]. Even a light fatigue might be an important contributor to a large number of aviation accidents, however it is difficult to identify whether or not fatigue is the cause of the associated accident [9]. The 24/7 nature of aviation business requires high level of alertness from its operatives. Furthermore, the fatigue will always be inevitable part of high-risk industries because the human brain and body function optimally with unrestricted sleep at night. Even though the crew fatigue cannot be eliminated, it must be managed. In order to manage the risk, the ICAO has set an international standard for FRM that requires the National regulator (Aviation Authority) to set in place either an FRM System (FRMS) or develop prescriptive measures for allowed duty periods for crewmembers based on sound scientific principles [10].

Caldwell states that more than 70% of aviation accidents are caused by human factors, in addition the crew fatigue is recognized as one of the key determinants for managing and improving flight safety [11]. Scheduling factors, sleep deprivation, circadian disruptions, and extended duty periods continue to affect flight safety, crew's alertness and performance levels on both short-haul and long-haul flights. Therefore, the solutions for these problems are not straightforward, but they can be developed through the cooperative efforts of scientists, regulators, managers, and the pilots themselves. Although there have been regulatory efforts for imitating max. flight hours and the min. crew rest periods from regulatory institutions and organisations (such as ICAO or EASA), there has remained much to be done about this insidious threat to air safety. Due to long duty periods, unpredictable work hours, circadian disruptions, and insufficient sleep; the pilot fatigue is a significant problem in both civilian and military flight operations [11]. This chapter is focused on understanding the general knowledge about fatigue, what makes crewmembers fatigue, factors affecting crew's fatigue, and

explaining the fatigue management approaches in aviation.

5. Methodology

This paper explains the main aspects of airline crew rostering and their impact on everyday business of airlines. The main research question is: What is the impact of airline crew rostering on crewmembers' fatigue? In addition, the paper answers secondary research question: What mitigation actions should airlines make to combat or mitigate crew's fatigue but still follow regulations, when they design crew rosters? This paper allows readers to understand the effects of fatigue on crew's alertness and performance.

We have conducted an online survey with a view to find answers to both our research questions (indicated earlier in this section).

The survey uses both types of methods (qualitative and quantitative) that help to describe, compare, evaluate and understand different aspects of the research problem. Comprehensive information about airline crew rostering problem was obtained from authors, such as Barnahrt et al.; Brezoňaková; Novák et al.; or Kohl and Karisch. For summarizing and explaining crewmembers' flight and duty time limitations and rest requirements (Chapter Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.), the EASA FTL 2016 was used as the primary source. The regulation can be found on the official website of the EASA. In addition, extensive source of information about fatigue in aviation was provided in articles from authors: Caldwell; or Bendak and Rashid. These articles were published on websites containing an extensive database of scientific research, such as ScienceDirect or ResearchGate. Moreover, to define measures for combating or mitigating the crewmembers' fatigue, the Fatigue Management Guide for Airline Operators was applied. ICAO, IATA and IFALPA provided the guide on the ICAO's official website.

With the quantitative research method, a survey (Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.) was used to collect data from crewmembers by asking them specific questions about their past/present experiences of sleep, fatigue, factors causing fatigue and their satisfaction with their rosters. Google Forms was chosen as an online tool for constructing the questionnaire. The survey contains closed-ended questions with binary answers, scales, and lists of options with single/multiple possible answers. Due to the COVID-19 pandemic, interviews (face to face) could not be realized. Therefore, the questionnaire was distributed to experienced crewmembers only by mail and online platforms, such as social media. An analysis of the survey results is presented in chapter Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov..

6. Summary of Key Findings

Based on the conducted data of survey from 111 respondents, the demographic characteristics of respondents is summarised in **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** that shows the dominating category in each question. The analysis has shown that younger (18 – 39 years) and less experienced (commercially flying 1 – 5 years) crewmembers are able to combat and mitigate fatigue better than older (40+ years) and more experienced colleagues. Tiredness was chosen by 82% of respondents as the most common symptom of fatigue. It has been proved that age plays a crucial role in crew's fatigue because older respondents (50 – 59 years) suffer from more frequent signs/symptoms (sleep disorders, erratic behaviour, somnolence, difficulties concentrating and difficulties with memory) when feeling fatigued. According to respondents' self-ratings, night shifts are the most common cause of their fatigue. Responses received from older crewmembers (40+ years) have indicated that they are more susceptible to rostering causes of fatigue, such as working consecutive late finishes, number of flown segments, extended duration of duty period, excessively exhausting roster, or insufficient rest period. It has been discovered that pilots notice (frequently, often, or always) their colleagues being fatigued (especially cargo pilots) compared to flight attendants' responses. Cargo pilots have available rosters more than 14 days before operating the first flight. Providing rosters less than 14 days in advance is typical for business/private companies. Additionally, passenger airlines dominate in providing rosters precisely 14 days before the first operated flight. The majority

of cargo pilots believe that the companies they work for provide sufficient rest period during a layover. On the other hand, crewmembers of passenger airlines feel that their rest periods are inadequate, and companies should evaluate external factors.

Generally, crewmembers' roster requests are categorised based on their seniority. However, the analysis of collected data has discovered that younger and less experienced crewmembers do not feel discriminated against in terms of their roster requests. Roughly 56% of all respondents are generally satisfied with their rosters. A significant difference was discovered between cargo pilots and pilots working for passenger airlines. Cargo pilots are generally more dissatisfied with their rosters than passenger pilots. In addition, there is no significant difference when comparing job positions. More than half of the respondents (53%) do not feel discriminated against or disadvantaged in roster requests compared to their colleagues. Respondents who feel disadvantaged are mainly male crewmembers older than 30 years with more experience (5 000 – 10 000 light hours), and they work for passenger airlines.

Almost 55% of all respondents are willing to work shorter duty hours, including pay reduction. Responses of cargo pilots (30+ years old) with more experience who would agree to work shorter hours were expected because they usually must work exhausting night shifts. Respondents who do not agree to work shorter duty hours are characterised as young flight attendants (18 – 19 years old) with 1 – 5 years of work experience. The most common reason to accept shorter working hours would be spending more time with family and friends. Inappropriate airlines crew rostering is a significant factor affecting crewmembers' loyalty toward companies.

7. Recommendations

The following recommendations have been made for the mitigation actions that airlines should take to combat the fatigue of crewmembers. Based on the research, airlines' scheduling departments play an essential role in airline crew rostering. Therefore, an airline's human resources department should be stringent when hiring a candidate for this job position. Besides understanding scheduling processes, following airlines policies, and regulations laid down by aviation authorities, the candidate should meet the following attributes: logical thinking, willingness to self-improvement, excellent communication, analytical and organisational skill, but most important interpersonal skills such as empathy, compassion or being considerate. For that reason, candidates who do not meet these requirements should not be accepted for this position. Airlines' management and scheduling departments should understand that crewmembers are not robots, they have personal life as well.

During a design process of a roster, airlines should consider external factors (e.g. time to get from and to an airport) by adding additional rest time at layovers or home bases, especially in destinations where necessary. Airlines should show an effort to research this kind of destination by using scheduling satisfaction surveys for crewmembers to see their point of views. Last-minute roster changes should be avoided as much as possible to prevent crew's fatigue. If changes should happen, an adequate number of standby crewmembers must be available.

Nevertheless, processes for recovering from disruptions are not well implemented and established for most airlines because many respondents complained about last-minute changes. The impact of external disruptions will be more and more challenging for airlines to deal with. Due to night shifts, cargo pilots should have an extended rest recovery. For example, an additional local night at the destination because cargo pilots are usually more fatigued, which is hazardous for flight operations. Maybe this suggestion might not be cost-effective, but it will ensure operation safety and prevent potential accidents. Consecutive early morning starts of FDPs can be solved by planning them after the vacation period or on the day that follows the rest day/period.

Older crewmembers with more experience should be allowed to choose whether they would prefer to work shorter hours with pay reduction. This approach would make them satisfied and allow airlines to hire new employees and gradually train them. However, airlines should must ensure a safe, efficient and cost-effective operation. Even though the discrimination of rostering process has not been shown, there is always a potential for improvement in the processes of planning reserve capabilities and implementing innovative bidding systems to further maximise crew satisfaction and productivity.

8. Conclusion

Rostering factors (e.g. timing of flight and duty periods like night shifts, short rest periods, consecutive early morning starts, extended duty periods, consecutive duty days, and others) significantly impact crewmembers' fatigue, representing significant flight operations problems. Rosters affect crew fatigue, which is considered a significant safety issue, leading to increased errors, incidents, and accidents. Lost sleep and disruptions to the circadian body clock due to rostering factors usually lead to degraded alertness and performance. Moreover, crewmembers' mood and communication skills can be affected, and their decision-making or judgment becomes impaired, and reaction time slows down. The fatigue can manifest itself, such as being tired, difficulties in concentrating, sleep disorders, decreased reaction time, irritability, and others. Additionally, the poor rosters can result in crewmembers' health issues, for example depression or their immunity.

Airlines should develop procedures that minimize disruptions of crewmembers' sleep because the key to good quality sleep is uninterrupted non-REM/REM cycles. Protected blocks of time should be included within rest periods (in-flight or on layovers) during which crewmembers are not contacted except in emergencies. Operators should establish procedures to protect crewmember sleep at layovers and appropriate napping facilities, such as quiet hotel room with no interruption.

Interruptions should be minimized during circadian times when sleep is more likely. Before and during FDPs that are unscheduled, the continuous hours of wakefulness should be minimized. A better level of alertness can be maintained if airlines build in some level of schedule predictability.

Provision of a nap during FDP can maintain the crewmembers' performance when extended work periods or during night shifts are applied. Therefore, airlines should educate their crew about mitigating fatigue, the hazard of being fatigued or the benefits of napping. Periodic opportunities for recovery must be

included in crewmembers' rosters due to the effects of cumulative sleep restriction. A minimum of two consecutive night of unrestricted sleep is recommended to recover from a sleep debt.

Night shifts should be scheduled to end as early as possible so that crewmembers could get to sleep as soon as possible after a duty. However, the best FDPs for a human body is during a daytime that allow unrestricted sleep at night. Operators should provide breaks during a duty period because they improve crewmembers' performance. Finally, to mitigate fatigue operators must implement FRM practices and fatigue training for all staff directly involved in the flight operations.

Based on the collected data, the paper has shown that age plays a crucial role in crew's fatigue. Older crewmembers suffer more frequent symptoms of fatigue compared to younger crewmembers. Generally, most of the crewmembers are satisfied with their rosters. Cargo pilots are usually more fatigued than passenger pilots due to the FDPs at nights. Therefore, they are more unhappy with their rosters. The research has also shown that older crew members would prefer to work shorter hours in order to have more time with their relatives.

Bibliography

- [1] C. Barnhart, A. M. Cohn, E. L. Johnson, D. Klabjan, G. L. Nemhauser a P. H. Vance, „Airline Crew Scheduling,“ January 2003. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/227105914_Airline_Crew_Scheduling. [Cit. February 2021].
- [2] P. Belobaba, A. Odoni a C. Barnhart, The Global Airline Industry, Wiley: Chichester, West Sussex, 2009.
- [3] M. Deveci a N. Ç. Demirel, „A survey of the literature on airline crew scheduling,“ 21. June 2018. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197618301234?via%3Dihub>. [Cit. February 2021].
- [4] N. Kohl a S. E. Karisch, „Airline Crew Rostering: Problem Types, Modeling and Optimization,“ Kluwer Academic Publishers, 2004. [Online]. Available: <https://www.inf.utfsm.cl/~mcriff/Tesistas/lista-papers/airline-crew-rostering.pdf>. [Cit. February 2021].
- [5] A. Brezoňaková, „Realistic scheduling agreement: Defining principles and objectives,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146519305976>. [Cit. May 2021].
- [6] A. Kasirzadeh, M. Saddoune a F. . Soumis, „Airline crew scheduling: models, algorithms, and data sets,“ 27. February 2015. [Online]. Available:

https://www.researchgate.net/publication/276398916_Airline_crew_scheduling_models_algorithms_and_data_sets. [Cit. February 2021].

- [7] Mostert Ploog & Partners, „M2P Study: Trends and Best Practices in Crew Management,“ 2018. [Online]. Available: https://www.m2p.net/wp-content/uploads/2016/12/190409_Crewstudyresults_DIGITAL_CMYK2.pdf. [Cit. May 2021].

- [8] IATA, ICAO and IFALPA, „Fatigue Management Guide for Airline Operators (Second Edition),“ 2015. [Online]. Available: [https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/FMG%20for%20Airline%20Operators%202nd%20Ed%20\(Final\)%20EN.pdf](https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/FMG%20for%20Airline%20Operators%202nd%20Ed%20(Final)%20EN.pdf). [Cit. March 2021].

- [9] J.-R. Yen, C.-C. Hsu, H. Yang a H. Ho, „An investigation of fatigue issues on different flight operations,“ 20 February 2009. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699709000040>. [Cit. March 2021].

- [10] ICAO, „Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/Doc%209966.FRMS.2016%20Edition.en.pdf>. [Cit. March 2021].

- [11] J. A. Caldwell, „Fatigue in aviation,“ May 2005. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1477893904001012>. [Cit. March 2021].

DESIGN AND CONFIGURATION OF THE INSTRUMENTATION OF THE ZLÍN 242L SIMULATOR

NÁVRH A USPORIADANIE PRÍSTROJOVÉHO VYBAVENIA SIMULÁTORA ZLÍN 242L

Jakub Lenár
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jakub.lenar98@gmail.com

Michal Janovec
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
michal.janovec@fpedas.uniza.sk

Abstract

Flight simulators play an important role in pilot training around the world. They contribute to increasing the safety of air traffic, allow you to practice emergency situations and non-standard procedures and thus prepare pilots for dangers during real flight. The need for the Zlín 242L simulator arose during the procurement of this type of aircraft for the Aviation Training and Education Center of the University of Žilina. The paper deals with the design and arrangement of the instrument part of the simulator, while the design is based mainly on the flight manual of the aircraft Zlín 242L. The theoretical part of the paper describes the basic requirements for flight simulators, categorization of flight simulators and within the instrumentation focuses on ways of displaying on-board flight data, describes the display devices within simulator space and examines the requirements for displayed data needed for flight. The result of the paper is the design of simulator instrumentation and subsequent construction of the simulator, which will serve students of the Department of Air Transport for training procedures during the flight on a given type of aircraft, familiarization with aircraft instrumentation, or training in non-standard and emergency situations.

Keywords

Flight simulator. Instrumentation. Zlín 242L. Instrument panel. Cockpit. Airplane.

1. Úvod

Problematika návrhu a budovania virtuálneho komplexu pozostáva z dvoch oblastí. Z oblasti softvérovej (programovej) a oblasti hardvérovej (fyzické prepojenie). Zo softvérovej oblasti sú to problémy týkajúce sa výberu vhodného simulačného prostriedku, ktorý bude vytvárať samotnú simuláciu, výberu modelu lietadla, teda na aký typ lietadla bude virtuálny komplex zameraný a komunikácia medzi počítačmi pre rozdelenie výpočtového výkonu. V hardvérovej časti sa rieši štruktúra fyzického prepojenia počítačov a využitie hardvérových panelov pre ovládanie virtuálneho komplexu. Dnešnými bežne dostupnými a používanými softvérovými prostriedkami v oblasti leteckej simulácie sú napríklad simulátory Prepar 3D, X-plane, Flightgear. Existujú aj rôzne iné letecké simulátory, pričom každý z nich sa môže zameriavať na rôzne typy simulácií ako je simulácia letového modelu lietadla, modelovanie a správanie sa samotných systémov lietadla (motory, hydraulické a mechanické systémy, avionika).

Uvedené simulátory pre nás poskytujú vhodnú voľbu z pohľadu simulácie fyziky, výberu lietadiel, náročnosti a ceny. Ďalšou ich výhodou je ich celková rozšírenosť vo svete. Preto je možné do týchto simulátorov použiť „nadstavby“ (tzv.add-on), či už od oficiálnych výrobcov, alebo voľne šíriteľných programov. Tieto „add-on“ môžu predstavovať model lietadla, alebo jeho konkrétnu časť.

Článok je zameraný na zhotovenie grafickej a zobrazovacej časti leteckého simulátora Zlín 242L, ktorý bude slúžiť pilotom vo výcviku. Letecký simulátor obdobného typu je momentálne obzvlášť potrebný pri prechode na nový typ lietadla, ktorý je

postupne dodávaný pre Letecké výcvikové a vzdelávacie centrum Žilinskej univerzity. Realizáciou simulátora vznikne prakticky využiteľná technológia a technologické postupy prinášajúce nové možnosti požadované v rôznych oblastiach štúdia na Katedre leteckej dopravy.

Zostavenie simulátora umožní cenovo dostupný základný výcvik na simulátore lietadla Zlín 242L. Začínajúci piloti si osvoja základné úkony a návyky pre lietanie na lietadle Zlín 242L. Navrhovaná koncepcia bude mať aj pozitívny nepriamy vplyv na životné prostredie. Letecké simulátory svojim určením nepriamo prispievajú aj k ochrane životného prostredia. Letecká doprava je jednou z významných zložiek dopravy, ktorá zaťažuje životné prostredie výfukovými plynmi leteckých motorov a taktiež hlukom. Nácviky rôznych situácií na simulátoroch prispievajú k znižovaniu nutných letových hodín priamo na lietadlách a tým aj k znižovaniu emisií a hlukového zaťaženia.

2. Súčasný stav riešenej problematiky

Letecké simulátory sa v poslednej dobe stali významným prvkom vo výcviku pilotov kvôli ich schopnosti opätovne vytvárať letovú realitu. Vďaka moderným technológiám vytvára táto virtuálna realita skutočné lety dostatočne presne na to, aby nakoniec eliminovala obavy a pochybnosti pilotov, leteckých spoločností, výrobcov lietadiel alebo regulačných orgánov, pokiaľ ide o ich využitie vo výcvikových centrách. To spôsobilo ich výrazný rozmach a stali sa z nich užitočné nástroje pre výcvik a skúšky spôsobilosti civilných a vojenských posádok. Medzinárodné štandardy a predpisy reagovali na tento vývoj stanovením a špecifikovaním požiadaviek na ich prevádzkové využitie. Certifikované letecké simulátory sa tak v súčasnosti bežne

používajú počas výcvikov, nácvikov letových postupov, ako aj počas praktických skúšok pilotov. [1]

2.1. Základné a historické informácie

Prvé simulátory nemali žiadne vizuálne projekcie a neboli veľmi užitočné pri cvičení pristávania s lietadlom. Ich hlavnou výhodou pri výcviku bolo zoznámenie sa s kabinou, oboznámením sa s rozmiestnením prístrojových panelov a ovládačov. [2]

Problém leteckých nehôd v podmienkach za letu podľa prístrojov sa objavil počas druhej svetovej vojny, keď letecké posádky počas dlhého letu v nočných podmienkach a často aj v zlých meteorologických podmienkach vykonávali náročné misie. Často pod vplyvom stresu a únavy mohol začať byť pilot dezorientovaný. Trenažér Link Trainer, ktorý bol taktiež známy ako „Blue Box“, v preklade modrá krabica podľa jeho farby, umožnil pilotom nacvičovať lety v prístrojových podmienkach. Ďalší vývoj v leteckom výcviku nastal počas druhej svetovej vojny. Ako sa lietadlá stávali komplexnejšími na prevádzku v oblasti ovládacích prvkov motora, elektroniky, hydrauliky a navigačných systémom, začali hrať simulátory dôležitú úlohu vo výcviku povinných úkonov v kokpite daného lietadla a správnej reakcie na núdzové situácie. [3]

So zdokonaľovaním vývoja sa ľudia začali obzerať po nových metódach a technológiách, ktoré by boli schopné plne simulovať let v skutočnom lietadla s reálnymi pohybmi, zvukovými a obrazovými impulzmi. Ďalší vývoj leteckých simulátorov závisel najmä od úrovne použitej technológie, najmä v oblasti výpočtovej techniky a elektroniky. Z tohto pohľadu môžeme ďalší vývoj letových simulátorov rozdeliť do nasledujúcich období: [4]

- Analógové výpočty (1945-1965)
- Digitálne výpočty (1965-1985)
- Mikroelektronická revolúcia (1985- súčasnosť)

Neustály vývoj technológií v týchto obdobiach napomohol k vylepšeniu leteckých simulátorov. Vďaka tomu sú súčasné simulátory komplexne prepracované zariadenia, verne napodobňujúce všetky fázy letu skutočného lietadla. [3]

2.2. Kategorizácia leteckých simulátorov

Letecké simulátory je možné rozdeliť do kategórií podľa rôznych kritérií. Môžu byť kategorizované podľa oblasti ich využitia, podľa účelu výcviku alebo podľa kvalifikácií jednotlivých medzinárodných organizácií

2.2.1. Letecké simulátory podľa účelu výcviku

Podľa účelu výcviku môžeme simulátory rozdeliť do týchto kategórií: [4]

- Trenažér postupov v kabíne (CPT)
Využíva sa na tréning základných postupov ako napríklad núdzových checklistov a na zoznámenie sa s kokpitom.
- Letecké výcvikové zariadenie (ATD)
Využíva sa na základný výcvik letových základov a procedúr.
- Základné prístrojové výcvikové zariadenie (BITD)

Je primárne zamerané na všeobecné postupy letu podľa prístrojov.

- Trenažér letových a navigačných procedúr (FNPT)
Využíva sa na všeobecný letecký výcvik. Je to všeobecný ale komplexný model, ktorý poskytuje mnoho systémov a efektov okolitých vplyvov.
- Trenažér integrovaných procedúr (IPT)
Poskytuje plne simulovaný kokpit v 3D priestore kombinovaný s použitím početných dotykových obrazoviek ktoré zobrazujú simulované panely v rovnakej veľkosti ako reálne panely lietadla.
- Cvičné letecké zariadenie (FTD)
Používa sa na všeobecný alebo špecifický letecký výcvik. Obsahuje komplexné letové systémy a modely okolitých vplyvov.
- Úplný letový simulátor (FFS)
Používa sa na typový výcvik podľa pravidiel príslušného národného regulačného orgánu pre civilné letectvo. Podľa týchto požiadaviek musia byť podstatné systémy lietadla plne simulované a vyžaduje sa komplexný aerodynamický model.
- Úplný simulátor určený na misie (FMS)
Je využívaný armádou ako simulátor schopný nácviku všetkých aspektov zahrnutých počas misie v danom type lietadla.

2.2.2. Delenie simulátorov podľa EASA v Európe

Existujú simulátory s pohyblivou a nepohyblivou základňou. Simulátory s pohyblivou základňou sa považujú za najvyšší stupeň simulácie, ktoré predstavujú platformu plne funkčného kokpitu reálneho lietadla. Takéto simulátory obsahujú vizualizáciu s najväčším stupňom reality a pohyblivú základňu napodobňujúcu procesy zrýchlenia, rotácie a vibrácií vo všetkých osiach. Simulátory s pohyblivou základňou sa využívajú pre úplný výcvik leteckých posádok s nacvičovaním predletovej prípravy, spúšťania palubných systémov, štartovania motorov, nácviku rôznych núdzových situácií a pristátí. Využívané sú pri získavaní typovej kvalifikácie na určité lietadlo a možno si na nich uplatniť skutočný nálet v rozmedzí 50% až 100%. Simulátory bez pohyblivej základne sa využívajú pri nižších požiadavkách ako napríklad pre nácvik základov prístrojového lietania, navigačných procedúr a automatizovaní postupov. [5]

V roku 2008 vydala JAA na základe ICAO Doc9625 dokument JAR-FSTD-A a následné dokumenty JAR-STD 1A, JAR-STD 2A, JAR-STD 3A a JAR-STD 4A, v ktorých rovnako ako FAA definuje jednotlivé druhy letových simulátorov, ich vlastnosti a schopnosti: [5] [6]

- FS/ FFS Flight Simulator/ Full Flight Simulator
- FTD Flight Training Device
- FNTP Flight and Navigation Procedure Trainer
- BITD Basic instrument training device

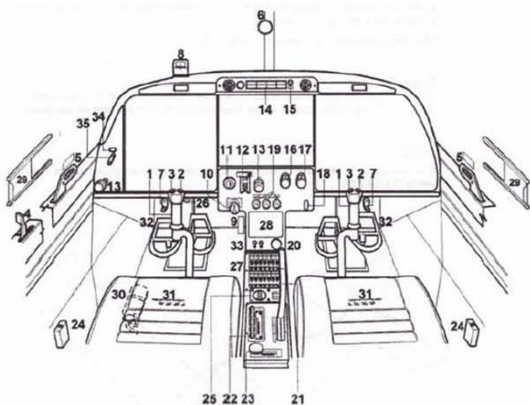
EASA v roku 2018 vydala druhé vydanie dokumentu „Špecifikácie certifikácie pre cvičné zariadenia simulácie letu“

(CS-FSTD), kde podrobne opisuje požiadavky na jednotlivé typy simulátorov zväznych v Európe.

Flight simulator training device (FSTD) je cvičné zariadenie ktoré je v prípade lietadiel: full flight simulator (FFS), flight training device (FTD), flight navigation procedures trainer (FNTP) alebo basic instrument training device (BITD). Všetky FSTD uvádzané do prevádzky musia byť hodnotené podľa platných kritérií CS-FSTD (A) pre požadované kvalifikačné úrovne. [6]

3. Analýza požiadaviek prístrojového vybavenia simulátora

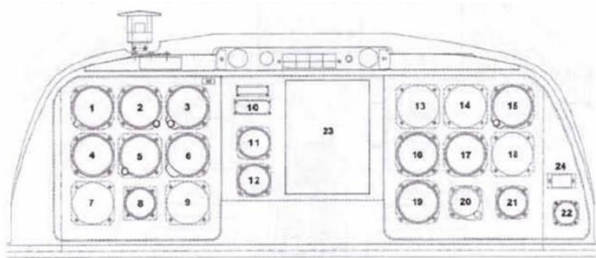
Podľa letovej príručky lietadla Zlín 242L sú jednotlivé prvky v pilotnej kabíne rozmiestnené, ako je poukázané na obrázku:



Obrázok 1: Pilotná kabína Zlín 242L. Zdroj: [7].

Prístrojový panel lietadla Zlín 242L môže byť vybavený využitím mechanických analógových ukazovateľov a leteckých prístrojov alebo digitálnym systémom typu „Glasscockpit“ využívajúcim LCD displeje.

Obrázok číslo 2 opisuje rozmiestnenie prístrojového panelu s využitím mechanických analógových ukazovateľov, podobne ako pri konštrukčnom riešení nášho navrhovaného simulátora.



Obrázok 2: Prístrojový analógový panel Zlín 242L. Zdroj: [7]

Tabuľka 1: Rozmiestnenie prvkov analógového prístrojového panelu Zlín 242L. Zdroj: [7].

1.	Rýchloemer I	13.	Rýchloemer II
2.	Umelý horizont I	14.	Umelý Horizont II
3.	Výškomer I	15.	Výškomer II

4.	Zátačkomer I	16.	Štvorbodový indikátor motora
5.	Gyrokompas (HSI)	17.	Štvorbodový palivomer
6.	Váriometer I	18.	Váriometer II
7.	ADF	19.	CHT/EGT ukazovateľ
8.	Hodiny	20.	Akcelerometer
9.	VOR/ILS	21.	V-A meter
10.	DME	22.	V-A meter (alternatívna poloha)
11.	Otáčkomer	23.	Blok avioniky
12.	Ukazovateľ plniaceho tlaku	24.	Počítadlo motohodín

3.1. Zobrazovacie zariadenia

V leteckých simulátoroch pred rokom 1990 boli letecké prístroje emulované buď mechanickou adaptáciou reálnych prístrojov, alebo využitím servo mechanizmov (a neskôr krokových motorov) na replikáciu funkcie a charakteristík reálnych leteckých prístrojov. Dnes je bežným postupom pre simuláciu leteckých prístrojov využívanie počítačových grafík. Jedným z dôvodov tohto využitia je vysoká reálnosť obrazu syntetických displejov. Ďalším dôvodom je oveľa nižšia cena počítačom generovaných prístrojov v porovnaní s elektromechanickými prístrojmi. Taktiež je tu vysoká podobnosť s modernými displejmi využívanými v nových civilných a vojenských lietadlách. [3]

Zobrazovacie zariadenia menia elektronický signál na vizuálny obraz. V súčasnosti existuje pre potrebu leteckých simulácií niekoľko možností zobrazovacích prvkov. Zobrazovacie zariadenia môžu byť označované ako konvenčné displeje a video projektory. [8] [11].

3.1.1. Požiadavky na zobrazované údaje potrebné k letu

Všetky údaje, dôležité pre bezpečnosť letu by mali byť pre pilotov ľahko čitateľné a prístupné. Kokpit obsahuje všetko zobrazovacie, riadiace a komunikačné vybavenie, ktoré členovia posádky potrebujú na obsluhu a navigáciu v lietadle na zemi a vo vzduchu, na komunikáciu s ATC alebo inými lietadlami a na monitorovanie alebo riadenie palubných systémov a zariadení ako sú napríklad motory, palivové nádrže, klimatizácie a mnohé iné.

Údaje potrebné k letu sú pilotom zobrazované prostredníctvom analógových konvenčných prístrojov pri starších lietadlách alebo ľahkých športových lietadlách. Pri novších lietadlách a veľkých dopravných lietadlách je v súčasnosti väčšina letových údajov zobrazovaných prostredníctvom systému „Glass cockpit“ a analógové prístroje slúžia len ako záložné.

Existujú štyri základné druhy leteckých prístrojov zoskupené podľa účelu, ktorý poskytujú. Jedná sa o prístroje zobrazujúce letové veličiny, motorové veličiny, navigačné veličiny a prístroje zobrazujúce stav jednotlivých systémov. [9]

V takmer každom lietadle je možné nájsť šesť základných leteckých prístrojov, ktoré môžu byť skonštruované buď ako samostatný prístroj alebo kombinované v jednom systéme typu Glass cockpit. Tieto základné prístroje sú: výškomer, rýchlomer, váriometer, smerový zotrvačník, umelý horizont a zatačkomer. Pre lepšie a bezpečné orientovanie sa v kokpíte, bolo zavedené základné T usporiadanie prístrojov na prístrojovej doske. Elektronické letecké prístrojové systémy a obrazovky digitálneho kokpitu zachovávajú pre prezentáciu leteckých prístrojov a údajov rovnaké základné T usporiadanie. [9] [10]

4. Návrh a usporiadanie prístrojového vybavenia simulátora

Z konštrukčného hľadiska je nosná konštrukcia simulátora zhotovená ako jednopilotná, z dôvodu jednoduchšej skladovateľnosti a prenosnosti. Jednoduchá konštrukcia je rozoberateľná na dve časti, časť kabíny a počítačovú časť. Kabína simulátora je z časti vybavená prístrojmi a mechanizmami z lietadla Zlín 142, no pre niektoré prvky kabíny sme využili herné ovládače Saitek. Herné ovládače boli využité napríklad pre ovládanie nožného riadenia a rádiového vybavenia. Potrebné je však uviesť, že simulátor je skonštruovaný tak, aby bolo v budúcnosti možné jednoduché odinštalovanie jednotlivých herných ovládačov a nainštalovanie vylepšených systémov simulátora.

Z hľadiska prístrojového vybavenia bol navrhnutý mechanizmus riadiacej páky. Princípom fungovania tohto mechanizmu je pohyblivá plošina umiestnená pred polohovo nastaviteľnou sedačkou pilota. Mechanizmus bol navrhnutý v konštrukčnom programe Autodesk Inventor. Pohyb mechanizmu riadiacej páky je zabezpečený štyrmi naklápacími ložiskami KP000. Jednotlivé ložiská sú osadené v hriadeľoch, ktoré sú k sebe súosovo spojené zvarom v pravom uhle a pomocou ložiskových domcov sú pripojené k vrchnej a spodnej platni. Spodná platňa slúži na uchytenie mechanizmu ku konštrukcii simulátora a k vrchnej platni je uchytená riadiaca páka z lietadla Zlín 142. Základná a neutrálna poloha páky je určená výslednou pôsobiacou silou štyroch pružín. Poloha riadiacej páky je do počítačovej jednotky prenášaná prostredníctvom magnetických senzorov založených na princípe Hallového javu. Tieto senzory sú umiestnené na tyčiach vložených do ložísk mechanizmu, pričom je potrebný jeden magnet pre každú os. Výhodou tohto systému je, že môžu byť pripojené priamo do analógového vstupu jednotky riadenia umiestnenej na mechanizme riadiacej páky. Využili sme 12 bitovú jednotku riadenia od spoločnosti LEO BODNAR.



Obrázok 3: Pohyblivý mechanizmus riadiacej páky. Zdroj: Autori.

Analógové prístroje nachádzajúce sa v prístrojovom paneli pred pilotom sú zobrazované pomocou LCD monitoru BenQ s veľkosťou uhlopriečky displeja 17 palcov a rozlíšením 1280 x 1024 pixelov. Monitor je osadený imitáciou prístrojového panelu pred pilotom. Prístrojový panel bol navrhnutý v strojárskom softvéri Autodesk Inventor, pomocou údajov získaných z letovej príručky lietadla Zlín 242L. Prístroje pred pilotom sú usporiadané do základného usporiadania T s ostatnými prístrojmi ako napríklad zatačkomer a váriometer po boku usporiadania. Pri konštruovaní prístrojových častí simulátora sme využili časti prístrojových panelov a mechanizmov zo starších typov lietadiel Zlín 142 využívaných leteckým výcvikovým centrom v Žiline v minulosti. Lietadlá Zlín 142 a 242 sú z hľadiska konštrukcie a rozloženia systémov v kabíne lietadla veľmi podobné, čím sa nám podarilo zabezpečiť vysokú podobnosť reálneho vzhľadu prístrojového panelu simulátora ale aj iných mechanických častí simulátora. Využitie týchto súčiastok významne uľahčilo výstavbu simulátora z hľadiska finančných požiadaviek. Analógové prístroje budú na monitore simulujúcom prístrojový panel pred pilotom zobrazované a rozmiestnené pomocou počítačovej aplikácie pre tvorbu 2D prístrojových panelov AIR MANAGER.



Obrázok 4: Zobrazovacie zariadenia simulátora. Zdroj: Autori.

Pre zobrazovanie vonkajšieho prostredia simulátora sme využili širokouhlý prehnutý LCD monitor Samsung, ktorý vďaka svojmu širokouhlému rozmeru pomerne realisticky zobrazuje výhľad z kabíny pred lietadlom a čiastočne aj po jeho stranách. Inštalovaný monitor má uhlopriečku 49 palcov, Full HD

rozlíšenie 3840 x 1080 pixelov, prehnutú konštrukciu so šírkou displeja 120 centimetrov a výškou 52,5 centimetrov.



Obrázok 5: Výsledné zhotovenie simulátora. Zdroj: Autori.

5. Technicko-ekonomické zhodnotenie

5.1. Vedecký prínos diplomovej práce

Medzi predmety diplomovej práce patrí najmä výskum v oblasti simulácie zobrazovania letových veličín v kokpite leteckého simulátora Zlín 242L. Vedecký prínos diplomovej práce bude spočívať v objektívnom meraní mentálnej záťaže pilotov počas letu. S využitím progresívnych technológií bude možné merať stresové stavy vznikajúce pri preťažení, ako aj pri znížení pracovnej záťaži, resp. pri monotónnej činnosti.

5.2. Prínos pre prax

Pri projekte kladieme dôraz na jeho udržateľnosť, pričom výsledkom projektu bude funkčný simulátor lietadla Zlín 242L. Tento simulátor bude umiestnený v priestoroch letiska Dolný Hričov a bude k dispozícii pilotom ako aj študentom Žilinskej univerzity. Keďže sa jedná o plne funkčný simulátor, hlavným využitím bude nácvik núdzových postupov a neočakávaných situácií. Z dôvodu bezpečnosti je využitie simulátora jedinou možnosťou pri osvojení si týchto praktík počas výcviku. Z praktického hľadiska poskytne simulátor zdokonalenie výcviku na danom type lietadla, zlepšenie vizuálneho vnímania informácií v kokpite simulátora, ktoré priaznivo ovplyvnia prirodzené vnímanie simulátora cvičiacimi. Zvýši sa teda kvalita výcviku a tým aj bezpečnosť letovej prevádzky.

5.3. Varianty stavebno-technického riešenia

Prvou navrhovanou variantou bolo využitie konštrukcie kabíny starých lietadiel Zlín 142, vyradených z prevádzky leteckého výcvikového a vzdelávacieho centra v Žiline. Táto alternatíva by bolo z ekonomického, ale aj konštrukčného hľadiska najviac optimálna, nakoľko je podobnosť lietadiel Zlín 142 a 242 vysoká a taktiež by sa ušetrili náklady potrebné na materiál nosnej konštrukcie simulátora. Výhodou je aj reálnejší pocit zo skutočného lietadla pre pilota v priestore kabíny.

Druhou alternatívou bolo skonštruovanie konštrukcie simulátora z oceľových profilov a následným osadením prístrojového a iného vybavenia kabíny simulátora tak, aby čo najviac napodobňoval kabínu skutočného lietadla. Výhodou

tejto varianty je podstatne nižšia hmotnosť simulátora, čo je výhodou pri potrebe skladovania a prenosu na iné miesto. Taktiež je pri tejto alternatíve možnosť zostrojenia len jednopilotnej kabíny, čo taktiež významne uľahčí nároky na umiestnenie simulátora. Nevýhodou tejto verzie je časová náročnosť na stavbu nosnej konštrukcie, vyššie náklady spojené so stavbou a nižšia podobnosť priestoru a kabínového vybavenia so skutočným lietadlom.

Z hľadiska prístrojového vybavenia simulátora sme taktiež uvažovali nad dvomi možnosťami. Prvou možnosťou bolo využitie prístrojového vybavenia zo starých lietadiel Zlín 142, čím by sa dosiahlo vyššej podobnosti kabíny simulátora a lietadla. Táto možnosť je však vysoko technicky náročná na zhotovenie, nakoľko je pri každom mechanizme a prístroji potrebné vyriešiť prenos mechanického výstupu na digitálny vstup do počítača simulátora.

Iná, jednoduchšia možnosť bola zakúpiť profesionálne herné ovládače pre simulátory od spoločnosti Saitek, ktoré sú plne kompatibilné a ľahko pripojiteľné k počítaču simulátora. Nevýhodou však je pomerne vysoká cena. Taktiež majú tieto herné ovládače univerzálny dizajn a teda neposkytujú podobnosť kabíne lietadla Zlín 242L.

5.4. Spôsob a zdroje financovania

Prevažná časť finančných prostriedkov na zabezpečenie prístrojového vybavenia simulátora bola získaná z grantovej súťaže UNIZA – výzva rektora č. 2/2019. Nášmu podanému grantovému projektu s názvom: Návrh výpočtového a prístrojového vybavenia simulátora Zlín 242L bola poskytnutá finančná pomoc v plnej výške predpokladaného rozpočtu projektu 996 eur.

Z dôvodu rozhodnutia zakúpenia cenovo nákladnejších zariadení ako napríklad širokouhlého zaobleného monitoru pre dokonalejšiu vizualizáciu vonkajšieho prostredia simulátora, profesionálnych herných ovládačov pre letecké simulátory od spoločnosti Saitek a výkonného počítačového systému, sa výsledné náklady spojené s výstavbou simulátora vyšplhali na hodnotu 2 722,99 eur. Ďalšie položky potrebné k uskutočneniu projektu boli hradené z finančného príspevku katedry Leteckej dopravy Žilinskej univerzity.

6. Záver

V teoretickej časti článku sme opísali základné historické informácie vzniku a postupného vývinu leteckých simulátorov od analógovej éry, neskorší nástup digitálnej éry, až po mikroelektronickú revolúciu. Práve vďaka neustálemu vývoju technológií v týchto obdobiach sa stali súčasné simulátory komplexne prepracovanými zariadeniami, veľmi realisticky napodobňujúcimi všetky fázy letu. Opísali sme taktiež základné požiadavky kladené na letecké simulátory podľa súčasných regulačných noriem, kritérií a požiadaviek leteckých právnych predpisov uvedených v príslušných dokumentoch ICAO, predpisoch EASA v Európe a predpisoch FAA v USA, podľa požadovanej úrovne certifikácie. Diplomová práca taktiež opisuje rozdelenie leteckých simulátorov podľa rôznych kritérií, napríklad oblasť využitia alebo účel výcviku.

Ďalšia časť článku opisuje a analyzuje požiadavky prístrojového vybavenia simulátora s ohľadom na vybavenie lietadiel Zlín 242L

využívaných v leteckom výcvikovom a vzdelávacom centre v Žiline. Pri analýze sme sa opierali o letovú príručku lietadla Zlín 242L. Opísali sme taktiež spôsoby zobrazovania palubných letových dát od mechanických, elektro-mechanických až po elektro-optické. V súčasnosti sa pri zobrazovaní letových dát v simulátoroch najviac využívajú zobrazovacie zariadenia, ktoré menia elektronický signál na vizuálny obraz. Práca opisuje vlastnosti daných zobrazovacích zariadení a taktiež požiadavky na zobrazované údaje potrebné k letu, ktoré sú týmito zobrazovacími zariadeniami zobrazované.

V praktickej časti článku sme sa zamerali na návrh usporiadanie prístrojového vybavenia simulátora a následné zhotovenie jednotlivých systémov a osadenie na konštrukciu simulátora. Je potrebné poznamenať, že práce spojené so zhotovením daných systémov a ich osadením významne ovplyvnila epidemiologická situácia na Slovensku a s tým spojený obmedzený prístup do laboratórií na letisku v Dolnom Hričove.

Kabína simulátora je z časti vybavená prístrojmi a mechanizmami z vyradených lietadiel Zlín, ktoré v minulosti slúžili na výcvik pilotov katedry leteckej dopravy a z časti novo navrhnutými mechanizmami a hernými ovládačmi Saitek. Pre naprogramovanie analógových prístrojov na prístrojovom panely pred pilotom sme sa použili počítačové aplikácie AIR MANAGER, ktorá plne spolupracuje so simulačným programom X-Plane. Prístroje sú zobrazované pomocou LCD monitoru osadenom v ráme konštrukcie simulátora. Taktiež bol navrhnutý systém zobrazovania simulácie vonkajšieho prostredia pomocou širokouhlého zaobleného LCD monitoru, ktorý vďaka šírke displeja 120 centimetrov vysoko realisticky zobrazuje simuláciu krajiny a okolia lietadla. Dôležitým konštrukčným prvkom je aj pohyblivý mechanizmus riadiacej páky, ktorý pomocou magnetických senzorov a riadiacej jednotky LEO BODNAR spracováva pohyby riadiacej páky ovládanej pilotom a určuje veľkosti výchyliek riadiacich plôch lietadla a následne simuluje pohyb lietadla v priestore. Pre ovládanie smerového kormidla vo vzduchu a predného podvozku na zemi sme využili nožné riadenie Saitek, ktoré však v budúcnosti plánujeme nahradiť nožným riadením z vyradeného lietadla Zlín 142 a pomocou servomechanizmov ich prepojiť k počítačovému systému.

Domnievame sa, že tento článok by mohol byť prínosom pri výcviku pilotov ako aj pre študentov Žilinskej univerzity, ktorí majú záujem pochopiť základy lietania a nacvičiť si základné postupy počas letu. Pre skúsenejších pilotov simulátor poskytne bezplatný nácvik núdzových a neštandardných situácií a postup počas letu. Simulátor by mal simulátor poskytnúť zdokonalenie výcviku na danom type lietadla, zlepšiť vizuálne vnímanie informácií v kokpite simulátora, a tým zvýšiť kvalitu a bezpečnosť letovej prevádzky leteckého a výcvikového vzdelávacieho centra. Simulátor by mal pomôcť aj zamestnancom katedry leteckej dopravy pri ich výskumoch a s využitím progresívnych technológií merať stresové stavy pri preťažení, ako aj pri zníženej pracovnej záťaži, respektíve monotónnej činnosti.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov, kód ITMS

313011V465, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- [1] SOCHA, V. et al., Training of Pilots Using Flight Simulator and its Impact on Piloting Precision. In 20th International Scientific conference: proceedings. Transport Means. 2016. Dostupné na internete: <http://idoaba.eu/567/pub16/lf/174425.pdf>
- [2] BECUWE, I. Flight simulator science facts, Dostupné na internete: http://users.skynet.be/aerosite/6sim_science.htm
- [3] ALLERTON, D.: Principles of Flight Simulation. WILEY, 2009, ISBN 978-0-470-75436-8.
- [4] Faculty of Aeronautics, Technical University of Košice, Rampová 7,041 21 Košice ivan.koblen@tuke.sk, jannka.kovacova@gmail.com, K. Ivan, a K. Jana, "Selected information on flight simulators - main requirements, categories and their development, production and using for flight crew training in the both Slovak Republic and Czech Republic conditions", INCAS BULLETIN, roč. 4, č. 3, s. 73–86, sep. 2012, doi: 10.13111/2066-8201.2012.4.3.7.
- [5] BÁLINT, J.-KANDRÁČ, P. 2014. Využitie leteckých simulátorov vo vzdelávacom procese na LF TUKE. IN Aero-Journal : international scientific journal of air transport industry. 2014. Dostupné na internete: <https://www.brokerske-centrum.uniza.sk/doc/Balint-Kandrac.pdf>
- [6] EASA. 2018. Certification Specifications for Airplane Flight Simulation Training Devices CS.FSTD(A). 2018. Dostupné na internete: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-FSTD%28A%29%20%E2%80%94%20Issue%202.pdf>
- [7] Airplane Flight Manual Zlín 242L
- [8] MILJKOVČ, D. Wide-View Visual Systems for Flight Simulation, prezentované na MIPRO 2009, máj. 2009.
- [9] Aircraft Flight Instruments Explained, Southern Wings, feb. 14, 2020. Dostupné na internete: <https://www.southernwings.co.nz/aircraft-flight-instruments-explained>
- [10] Aircraft Instrument Installations and Markings | Aircraft Systems. Dostupné na internete: <https://www.aircraftsystemstech.com/2017/05/instrument-installations-and-markings.html>
- [11] Novák, A., Novák Sedlačková, A., Janovec, M., 2020. Komunikačné systémy v letectve EDIS - Žilina, Žilinská univerzita v Žiline, 2020, ISBN 978-80-554-1737-0

ANALYSIS AND CONSEQUENCES OF BOEING 737MAX ACCIDENTS

ANALÝZA A DÔSLEDKY NEHÔD BOEING 737MAX

Matúš Letko
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
matus.letko@gmail.com

Ján Rostáš
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jan.rostas@fpedas.uniza.sk

Abstract

This master's paper deals with the analysis and consequences of Boeing 737 MAX aircraft crashes from several perspectives. With a chronological sequence and a clear summary of all important facts, this paper offers a comprehensive view of the origin of the whole situation, the subsequent development and includes all consequences of these accidents. Despite the great amounts of information published, it favors facts and scientifically based information, thus contributing to the creation of a factual and objective opinion. The result is a complex view and evaluation of the situation with respect to the conditions in the aviation industry. Finally, it adds value by deriving responsibility from all relevant actors and identifying the circumstances that contributed to the accidents.

Keywords

Boeing 737 MAX, MCAS, accident, FAA

1. Úvod

V roku 2020 sme boli svedkami počiatku jednej z najväčších kríz v histórii leteckého priemyslu. Na prvý pohľad by sa mohlo zdať, že za celú situáciu nesie zodpovednosť prepuknutie celosvetovej pandémie koronavírusu COVID-19. Ako to však v letectve býva, žiadna tragická udalosť nie je dôsledkom len jednej príčiny, no vždy ide o súhrn viacerých okolností, ktoré vyústia do nešťastného konca. Na počiatku celej krízy stojí séria dvoch tragických havárií lietadiel typu Boeing 737 MAX. Od prvej nehody už ubehli takmer tri roky, a tak už v súčasnosti máme oveľa väčšie množstvo informácií, záverov a takisto poznáme niekoľko dôsledkov. Úlohou tejto práce je vykonať analýzu príčin, opísať všetky dôsledky z hľadiska prevádzky či výroby, a objasniť návrat do prevádzky vzhľadom na letovú spôsobilosť a schválenie typového certifikátu. V neposlednom rade sa zaoberá vplyvom nehôd na prevádzkové postupy a preškoleniu letových posádok.

2. Analýza príčin

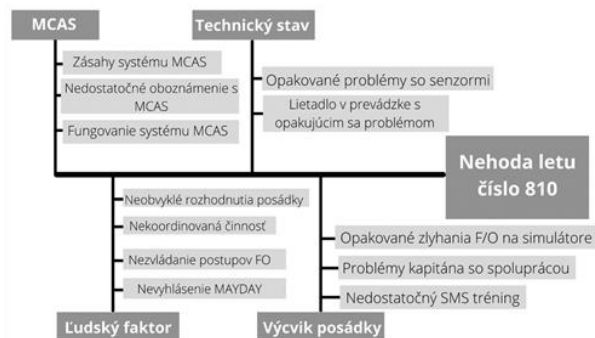
Pri tak komplexnej a komplikovanej situácii, akou je práve havária lietadla, je veľmi ťažké určiť jednoznačnú príčinu. Vysoká náročnosť tejto požiadavky je spôsobená veľkým rozsahom faktorov pôsobiacich na lietadlo, či už za letu, alebo počas obdobia pred ním. Určenie príčin môže byť pri ich zisťovaní bez vhodnej metódy chaotické, nesúvislé a môže zanedbávať signifikantné fakty. O to viac pri letectve, kde dochádza k stretu nespočetného množstva okolností a faktorov, ktoré sa za roky intenzívnej prevádzky vyvinuli do veľmi komplikovaných stavov.

2.1. Metodológia

Na správne a dôsledné určenie príčin nehôd sme zvolili metódu "Cause-and-effect" diagramu, prvý krát predstavenú profesorom Kaoru Ishikawa v jeho knihe "Introduction to quality control".

Táto metóda je sprevádzaná najmä intenzívnymi procesmi brain-stormingu a tvorbou vizuálneho obsahu – diagramov, na presné, dôsledné a prehľadné zachytenie všetkých príčin. Nakoľko sú faktory sprevádzajúce nehody v letectve takmer nespočetné, cause-and-effect diagram nám umožňuje prehľadne ich zobraziť, a to aj s vzhľadom na ich vzájomné súvislosti. [6]

2.2. Analýza nehody letu číslo 810 spoločnosti Lion Air

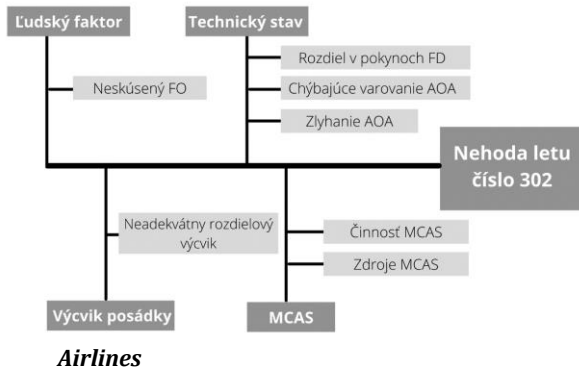


Obrázok 1: Tretí krok analýzy príčin letu číslo 810. Zdroj: Autori.

Vzniknutý diagram nám ponúka prehľadný pohľad na relevantné príčiny a ich vzájomné súvislosti.

Medzi nepochybne najdôležitejšie faktory patrí celá kategória zaoberajúca sa systémom MCAS. Práve jeho chybný design a nepredvídané vstupy sa z veľkej časti podieľali na vzniknutej situácii. V kombinácii s posádkou, ktorá mala opakované problémy vo spolupráci a koordinácii, tieto súvislosti viedli k tragickej nehode letu číslo 810 spoločnosti Lion Air.

2.3. Analýza nehody letu číslo 302 spoločnosti Ethiopian



Obrázok 2: Tretí krok analýzy príčin letu číslo 302. Zdroj: Autori.

Na vzniku výslednej udalosti- nehody letu číslo 302 sa podieľalo niekoľko príčin. Za nepochybne kľúčovú sa však aj v tomto prípade dá považovať celá kategória týkajúca sa systému MCAS. Ostatné príčiny totiž priamo nesúviseli s dôvodom prekvapujúceho správania sa lietadla počas letu a ťažkosťami z jeho ovládaním.

2.4. Porovnanie analýz

V oboch nehodách bolo v analýze zistených niekoľko príčin z rôznych kategórií, presne tak ako sa predpokladalo, nakoľko letecké nešťastia sú vždy následkom zhody viacerých okolností, udalostí a podmienok.

Ak sa však snažíme výsledné diagramy cause-and-effect analýzy porovnať medzi sebou, je jasne viditeľné, že obe nehody spája práve systém MCAS. V oboch prípadoch je prítomných niekoľko príčin, za ktoré je zodpovedný práve spomínaný systém. Tento výsledok nám potvrdzuje, že obavy o bezpečnosť lietadiel v ktorých bol uvedený systém implementovaný boli a sú právom opodstatnené a akákoľvek obozretnosť pri ďalších krokoch bola maximálne na mieste.

3. Dôsledky uzemnenia

Každé nehoda v leteckom priemysle, no obzvlášť tie najtragickejšie nešťastia majú svoje následky. V prvom rade sa jedná samozrejme o nevyčísliteľné a nenavrátiteľné straty na ľudských životoch, v neposlednom rade aj o straty ekonomické, prevádzkové ťažkosti, deformáciu reputácie spoločnosti či samotného výrobcu.

3.1. Dôsledky uzemnenia na prevádzkovateľov

Uzemnenie tak rozšíreného stroja akým bol Boeing 737 MAX značí pre letectvo, no obzvlášť prevádzkovateľov veľké problémy a značné komplikácie. Celkovo sa totiž jednalo o 387 kusov lietadiel, ktoré už boli v prevádzke 43 spoločností.

Pre prevádzkovateľov predstavovala táto skutočnosť nielen ekonomické ale aj logistické komplikácie. Letecké spoločnosti totiž potrebovali dodržať plány ich letov podľa rozvrhu, čo spôsobilo že ACMI prevádzkovatelia poskytujúci dočasný prenájom lietadiel získali počas leta 2019 zvýšenú mieru dopytu. To samozrejme viedlo k nadmerným cenám za ich služby.

Ak počítame s posádkou 12-16 pilotov, ktorá je potrebná k prevádzke jedného lietadla, náklady na tento počet personálu predstavujú približne 200 000 dolárov mesačne. Pri celkovom počte 393 uzemnených lietadiel teda len náklady na udržanie pilotov v zamestnaní predstavovali neuveriteľných 78,6 miliónov dolárov na dobu jedného mesiaca.

Podobná situácia nastáva pri mechanikoch údržby, ktorí sú potrební aj keď lietadlo parkuje na zemi. Približné náklady na tieto služby činia 11,8 milióna dolárov mesačne. Napríklad spoločnosť American Airlines predpokladala počas druhého kvartálu roku 2019 finančnú stratu až 183 miliónov dolárov, a to len v súvislosti s uzemnením lietadiel Boeing 737 MAX, nakoľko museli zrušiť až 7 800 letov. Spoločnosť Norwegian takisto hlásila negatívne správy a straty 81 miliónov dolárov od začiatku roka do júla 2019. [10]

3.2. Dôsledky uzemnenia na výrobcu

Akkoľvek sumy sa podarilo ušetriť výrobcovi, či prevádzkovateľom implementáciou tohto systému, boli okamžite prevýšené dlhodobými stratami. Výrobca sa musel zaoberať aj trestnými oznámeniami, ktoré podávali najmä pozostalí po tragických nehodách. Firma Boeing takisto založila fond na podporu pozostalých rodín a komunít po obetiach nehôd, do ktorého vložila 100 miliónov dolárov. Navyše výrobca vyčlenil 9 miliárd dolárov na pokrytie kompenzácií pre ich zákazníkov a komplikácii spojených s pozastaveným plnením objednávok. V roku 2019 firma Boeing zaznamenala prvú ročnú stratu za posledných 20 rokov – viac ako 19 miliárd dolárov.

Dôsledky týchto dvoch tragických nehôd nemali dopad len na výrobcu samotného, no napáchali drastické škody aj pri jeho dodávateľoch. Firma General Electric pocítila stratu 1,4 miliardy dolárov hotovostného toku v roku 2019, zapríčinenú výlučne uzemnením lietadiel Boeing 737 MAX. [7]

4. Návrat do prevádzky

Aj napriek tomu, že pesimistické odhady prevádzkovateľov lietadiel Boeing 737 MAX po ich uzemnení očakávali návrat do prevádzky v januári ďalšieho roku, ukázalo sa, že od reality mali ešte ďaleko. Na jar roku 2020 sa stále očakávalo, že lietadlá sa do prevádzky nevrátia skôr ako v auguste. Let, ktorý mal byť totiž pre novú certifikáciu kľúčový, bol totiž odložený, nakoľko sa výrobca musel zaoberať dvomi novými problémami so softvérom. [8]

Výrobca uvádza, že nápravné opatrenia boli vykonané v troch hlavných oblastiach, a to v systéme MCAS, dodatočných vylepšeniach a zmenou v procese validácie. [12]

18. novembra 2020 vydal úrad FAA príkaz, ktorým zabezpečila návrat Boeing 737 MAX do prevádzky. Toto rozhodnutie nasledovalo po komplexnom a metodickom postupe preskúmania bezpečnosti, ktoré trvalo 20 mesiacov. Okrem tohto príkazu bola vydaná smernica letovej spôsobilosti,

špecifikujúca zmeny potrebné na vykonanie pred návratom lietadla do prevádzky.^[14]

18. novembra 2020 vydal úrad FAA príkaz, ktorým zabezpečila návrat Boeingu 737 MAX do prevádzky. Toto rozhodnutie nasledovalo po komplexnom a metodickom postupe preskúmania bezpečnosti, ktoré trvalo 20 mesiacov. Okrem tohto príkazu bola vydaná smernica letovej spôsobilosti, špecifikujúca zmeny potrebné na vykonanie pred návratom lietadla do prevádzky.^[4]

4.1. Návrat do prevádzky v praxi

Dva roky od druhej fatálnej nehody Boeingu 737 MAX, v marci 2021, sa situácia s návratom do prevádzky začala rozbiehať. Aj napriek tomu, že opätovný návrat týchto strojov bol spočiatku pomalý, čísla začínali narastať. V marci boli tieto lietadlá v prevádzke dokopy u 14 leteckých spoločností po celom svete, od Kanady až po Kazachstan. Uvedenie do prevádzky malo spočiatku pomalé tempo, spôsobené najmä opatrnosťou a všetkými úkonmi, ktoré museli byť na lietadlách vykonané.^[11]

Ani s odstupom času však nemá návrat lietadiel tohto typu plynulý priebeh. Vyskytli sa totiž problémy s elektrickým uzemnením, ktoré postihli takmer 25% celej flotily Boeing 737 MAX. Ide teda o ďalší významný krok späť v programe MAX. Závada sa týkala elektrického uzemnenia v záložnom systéme riadenia. Z toho, čo sa pôvodne predpokladalo, že bude zopár týždňová záležitosť, sa však vyvinul relatívne závažný problém. Podľa FAA sa totiž ukázalo, že problém sa môže týkať aj ďalších systémov. V rámci Spojených štátov to teda znamená uzemnenie viac ako 60 lietadiel spoločností United Airlines, Southwest Airlines a American Airlines. Okrem nich sa to však týka aj iných spoločností z ostantých kútov sveta, medzi nimi napríklad TUI, Turkish Airlines alebo Silkair. Spolu majú uzemnených takmer 100 lietadiel.^[15]

5. Vplyv na prevádzkové postupy

Na predstavenie všeobecných zmien vo výcviku posádok Boeing 737 MAX po celom prehodení a aplikácii nápravných opatrení bola vydaná správa Flight Standardization Board Report od úradu FAA na presný opis a špecifikáciu zmien týkajúcich sa týchto modelov lietadiel. Cieľom celej tejto revízie bolo primárne pridať výcvikové požiadavky na systém MCAS, vylepšenia systému Autopilot Flight Director System a zamerať sa na dodatočné oblasti so zvláštnym zameraním. Skratka systému MCAS sa tak vo výcvikových požiadavkách pre lietadlo Boeing 737 MAX ocitla prvýkrát až po oboch tragických nehodách a ich prešetrení.

Pokiaľ hovoríme o zmenách vykonaných v osnovách výcviku ako takého, medzi najkľúčovejšie úpravy môžeme zaradiť pridanie niekoľkých položiek do požiadaviek na takzvané Special Emphasis Areas. Boli takisto definované aj požiadavky na výcvik, ktorý musí absolvovať každý jeden pilot pred prevádzkou lietadla Boeing 737 MAX. Tie zahŕňajú pozemný aj letový výcvik na simulátore, zameraný na kritické časti. Z uvedených požiadaviek na výcvik každého jedného pilota lietadla Boeing 737 MAX je jasné, že tieto osnovy boli mierené priamo na komplikácie a chyby, ktoré nastali počas oboch tragických nehôd týchto modelov pred aplikáciou nápravných opatrení, ako aj vysvetlenie upravenej funkcionality problematickeho systému, s

dôrazom na neštandardné postupy spojené s vyvážením stabilizátora lietadla.^[5]

6. Názor autora

6.1. Zhodnotenie príčin vedúcich k vzniku nehôd Boeing 737 MAX

6.1.1. Výrobca

V prípade príčin, ktoré viedli k vzniku samotných nehôd, je možné identifikovať niekoľko významných faktorov vychádzajúcich zo strany výrobcu, ktoré sa jednoznačne svojím spôsobom podieľali na zapríčení týchto dvoch tragických nehôd lietadiel Boeing 737 MAX. Za prvý a počiatočný faktor môžeme považovať všeobecnú situáciu na trhu a obchodné postavenie výrobcu Boeing v rámci konkurencie. Jedným z najzávažnejších pochybení je však jednoznačne snaha zo strany výrobcu o minimalizáciu informácií zmieňujúcich systém MCAS, ktorý mal reagovať na konštrukčné zmeny lietadla. Inžinieri z firmy Boeing totiž poukázali na ich pochybnosti o systéme, konkrétne o spoliehaní sa len na jeden senzor uhla nábehu, už v roku 2015. V roku 2016 boli taktiež vznesené pripomienky na aktívny dopad chybných údajov z týchto senzorov na systém MCAS. Tieto podnety neboli riadne vyšetrené a v niektorých prípadoch dokonca zamietnuté niektorými kolegami.^[1,9]

Po objektívnom zvážení týchto faktov, vzhľadom na skutočnosti, ktoré sú nám známe po tragických nehodách, je nedbalosť a ignorancia zo strany výrobcu šokujúca. Z dlhodobého hľadiska tak musí byť s podobným prístupom nemožné naplňať najvyššie bezpečnostné štandardy. Podobné správanie je alarmujúce pre celé odborné i neodborné obecnstvo, a je neprípustné, aby sa kedykoľvek v budúcnosti opakovalo.

6.1.2. FAA

Na zaručenie najvyšších úrovní bezpečnosti by mal byť fungujúci systém, ktorý by každú nedbalosť, pochybenie alebo prehliadnutie zo strany výrobcu dôkladne zachytil, a zabezpečil odstránenie problému, prípadne dohliadol na jeho zvládnutie. Práve úloha regulátorov – v tomto prípade aj úradu FAA je pri týchto úlohách kľúčová.

V rámci úradu FAA bolo prevedené nadmerné množstvo funkcií, týkajúcich sa dohľadu nad bezpečnosťou projektu práve výrobcovi – firme Boeing. Niektorým zamestnancom výrobcu bola pridelená funkcia ako autorizovaným reprezentantom úradu FAA, prípadne plnili certifikačné funkcie v mene úradu FAA. Tento systém sám o sebe narúša nezávislé postavenie certifikácie voči firme výrobcu a je zrejmé, že dôkladnosť dohľadu má priestor na nadmernú toleranciu. V niektorých prípadoch bolo navyše zistené, že vysoko postavení pracovníci manažmentu úradu FAA konali proti vlastným bezpečnostným odporúčaniam od technických expertov úradu, za cieľom podporiť obchodné záujmy firmy Boeing.^[2,3]

Už v roku 2016 bol vykonaný interný prieskum vo firme Boeing, ktorého výsledky boli alarmujúce, vzhľadom na bezpečnosť. Zistilo sa totiž, že až 39 percent pracovníkov pôsobiacich ako autorizovaný personál úradu FAA tvrdili, že pociťovali nepríjemný tlak a poukazovali na znepokojujúce kultúrne

problémy, ktoré sa musia jednoznačne riešiť na docielenie odstránenia podmienok podkopávajúcich bezpečnosť.^[9]

Všetky vyššie uvedené fakty len naplňajú predpoklad, že zlyhanie sa netýka len strany výrobcu lietadla. Práve chybný systém a celková situácia, kedy zamestnanci regulačného úradu pracovali pod nátlakom vytvorila prostredie vhodné na toleranciu chýb, ktoré sa stali dvom letom Boeing 737 MAX osudnými. Je neprípustné, aby celý proces regulácie kedykoľvek fungoval v podobnej forme.

6.1.3. *Prevádzkovatelia*

Prevádzkovateľ lietadla je z pohľadu výrobcu subjekt, ktorý rozhoduje o tom, či bude projekt úspešný alebo ľahne popolom. Už dobre známe obchodnícke porekadlo hovorí o tom, že náš zákazník je aj naším pánom. Pri výrobe takých komplexných a dôležitých strojoch, ako sú lietadlá, je avšak podobný prístup ohrozujúci. Záujmy oboch strán totiž môže spájať skôr motivácia finančných ziskov, pričom prioritou bezpečnosti je ohrozená.

Požiadavka, aby výcvik pilotov na typ Boeing 737 MAX nevyžadoval výcvik v simulátore pri prechode z Boeing 737 NG, sa stala jednou z kľúčových požiadaviek a niesla sa celým programom. Výrobca Boeing mal aj značné finančné motívy na zachovanie a splnenie tohto cieľa. V roku 2011 bola podpísaná dohoda s leteckou spoločnosťou Southwest Airlines, ktorá zavazovala firmu Boeing zaplatiť 1 milión dolárov za každé dodané lietadlo Boeing 737 MAX tejto spoločnosti, pokiaľ ich pilotom nebude umožnené prevádzkovať typy 737 NG a 737 MAX zameniteľne, z akéhokoľvek dôvodu.

Z hľadiska prevádzkovateľov sa teda dá jednoznačne hovoriť o slepej dôvere k výrobcovi a regulátorom, v rámci uprednostnenia obchodných a komerčných záujmov. Malo ísť o prestížne a nové lietadlo, pri ktorom výrobca prisľuboval výrazné zlepšenie ekonomiky prevádzky a minimálne nároky na výcvik. Spolu so slepou vidinou prevádzkovateľov o úsporách pri výcviku a ich uspokojením a dokonca aj ľahostajnosťou po prehovárani zo strany firmy Boeing tak vznikol základ na ignoranciu bezpečnosti, ktorá nestála na prvom mieste. ^[1,2,9,13]

7. Záver

Obe tragické nehody lietadiel Boeing 737 MAX boli pre celý letecký priemysel šokujúcimi udalosťami veľmi fatálnych rozmerov. Čo však spoločnosťou otriaslo viac ako osobné tragédie stoviek cestujúcich, boli prekvapivé zistenia o nedbalosti samotného výrobcu, prevádzkovateľov a dozorných orgánov pri návrhu a výrobe týchto lietadiel. Práve výrobca totiž nesie najväčšie bremeno zodpovednosti za vzniknutú situáciu – jeho primárne zameranie na ekonomickú a časovú efektívitu celej výroby a prvoplánový apel na nepotrebnosť výcviku v simulátore sú dôkazom toho, že zisky boli uprednostnené pred dôrazom na bezpečnosť. Vzniknuté nebezpečie spečatili úrady, ktoré mali dohliadať na prísne bezpečnostné štandardy, no miesto toho sa uspokojili so systémom, ktorý im zabezpečil menej práce a dal väčšiu zodpovednosť a voľnosť iným. Malo to za následok situáciu, kedy prevádzkovatelia už pracovali s nedokonalým produktom, no ani ich bezpečnostné mechanizmy nedokázali hrozbu včasne a efektívne zachytiť.

Vzniknutá situácia mala fatálne následky nielen na obeť a rodiny pozostalých, ale aj na celé letectvo. Vysokú cenu zaplatil

výrobca aj jeho subdodávatelia, ktorí spolu niesli bremeno viny, zastavenej produkcie a uzemnenia lietadiel. Devastačné následky doľahli aj na prevádzkovateľov, pre ktorých to v niektorých prípadoch malo až likvidačný efekt.

Ani opätovné uvoľnenie do prevádzky však neprebíha plynulo a bez komplikácií. Otázkou teda zostáva, ako obnoviť poškodené povedomie cestujúcej verejnosti a obnoviť kredit a dôveryhodnosť regulátorov. Obvykle marketingovo deklarovaná reputácia a historická významnosť výrobcov či regulátorov totiž nemusí byť dostatočná náplásť. Je teda potrebné zásadne zmeniť nastavenie jednotlivých systémov, ktoré časom zdegradovali za vidinami uľahčenia vlastného fungovania. Realizácia certifikácie prostredníctvom splnomocnených zástupcov musí fungovať na prísnejších, pevnejších a nespochybniteľných základoch a zároveň v menšom rozsahu. Ostatné regulačné úrady musia využívať vlastnú autoritu na nezávislé posúdenie certifikácie a nie len slepé prevzatie dokumentácie a riadne vykonávať funkciu dohliadania na bezpečnú prevádzku miestnych prevádzkovateľov. No v prvom rade musí prísť k obnoveniu riadnych hodnôt u komerčných účastníkov trhu. Pretože práve známe slovné spojenie „safety first“ je to, čo je základom úspechu a fundamentálnou zložkou celého leteckého priemyslu.

Referencie

- [1] BOEING EMPLOYEE [online]. Boeing 737 MAX Program.2013. Dostupné na internete: <<https://transportation.house.gov/imo/media/doc/Compressed%20Updated%202020.01.09%20Boeing%20Production.pdf>>.
- [2] COMMITTEE ON TRANSPORTATION AND INFRASTRUCTURE [online]. Final Committee Report: The Design, Development and Certification of the Boeing 737 MAX .2020. Dostupné na internete: <<https://transportation.house.gov/imo/media/doc/2020.09.15%20FINAL%20737%20MAX%20Report%20for%20Public%20Release.pdf>>.
- [3] DEFAZIO, P.A. et al. COMMITTEE ON TRANSPORTATION AND INFRASTRUCTURE. In . s. 292. Dostupné na internete: <<https://transportation.house.gov/imo/media/doc/DeFazio,%20Larsen%20Letter%20to%20FAA%20re%20rudder%20cables,%20lightning%20covers.pdf>> .
- [4] EASA [online]. Airworthiness Directive 2021-0039R2.2021. Dostupné na internete: <<https://ad.easa.europa.eu/ad/2021-0039R2>>.
- [5] FAA [online]. Flight Standardization Board Report .2020. Dostupné na internete: <https://www.faa.gov/foia/electronic_reading_room/boeing_reading_room/media/737_FSB_Report.pdf>.
- [6] ISHIKAWA, K. *Guide to Quality Control*. . 1976. vyd. [s.l.]: Asian Productivity Organization 226 s. ISBN 92-833-1035-7.

- [7] MCARTHUR, J.B. Cost savings versus redundant systems: The case of the Boeing 737 MAX debacle. In *Journal of Business and Accounting* . 2020. Vol. 13, no. 1, s. 4–21. Dostupné na internete: <http://asbbs.org/files/2020/JBA_Vol_13.1_Fall_2020.pdf#page=4> . .
- [8] SHEPARDSON, D. Boeing 737 MAX expected to remain grounded until at least August: sources. In *Reuters* [online]. 2020. [cit. 2021-05-11]. . Dostupné na internete: <<https://www.reuters.com/article/us-boeing-737max-idUSKCN22A35G>>.
- [9] THE BOEING COMPANY [online]. The Boeing 737 MAX: Examining the design, development, and marketing of the aircraft .Washington: U.S. Government Publishing Office, 2019. Dostupné na internete: <<https://www.govinfo.gov/content/pkg/CHRG-116hhrg38282/pdf/CHRG-116hhrg38282.pdf>>.
- [10] ZIEMELIS, G. Grounding Boeing 737 MAX May Cost Airlines \$1B/Month. In *IndustryWeek* [online]. 2019. [cit. 2021-03-19]. Dostupné na internete: <<https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/22028109/grounding-boeing-737-max-may-cost-airlines-1bmonth>>.
- [11] Boeing 737 MAX Return To Service Gathers Pace. In *Simple Flying* [online]. 2021. [cit. 2021-05-12]. Dostupné na internete: <<https://simpleflying.com/boeing-737-max-return-to-service-gathers-pace/>>.
- [12] Boeing 737 MAX Updates. In *Boeing 737 MAX Updates* [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné na internete: <<https://www.boeing.com/737-max-updates/>>.
- [13] Boeing Selects Supplier for 737 MAX Full-Flight Simulator. In *MediaRoom* [online]. [cit. 2021-05-18]. Dostupné na internete: <<https://boeing.mediaroom.com/2014-07-11-Boeing-Selects-Supplier-for-737-MAX-Full-Flight-Simulator>>.
- [14] FAA Updates on Boeing 737 MAX. In [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné na internete: <<https://www.faa.gov/news/updates/?newsId=93206>>.
- [15] Fresh FAA Concerns Set To Delay Grounded 737 MAX's Return To Service. In *Simple Flying* [online]. 2021. [cit. 2021-05-12]. Dostupné na internete: <<https://simpleflying.com/boeing-737-max-ungrounding-delayed/>>.
- [16] Bugaj, M., Novák, A. 2010. Všeobecné znalosti o lietadle: drak a systémy, elektrický systémy. 1. vyd.-Žilina: Žilinská univerzita, 2004.-247 s.

ANALYSIS OF SELECTED AIRCRAFTS SUITABLE FOR PPL TRAINING

ANALÝZA VYBRANÝCH LIETADIEL VHODNÝCH PRE VÝCVIK PPL

Dominik Matula
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
matuladomi@gmail.com

Martin Bugaj
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
martin.bugaj@fpedas.uniza.sk

Abstract

The main goal of the paper is based on the analysis to define the criteria for selecting an aircraft suitable for PPL training. We achieved the main goal by meeting two sub-goals. The first sub-objective is the analysis of training organizations in Slovakia, on the basis of which we have selected entities for the second sub-objective thus the analysis of selected aircrafts suitable for PPL training. In this work we analyze three, most used training aircrafts for PPL training in Slovakia. We analyze selected aircrafts in terms of three main parts, which include, analysis of technical parameters, analysis of flight characteristics and analysis of operating parameters. Based on the given analyzes, we obtained an evaluation of the characteristics of selected aircrafts, their individual advantages and disadvantages. Other results of the work include the evaluation of criteria that are suitable for aircrafts designed for PPL training. This work can be applied in practice, especially when deciding on the selection of a training aircraft for a student or training organization.

Keywords

PPL training aircraft, aviation training organization, analysis

1. Úvod

Pilot je osoba, ktorá riadi, alebo má povolenie na riadenie lietadla. Je to veľmi dôležitý prvok k zaisteniu chodu a bezpečnosti letectva. Pilot musí byť na túto činnosť špeciálne školený. Prvým krokom k tomu, aby sa človek stal pilotom, je získanie pilotnej licencie, ktorá ho oprávňuje pilotovať lietadlá. Pre väčšinu pilotov je týmto prvým krokom, práve výcvik súkromného pilota. Výcvik súkromného pilota je vykonávaný na určitých typoch lietadiel, ktoré majú niektoré vlastnosti spoločné a v ďalších sa líšia. Práve analýza týchto vlastností je predmetom našej práce [1].

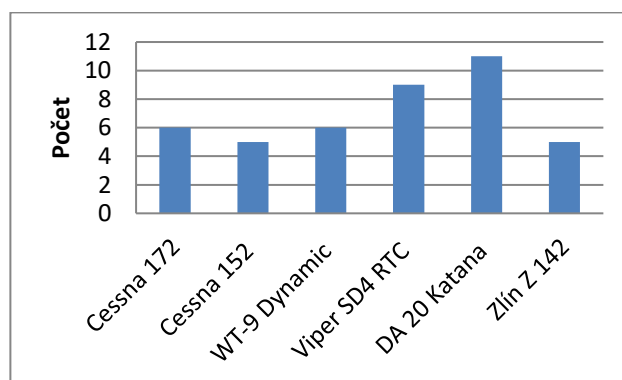
Cieľom tejto diplomovej práce je definovať kritéria pre výber lietadla vhodného na výcvik PPL. Tieto kritéria budeme definovať na základe splnenia čiastkových cieľov. Medzi čiastkové ciele patrí analýza výcvikových organizácií na Slovensku, na základe ktorej vyberieme tri letúny vhodné na výcvik súkromného pilota. Druhý čiastkový cieľ je analýza vybraných lietadiel a ich vlastností, podľa rôznych kategórií. Hlavné kritéria, podľa ktorých, ich budeme analyzovať sú rozdelené na technické parametre, letové parametre a prevádzkové parametre. Tieto analýzy následne vyhodnotíme a poskytneme riešenia na otázku, ktoré kritéria sú dôležité pre výber lietadla vhodného na výcvik PPL [2].

Osobne som výcvik súkromného pilota absolvoval na lietadle Diamond DA20 Katane, vo výcvikovej organizácii Seagle. Túto tému som sa rozhodol spracovať, preto, lebo pred začatím výcviku, som sa sám rozhodoval, na akom letúne daný výcvik absolvovať, pričom nebolo k dispozícii žiadne relevantné porovnanie výcvikových letúnov. Táto práca môže mať prínos

pre záujemcov o výcvik súkromného pilota, alebo začínajúce výcvikové organizácie, ktoré sa rozhodujú nad lietadlom, vhodným pre výcvik PPL [3].

2. Analýza výcvikových organizácií na Slovensku

V tejto časti sme sa zamerali na komplexnú analýzu výcvikových organizácií na Slovensku, ktoré poskytujú výcvik PPL a na akých lietadlách tento výcvik vykonávajú.



Graf 1: Najviac zastúpené výcvikové letúny. Zdroj: (Autori)

Na základe analýzy výcvikových letúnov sme vybrali tri najviac využívané letúny, pričom sme sa zamerali na letúny normálnej kategórie a vynechali sme ultraľahké lietadlá, aby boli čo najviac porovnateľné. Vybrali sme tieto letúny: DA 20, Zlín Z142 a Cessna 172.

3. Analýza výcvikových letúnov

Lietadlá určené pre výcvik pilotov musia spĺňať kritériá, vhodné pre výcvikové lietadlá. Tak ako zo všetkými projektmi, s ktorými človek začína a študuje ich, je začiatok postavený na menších, jednoduchších projektoch. To isté platí aj v letectve, prvé lety pilotov sú vykonávané na menších, jednoduchých a ľahkých lietadlách.

Kritériá, podľa ktorých posudzujeme tieto vybrané lietadlá sú viac, či menej všeobecné a komplexné v rámci celého lietadla. Zhrnuli sme najdôležitejšie vlastnosti, aby nám dali predstavu o lietadle ako celku. Berieme do úvahy technickú časť lietadiel, časť letových vlastností a časť z hľadiska prevádzky výcvikového lietadla, kde zhrnieme ekonomickú stránku jednotlivých letúnov. Tieto hlavné časti budú rozdelené na pod časti, ktoré sú viac špecifickejšie.

3.1. Technická analýza

Technické parametre sú základné a veľmi dôležité údaje u lietadiel. Technické parametre udávajú, z čoho a ako je dané lietadlo skonštruované, aké má rozmery, alebo, ako je vybavené. Od týchto údajov sa odvíja, aké má lietadlo celkové vlastnosti, výkony, obmedzenia, prevádzkové náklady. V technickej analýze sa zameriavame na základné exteriérové a interiérové technické prvky u jednotlivých lietadiel. V tejto časti analyzujeme technické údaje vybraných lietadiel, v ktorých zhrnieme ich konštrukciu, to znamená aký materiál tvorí ich konštrukciu, aký typ konštrukcie majú a hlavné konštrukčné charakteristiky trupu, krídiel, chvostových plôch a podvozkov. Z hľadiska krídlových charakteristík sme sa zamerali na porovnanie štihlosti krídiel (aspect ratio). Štihlosť krídla nám udáva, ako je dané krídlo efektívne, z hľadiska produkcie indukovaného odporu na konci krídla. Ďalej sa zameriame na riadenie, kde opíšeme hlavné riadiace prvky a systémy v danom lietadle, a ako sú ovládané. K dôležitým ukazovateľom technických údajov, patria aj údaje o pohonných jednotkách. Priblížime si akým typom motora, a akou vrtuľou sú tieto letúny vybavené. A posledná časť je venovaná interiérovému vybaveniu. Interiér je časť letúna, s ktorým príde pilot najviac do styku. Preto budeme porovnávať rozloženie budíkov, ovládacích prvkov a ich jednotlivých konfigurácií.

3.2. Letová analýza

Časť letových vlastností zahŕňa limity, výkony a vlastnosti za letu jednotlivých letúnov. V rámci limitov sa zameriame na prevádzkové obmedzenia. Poskytnú nám informácie o tom, ako sú limitované v rámci prevádzky, a teda ako môžu byť využité okrem výcviku PPL. Skúmame všestrannosť daných letúnov, ktorá môže byť dôležitým ukazovateľom nielen pre študenta pri výbere letúna na výcvik, ale aj samotnej leteckej výcvikovej organizácie. Ďalší parameter na porovnanie je rýchlostné obmedzenie, ktorý nám určí, v akých rýchlostiach môžu dané letúny letieť. Každý pilot musí vedieť aké hmotnostné obmedzenie má jeho lietadlo. My sme ho uviedli preto, aby sme získali prehľad o hmotnostiach jednotlivých letúnov. Úlohou pilota je vzlietnuť na čo najkratšej dráhe a taktiež pristáť na čo najkratšej dráhe. Je to dôležité z hľadiska bezpečnosti, aj prevádzky na letisku. Pre to sme medzi výkony zaradili, porovnanie vzletových a pristávacích výkonov. Sú to parametre, pri ktorých môžeme porovnať na akej vzdialenosti, dokážu jednotlivé lietadlá vzlietnuť a pristáť. Ďalej porovnáваме údaje

o rýchlosti stúpania a dostupnosti, teda akou maximálnou rýchlosťou môžu vybrané lietadlá stúpať, a v akej maximálnej výške môžu letieť. Z bezpečnostného hľadiska, pri vysadení motora bolo dôležité zahrnúť údaj o kízavosti, čo nám udáva, ako dlho môže lietadlo letieť bez ťahu motora. Z hľadiska prevádzky je dôležitým výkonným parametrom vytrvalosť, koľko hodín môže dané lietadlo letieť bez dočerpania paliva. Na záver sme opísali vlastnosti za letu jednotlivých letúnov. Sú to všeobecné vlastnosti, ktoré nám priblížia ako sa dané letúny pilotujú, a ako reagujú. Pri tejto časti sme čerpali z vlastných skúseností pri DA20. S ostatnými letúnmami žiaľ nemáme osobné skúsenosti, tak sme čerpali z internetových článkov a na diskusných fórach.

3.3. Prevádzková analýza

Časť prevádzkových parametrov je zameraná na ekonomické faktory, spojené s prevádzkou daných letúnov. Výcvik pilotov je náročný z hľadiska niekoľkých faktorov a financie sú práve jeden z nich. Finančné požiadavky hrajú veľkú rolu, pri výbere lietadiel nielen u pilotov, ale aj výcvikových organizácií. Preto sme sa rozhodli zahrnúť porovnanie daných lietadiel z hľadiska ceny jednej letovej hodiny a celkovej obstarávacej ceny lietadla. Ďalší faktor, ktorý sme sa rozhodli v tejto časti skúmať je suma prevádzkovej spotreby paliva a oleja, za jednu hodinu letu. Tento údaj nám poskytne informáciu na otázku, ktorí letún je najefektívnejší nielen z prevádzkového, ale aj ekonomického hľadiska. Dané ceny v časti Prevádzkové parametre sú získané z dostupných informácií na internete a môžu sa líšiť.

4. Vyhodnotenie

4.1. Technické kritéria

Základnou vlastnosťou letúnov určených pre výcvik je jednoduchá konštrukcia s efektívnymi vlastnosťami. Takáto konštrukcia by nemala obsahovať žiadne zložité prvky, ktoré by mohli komplikovať nie len údržbu, ale aj celkovú výučbu. Pre výcvik súkromných pilotov je vhodný letún s menšími rozmermi, pološkrupinovej konštrukcie, s hladkou aerodynamikou. Efektivita by mala byť zachovaná aj pri krídlových charakteristikách, čomu prispieva napríklad väčšia štihlosť krídla.

Pri riadiacich prvkoch je jednoduchosť takisto podstatná. Konfigurácia mechanického riadenia hlavných riadiacich prvkov lietadla zabezpečuje jednoduché prepojenie a ľahšiu údržbu. Pri elektricky ovládaných vztlakových klapkách, získavame väčší komfort. Takáto kombinácia je veľmi vhodná pre moderné výcvikové lietadlo.

Z hľadiska motorových jednotiek je dôležité hľadať na efektívnosť, v pomere výkon/spotreba. V súčasnosti je na túto vlastnosť kladený veľký dôraz. Nové, moderné letecké motory patria medzi veľmi efektívne, čím prispievajú aj k znižovaniu ekologických dôsledkov. Vhodná letecká vrtuľa pre výcvikové letúny by mala byť čo najviac efektívna vo všetkých fázach letu. Túto vlastnosť zabezpečuje nastaviteľná vrtuľa, ktorá patrí medzi efektívne, na úkor jednoduchosti.

Rozloženie kabíny a prístrojov môže byť opomínané pri výcvikových letúnoch, no aj tu platí, že jednoduchosť a efektívnosť je základ. Medzi pozitívne charakteristiky patrí taktiež dobrá čitateľnosť, pre pilota, aj inštruktora. Pri novších typoch letúnov,

to zabezpečujú displejové jednotky umiestnené pre obidvoch členov posádky. Takéto multifunkčné systémy môžu byť pre začínajúcich pilotov komplikované, ale majú väčší potenciál do budúcnosti.

4.2. Letové kritéria

Pre výcvikové letúny súkromných pilotov plnohodnotne stačí letún, ktorý je kvalifikovaný pre VFR lety. Napriek tomu letún s viacerými kvalifikáciami, ako akrobatické, alebo IFR lety, má širšie spektrum využitia. Túto vlastnosť ocenia najmä začínajúce, či menšie výcvikové organizácie, ktoré nemusia obstarávať druhý letún na tieto úkony.

Letové vlastnosti úzko súvisia s tými technickými a majú vplyv na celkový letecký zážitok. Hlavnými znakmi sú efektivita a bezpečnosť. Výkony pri vzlete a pristátí hrajú rolu najmä na menších letiskách, kde je často výcvik PPL vykonávaný. Taktiež sú úzko späté s bezpečnosťou, pri vysadení motora, či už pri vzlete a pristátí. Ďalší faktor, ktorý má vplyv na bezpečnosť je kĺzavosť, čím je väčšia, tým pilot získava viac času v krízových situáciách.

4.3. Prevádzkové kritéria

Prevádzkové kritériá majú veľký vplyv na výcvikové letúny, najmä z hľadiska nákladov. Financie hrajú veľkú rolu pri výbere, keďže letecká doprava patrí medzi najdrahšie druhy dopravy. Finančné náklady závisia od typu výcvikového letúna, prevádzkovaného danou výcvikovou organizáciou, od množstva ďalších faktorov a prevádzkovatelia sa ich snažia, čo najviac znižovať. To, aby letún vyžadoval čo najmenšie náklady, bez znižovania plnej prevádzky schopnosti je jeden z hlavných ukazovateľov od ktorého sa odvíja aj cena za letovú hodinu. Tá hrá jednu z hlavných rolí u potenciálnych záujemcov o výcvik PPL, pri posudzovaní výberu leteckej školy, ale taktiež pri rozhodnutí aké výcvikové letúny bude daná organizácia používať.

4.4. Zhrnutie

Jednotlivé technické, letové a prevádzkové parametre spolu veľmi úzko súvisia a dávajú nám predstavu o všeobecných vlastnostiach, ktoré sú u výcvikových lietadiel dôležité pre prevádzkovateľov a prenajímateľov pre výcvik súkromného pilota. Všeobecné kritéria, ktoré sa týkajú výcvikových letúnov sú:

Jednoduchosť:

Výcvikový letún slúži pre začínajúcich pilotov, ktorí sa ocitnú v novom prostredí. Na začiatku učenia je preto ideálne začínať s jednoduchšími systémami, alebo strojmi a postupne prejsť na komplikovanejšie. Práve výcvik PPL, ktorý je pre mnohých prvá skúsenosť s lietaním, by mal byť vykonávaný na jednoduchších strojoch, bez komplikovaných systémov a usporiadaní. Takisto jednoduchosť konštrukcie výcvikových letúnov má vplyv na finančnú stránku, ktorá sa týka nielen obstarávacej ceny, ale aj následných opráv, či výmeny jednotlivých komponentov.

Efektivita:

Efektivita, alebo účinnosť úzko súvisí s jednoduchosťou výcvikových letúnov. Výcvikové letúny by mali byť jednoduché, no zároveň ich jednotlivé systémy by mali byť dost účinné, čím

priamo ovplyvňujú bezpečnosť a úspornosť. Efektívne systémy zabezpečujú spoľahlivé fungovanie systému, účinné letové vlastnosti, vysoký pomer výkonu a spotreby a v neposlednom rade vyššiu bezpečnosť.

Bezpečnosť:

Bezpečnosť je jedným zo základných prvkov letectva. Letúny musia spĺňať určité bezpečnostné normy. Na bezpečnosť taktiež vplyvajú charakteristiky výcvikových letúnov, ktoré môžu prispieť k vyššej bezpečnosti letúna. Pilotom - študentom môžu jednotlivé bezpečnostné prvky pomôcť v krízových, núdzových situáciách, s ktorými ako začínajúci piloti majú nízke skúsenosti.

Úspornosť:

Úspornosť súvisí s nízkou spotrebou, nízkou poruchovosťou a nízkymi nákladmi. Tieto faktory sú dôležité pre výcvikové letúny súkromného pilota, keďže dané letúny patria k najvyťaženejším letúnom vo výcvikových organizáciách. Prevádzkové náklady týchto letúnov, ako spotreba paliva, či údržba, hrá kľúčovú rolu pre prevádzkovateľov a takisto sa od nich odvíjajú ceny pre zákazníkov.

5. Záver

Cieľom diplomovej práce bolo na základe analýzy, definovať kritéria pre výber lietadla vhodného na výcvik PPL. Dané kritéria sa nám podarilo definovať na základe splnenia dvoch čiastkových cieľov, ktoré sa týkali analýzy výcvikových organizácií na Slovensku, na základe ktorej, sme vybrali subjekty pre analýzu vybraných lietadiel vhodných na výcvik PPL. Analýza sa týkala troch, z najviac používaných letúnov pre daný výcvik na Slovensku, a to Diamond DA 20, Zlín Z-142 a Cessna 172. Po analyzovaní čiastkových cieľov sme získali údaje rozdelené do troch skupín, technických, letových a prevádzkových parametrov.

Vďaka výsledkom z daných skupín analýzy, získavame prehľad o jednotlivých kritériách, ktoré sú dôležité pre výcvikové letúny. Výcvikové lietadlo, vhodné pre výcvik PPL, by podľa výsledkov práce, malo spĺňať tieto hlavné kritéria: jednoduchosť, bezpečnosť, efektivita a úspornosť. Dané kritériá vplyvajú na celkovú konštrukciu lietadla, jeho letové vlastnosti, výkony a obmedzenia, celkovú prevádzku a údržbu lietadla. Jednotlivé kritéria spolu veľmi úzko súvisia a navzájom sa ovplyvňujú.

Daná práca môže pomôcť záujemcom o výcvik PPL, ktorý sa v nej môžu dozvedieť o rozdieloch medzi jednými z najviac používaných letúnov pre výcvik PPL na Slovensku a tým pádom im môže uľahčiť rozhodnutie, na akom letúne daný výcvik absolvovať. Taktiež, nielen pre záujemcov, ale aj výcvikovým organizáciám môže pomôcť s výberom takého letúna. V neposlednom rade poskytuje táto práca poskytuje zhrnutie dôležitých kritérií, ktoré sa týkajú výcvikových letúnov.

V tejto práci nás limitoval fakt, že všetky analýzy prebiehali len na teoretickej úrovni a nebolo možné dané letúny analyzovať aj z praktického hľadiska. Daná práca, by mohla pokračovať v analýze jednotlivých výcvikových letúnov používaných na Slovensku, čím by poskytla všeobecný prehľad o jednotlivých letúnoch, používaných pre výcvik PPL na Slovensku. Ďalší návrh, ktorý s týmto súvisí, je analýza využitia ultraľahkých letúnov, v porovnaní s ľahkými letúnmami, vo výcviku PPL.

Referencie

- [1] BUGAJ, M., PECHO, P. a ROSTÁŠ, J. 2017. Úloha analýzy spoľahlivosti lietadlových celkov pri stanovovaní subprocesov údržby riadenej spoľahlivosťou In: Aero-Journal : international scientific journal of air transport industry. - ISSN 1338-8215. - Č. 1, s. 12-17.
- [2] BUGAJ, M. 2020. Aeromechanics 1. Žilina: EDIS, 2020. ISBN 9788055416755.
- [3] BUGAJ, M. 2015. Areomechanika I. Základy aerodynamiky, Bratislava: DOLIS s.r.o., 2015. 208 strán. ISBN 978-80-970419-3-9

APPROACHES OF CHOSEN AIR NAVIGATION SERVICES PROVIDERS TO UAV INTEGRATION INTO AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS

PRÍSTUPY VYBRANÝCH POSKYTOVATEĽOV LETECKÝCH NAVIGAČNÝCH SLUŽIEB K INTEGRÁCII UAV DO SYSTÉMOV RIADENIA LETOVEJ PREVÁDZKY

Peter Matúš
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
peter.matus.sk@gmail.com

Matúš Materna
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
matus.materna@fpedas.uniza.sk

Abstract

In this article are approaches of Air Navigation Services (ANS) providers in chosen countries to UAV integration into Air Traffic Control Systems identified and described. Firstly we made a synpapper of theoretical information about ANS and UAV. Product of ANS providers has 11 parts. For UAV traffic control and management are important ATC, CNS, AIS, MET, ATFCM and ASM services. The volume of ANS provided depends on UAV operation development in the country, and on the level of integration of UAV into ATC systems. The biggest problem of UAV operation is the risk of collision with piloted aircraft, and potential threat of people and property on the ground. The biggest risk is during UAV operation close to airports, because there are many aircrafts flying in low altitudes (after take-off and on approach to landing). The consequences of collision in this altitudes in the most serious. Because of this, 4 ways to detect and 2 ways to mitigate an unauthorized UAV close to airport are currently in use. Various combinations of UAV detection and mitigation ways create complex airport UAV protection systems. Secondly, we chose 7 countries (Poland, Hungary, Germany, Great Britain, USA, India, and United Arab Emirates), and analysed their approaches to UAV integration. In all of the analysed countries can remote pilots use a mobile application, which allows them to create a flight plan, and receive all the information, necessary for the flight. Differences between these countries are for example if the permission is required for every UAV flight (in Hungary and India yes), if the ANS provider has an opportunity to watch UAV during flight (in Poland, India, and partly in Germany), if the UAV operation without direct visual contact between remote pilot and UAV is allowed (in Poland and Germany), and if are UAV operations included into airspace capacity management systems (in Poland, Hungary, Germany, and Great Britain). UAV integration process in next years will relate to development of communication systems between UAVs, between UAV and ATC, and between UAV and piloted aircraft. The process will also relate to development of technologies to avoid mid-air collisions.

Keywords

UAV, ANS, Integration, Airspace, Air Traffic Control

1. Úvod

Tému Prístupy vybraných poskytovateľov leteckých navigačných služieb k integrácii UAV do systémov riadenia letovej prevádzky som si vybral, pretože som fanúšikom bezpilotného lietania, a zaujíma ma, ako bude prebiehať rozvoj tohoto odvetvia na Slovensku aj vo svete. Objem prevádzky UAV vo svete v poslednom desaťročí neustále narastá, a na to, aby bol nárast prevádzky UAV bezpečný, je nutné začleniť UAV do existujúcich systémov poskytovania leteckých navigačných služieb, aby bol umožnený dohľad nad touto prevádzkou. Cieľom článku je identifikácia a porovnanie prístupov vybraných poskytovateľov leteckých navigačných služieb (LNS) k integrácii UAV. V prvej kapitole budú popísané jednotlivé služby, ktoré sú v rámci LNS poskytované. Detailnejšie sa pozrieme na tie služby, ktoré sú v súčasnosti využívané pri riadení prevádzky UAV. V tejto kapitole budeme čerpať z dostupných internetových a knižných publikácií. V druhej kapitole bude predstavená problematika UAV. Popísaná bude klasifikácia UAV podľa viacerých často používaných kritérií, taktiež budú spomenuté dokumenty, ktoré upravujú pravidlá prevádzky UAV, platné na celoeurópskej úrovni, aj špecifické pravidlá, ktoré platia v Slovenskej republike. Analyzované budú aj riziká, ktoré prevádzka UAV prináša.

Najväčšie riziká, a z nich vyplývajúce nebezpečenstvá, hrozia pri prevádzke UAV v blízkosti letísk. Preto budú spomenuté spôsoby, ktoré sa v súčasnosti používajú na ochranu letísk pred nežiadúcimi UAV. Budú tiež uvedené požiadavky, ktoré je potrebné pri integrácii UAV do vzdušného priestoru splniť. V tejto kapitole budeme čerpať z dostupných relevantných internetových zdrojov a publikácií. V nasledujúcej kapitole budeme analyzovať prístupy k integrácii UAV do vzdušného priestoru vo vybraných krajinách. Bude vybraných 7 krajín, pri ktorých sa vždy pozrieme na pravidlá prevádzky UAV v ich vzdušnom priestore, na produkty, ktoré pilotom na diaľku ponúkajú na uľahčenie plánovania a vykonávania letov, a celkovo na ich prístup k manažmentu prevádzky UAV. Informácie na tvorbu tejto kapitoly budeme čerpať najmä z internetových stránok príslušných poskytovateľov leteckých navigačných služieb, leteckých regulátorov, a prípadne zo stránok vývojárov mobilných aplikácií a ďalších produktov, ktoré sa v daných krajinách používajú. V poslednej kapitole bude vykonané porovnanie prístupov jednotlivých krajín k integrácii UAV. Zameriame sa na porovnanie používaných produktov pre pilotov na diaľku, a systémov manažmentu prevádzky UAV.

2. Úvod do problematiky poskytovania leteckých navigačných služieb

Poskytovatelia Leteckých navigačných služieb (LNS) majú svoje nezastupiteľné miesto pri zabezpečovaní bezpečnosti a plynulosti leteckej dopravy. Zabezpečujú riadenie letovej prevádzky, vydávanie meteorologických správ a predpovedí, publikovanie správ, ktoré odovzdávajú pilotom a ďalším leteckým pracovníkom informácie, potrebné pre bezpečné vykonanie letu, v prípade potreby vydávajú výstražné správy a zabezpečujú pátranie a záchranu. Taktiež sa starajú o to, aby bola kapacita vzdušného priestoru daného štátu využitá čo najefektívnejšie [1] [10]. Produkt poskytovateľov LNS sa skladá z 11 služieb, v niektorých prípadoch spadá viacero služieb do jednej skupiny (napr. služby ACC, APR a TWR patria medzi služby ATC). Jednotlivé letecké navigačné služby popisuje Tabuľka č.1.

Tabuľka č.1: Služby, poskytované v rámci LNS. Zdroj: [1].

Skratka	Rozpísanie skratky	Vysvetlenie
CNS	Communication, Navigation, Surveillance	Letecké telekomunikačné služby zahŕňajú všetok potrebný hardvér, softvér a prevádzkové postupy na navigáciu, komunikáciu a celkový situačný prehľad
AIS	Aeronautical Information Service	Letecká informačná služba zabezpečuje tvorbu informácií, potrebných pre bezpečnosť a plynulosť leteckej dopravy, a ich distribúciu k používateľom
MET	Meteorological Service	Meteorologická služba zabezpečuje vydávanie meteorologických správ a predpovedí dôležitých pre leteckú dopravu, ako METAR, SPECI, TAF, SIGMET, GAMET a ďalšie
SAR	Search and Rescue	Pátracia a záchranná služba je poskytovaná lietadlám v prípade leteckých nehôd alebo incidentov
ATFCM	Air Traffic Flow and Capacity Management	Manažment kapacity a toku prevádzky zabezpečuje zachovanie maximálnej kapacity vzdušného priestoru a plynulosti letovej prevádzky
ASM	Airspace Management	Manažment vzdušného priestoru koordinuje využívanie vzdušného priestoru civilnými a vojenskými lietadlami
FIS	Flight Information Services	Letová informačná služba zabezpečuje informácie pre používateľov vzdušného priestoru

ALRS	Alerting Services	Výstražné hlásenia pre používateľov vzdušného priestoru
ADVS	Advisory Services	Poradné informácie pre používateľov vzdušného priestoru
ACC	Area Control Centre	Oblasťné stredisko riadenia zabezpečuje riadenie letov na trati
APP	Approach centre	Približovacie stredisko riadenia zabezpečuje riadenie letov vo fáze priblíženia na prístátie
TWR	Tower	Veža zabezpečuje riadenie letov pri vzlete, prístátí a rolovaní

LNS sa využívajú aj pri prevádzke UAV. Pre prevádzkovateľov UAV a pre pilotov na diaľku sú dôležité služby CNS (umožnenie komunikácie a sledovania polohy UAV), AIS (zdroj informácií, potrebných k bezpečnému vykonaniu letu), MET (zdroj meteorologických správ a predpovedí), APR a TWR (v prípade letu v CTR riadených letísk). V prípade, že je prevádzka UAV integrovaná do systémov poskytovania LNS, je UAV zahŕňané aj do služieb, ktoré manažujú kapacitu a celkové využitie vzdušného priestoru, teda ATFCM a ASM. Vo väčšine krajín je legislatíva, týkajúca sa poskytovania LNS, nastavená protekcionisticky, to znamená, že len jeden podnik je držiteľom štátnej licencie (má geografický monopol). Poznáme však niekoľko krajín (napr. Nemecko, Švédsko, Španielsko), kde je poskytovanie LNS čiastočne liberalizované, a poskytovanie niektorých LNS je predmetom súťaže. Ide o služby CNS, AIS, MET, FIS, APR a TWR, ktoré teda patria do neregulovaného segmentu. Ostatné LNS nemôžu byť predmetom súťaže, a patria teda do regulovaného segmentu [2] [9]. Liberalizácia umožňuje existenciu viacerých business modelov poskytovateľov LNS, ktoré sa líšia tým, či je daný poskytovateľ vlastnený štátom, alebo súkromne, a tým, či vyvíja aj komerčnú činnosť. Historický business model je taký, pri ktorom je daný poskytovateľ vlastnený výlučne štátom a financovaný je zo štátneho rozpočtu. Poskytuje LNS len na domácom regulovanom trhu, nevykonáva žiadnu komerčnú činnosť. Pri indiferentnom business modeli je poskytovateľ vlastnený štátom, manažment však môže byť čiastočne nezávislý od vlády. Financovaný je z poplatkov, ktoré vyberá od užívateľov svojich služieb. Jeho hlavnou činnosťou je poskytovanie LNS na regulovanom domácom trhu, v malej miere môže vyvíjať aj komerčnú činnosť (napr. LPS SR). Komerčný business model znamená, že daný poskytovateľ je vlastnený štátom, alebo čiastočne súkromne. Okrem poskytovania LNS na domácom trhu môže vykonávať viaceré komerčné činnosti, ktoré tvoria podstatnú časť jeho príjmov (napr. DFS) [3].

3. Úvod do problematiky UAV

Unmanned aerial vehicle (ďalej len UAV) je podľa paragrafu 7 Leteckého zákona SR „lietadlo, ktoré je spôsobilé na lietanie bez prítomnosti pilota na palube“. Dopravný úrad SR rozdeľuje UAV

na autonómne lietadlá, diaľkovo riadené lietadlá a modely lietadiel. Autonómne lietadlo vykonáva všetky letové úlohy samostatne, a vonkajší zásah do riadenia nie je možný. Diaľkovo riadené lietadlo je ovládané osobou, ktorá sa nenachádza na palube lietadla. Model lietadla je bezpilotné lietadlo, ktoré neumožňuje automatický let, je používané len na športové, súťažné a rekreačné účely [4]. Podľa nosnej plochy poznáme multirotorové UAV (používané najmä pri hobby letaní), UAV s pevným krídlom (snímkovanie rozsiahlych plôch, majú dlhý dolet a veľkú výdrž vo vzduchu), jednorotorové UAV (snímkovanie v prípade, že je potrebné stáť na jednom mieste počas letu, taktiež majú veľkú výdrž a dlhý dolet) a hybridy, ktoré kombinujú vlastnosti predchádzajúcich typov [5]. Podľa hmotnosti UAV poznáme 5 tried (C0 – C4), a ďalšie dve špeciálne kategórie podľa európskej legislatívy spadajú do triedy C3 [6]. V januári 2021 vstúpili do platnosti pravidlá, ktoré upravujú prevádzku UAV na celoeurópskej úrovni, Slovenská republika však v čase písania práce zatiaľ nepristúpila k ich implementovaniu do národnej legislatívy. Podľa európskej legislatívy rozdeľujeme prevádzku UAV na 3 kategórie, Open, Specific a Certified. Pre letanie v každej z týchto kategórií platia špecifické pravidlá uvedené vo *Vykonávacom nariadení 947/2019* [5]. Pravidlá prevádzky UAV vo vzdušnom priestore SR upravuje *Rozhodnutie č.2/2019*. Podľa týchto pravidiel sa prevádzka UAV v SR rozdeľuje na kategórie A a B, špeciálne pravidlá platia pre letecké práce a lety UAV patriacich do kategórie Lietadlo-hračka. Najdôležitejšími pravidlami prevádzky UAV sú, že prostriedok UAV nesmie ohroziť ostatnú letovú prevádzku, ani osoby a majetok na zemi, a pilot na diaľku musí mať stály vizuálny kontakt s prostriedkom UAV, ktorý riadi (pri splnení stanovených podmienok môže využiť pomoc pozorovateľa, ktorý bude tento kontakt udržiavať) [4]. V posledných rokoch sa vo svete udialo niekoľko leteckých incidentov, ktoré boli spôsobené pilotmi na diaľku, ktorí nedodržiavali platné pravidlá letania. Ide napríklad o zrážku prostriedku UAV s lietadlom Beech King Air A100 počas priblíženia na pristátie v Quebecu (2017), alebo o prípad z roku 2018, kedy bol na letisku Londýn - Gatwick v priebehu 36 hodín niekoľko krát nad vzletovou a pristávacou dráhou spozorovaný prostriedok UAV, a letisko muselo byť dočasne uzavreté [7]. Vzhľadom na tieto, a mnohé ďalšie podobné incidenty, sa používa geo fencing na ohraničenie priestoru, v ktorom je prevádzka UAV zakázaná, ako aj niekoľko metód na detekciu a uzemnenie neoprávneného letu UAV v TMA alebo CTR letiska. Na detekovanie prostriedku UAV sa používa radarová, akustická, rádiová a vizuálna detekcia. Ďalšie spôsoby detekcie UAV sú v štádiu vývoja. Na uzemnenie prostriedkov UAV, ktoré neoprávnené narušili príslušnú oblasť, sa používa rušenie rádiových frekvencií (pri tomto však hrozí nebezpečenstvo rušenia komunikačných signálov medzi lietadlami a pozemnými rádionavigačnými zariadeniami) a chytenie do siete (ovládanie vlastného prostriedku UAV, vybaveného vystreľovacou sieťou). Žiaden systém však nie je stopercentný, preto je potrebné, aby sa prevádzka UAV integrovala do systému LNS, čo umožní riadiacim letovej prevádzky udržiavať si prehľad o pohybe UAV v oblasti, ktorú riadia, a koordinovať ich lety tak, aby nedochádzalo k ohrozeniam iných lietadiel. Zároveň bude v prípade, že sa pilot na diaľku nebude riadiť pokynmi riadiaceho letovej prevádzky, jednoduchšie identifikovať a potrestať pilota na diaľku. Integrácia UAV do systémov LNS by taktiež mohla odradzovať pilotov na diaľku od neoprávnených letov v blízkosti letísk, alebo od činnosti nad rámec letového povolenia. Pri integrácii UAV je však najdôležitejšia bezpečnosť, preto boli

vypracované požiadavky, ktoré musia prostriedky UAV spĺňať, aby mohli byť úspešne integrované. Taktiež integrácia UAV nesmie spôsobovať ujmu ostatným užívateľom vzdušného priestoru, preto boli určené oblasti, pri ktorých je nutné posúdiť vplyv UAV na ne, aby po integrácii UAV zostala minimálne zachovaná súčasná úroveň bezpečnosti a plynulosti leteckej dopravy. Ide o dostupnosť vzdušného priestoru, komunikačné systémy, zabraňovanie zrážkam, ľudský faktor, nepredvídané udalosti a bezpečnosť [8].

4. Identifikácia a rozbor prístupov vybraných poskytovateľov LNS k implementácii UAV do systémov riadenia letovej prevádzky u vybraných európskych a svetových poskytovateľov

Pomocou internetového prieskumu bola vykonaná analýza prístupov jednotlivých poskytovateľov LNS ku integrácii UAV do systémov riadenia letovej prevádzky vo vybraných krajinách. Pri každej krajine boli uvedené základné pravidlá prevádzky UAV v jej vzdušnom priestore (pri členských krajinách EÚ odlišnosti oproti pravidlám, uvedeným vo *Vykonávacom nariadení*), popísané produkty, ktoré poskytovateľ LNS v danej krajine ponúka pilotom na diaľku za účelom zjednodušenia a zvýšenia bezpečnosti letania UAV, a popísaný bude aj systém, pomocou ktorého poskytovateľ vykonáva dohľad nad prevádzkou UAV (v prípade, že v danej krajine je takýto systém vyvinutý). Do internetového prieskumu bolo vybraných 7 krajín. Poľsko a Maďarsko boli vybraté z dôvodu, že ide o krajiny geograficky blízke Slovensku. Nemecko bolo vybraté, pretože ide o najbohatšiu krajinu EÚ, a je predpoklad najväčšej technologickej vyspelosti a ľudskej kvalifikovanosti a odbornosti pri prevádzke UAV. Veľká Británia bola zvolená, pretože v minulosti šlo o krajinu s výnimočným politickým postavením v rámci EÚ, v čase písania práce prebiehalo jej vystúpenie z EÚ, preto bude predmetom výskumu aj to, či je v prístupe Veľkej Británie k UAV zásadný rozdiel oproti EÚ. Z mimoeurópskych krajín boli zvolené USA a India, pretože ide o celosvetovo najväčšie trhy s UAV. Vybraté boli tiež Spojené arabské emiráty, a to z dôvodu, že ide o bohatú krajinu, navyše o atraktívnu turistickú destináciu. Je teda predpoklad, že najmä o snímokovanie prostredníctvom prostriedkov UAV bude v tejto krajine veľký záujem. Pri výskume boli využité najmä internetové stránky príslušných poskytovateľov LNS, stránky, zaoberajúce sa prevádzkou UAV v danej krajine (ak také existujú), a stránky, zaoberajúcimi sa produktmi pre pilotov na diaľku v danej krajine (napr. mobilnými aplikáciami). Rozdiely v pravidlách prevádzky UAV, platných v jednotlivých analyzovaných krajinách, sú najmä v maximálnej povolenej letovej výške, v nutnosti letového povolenia (na každý let, alebo len na let za určitých podmienok), v nutnosti udržiavať stály vizuálny kontakt medzi pilotom na diaľku a prostriedkom UAV, a v hmotnostných limitoch, od ktorých sa niektoré ďalšie pravidlá odvíjajú. V každej analyzovanej krajine majú piloti na diaľku k dispozícii mobilnú aplikáciu, ktorá im zjednodušuje najmä registráciu, plánovanie letu a príjem informácií, potrebných k vykonaniu letu. Konkrétne služby, ktoré daná aplikácia pilotom na diaľku ponúka, ako aj povinnosť používať danú aplikáciu, sa líšia v závislosti od krajiny. Niektoré analyzované krajiny ponúkajú pilotom na diaľku aj ďalšie produkty a služby, ktoré zväčša umožňujú jednoduché vyžiadanie letového povolenia na let, pri ktorom pilot na diaľku nemôže dodržať platné pravidlá, alebo kontrolu, či naplánovaný let týmto pravidlám neodporuje. Taktiež bolo analyzované prepojenie riadenia a manažmentu

prevádzky UAV a pilotovaných lietadiel, ak je v danej krajine rozvinuté. Analyzované boli aj plány do budúcnosti, týkajúce sa integrácie UAV do systémov LNS v daných krajinách. V krajinách EÚ sa táto integrácia riadi ATM Master Planom, v USA UAS Integration Pilot Programom, na ktorý nadväzuje program BEYOND, v Spojených arabských emirátoch sa pripravuje projekt Sky Dome. Je možné, že po integrovaní prevádzky UAV do vzdušného priestoru bude nutné zmeniť jeho štruktúru, možno budú zavedené nové triedy vzdušného priestoru. Taktiež budú možno v budúcnosti zavedené letové cesty pre prostriedky UAV (najmä pre prostriedky UAV letiace bez vizuálneho kontaktu s pilotom na diaľku), podobne ako sú v súčasnosti zavedené pre pilotované lietadlá (najmä pre lietadlá letiace podľa pravidiel IFR). Komparácia prístupov jednotlivých krajín k integrácii bola vykonaná v nasledujúcej kapitole.

5. Vyhodnotenie nadobudnutých zistení

V tejto kapitole bolo vykonané porovnanie prístupov vybraných krajín k integrácii UAV do systémov riadenia letovej prevádzky. Výskum porovnáva mobilné aplikácie, a ďalšie produkty, ktoré slúžia pilotom na diaľku v analyzovaných krajinách. Na Slovensku piloti na diaľku takúto aplikáciu k dispozícii nemajú. V Poľsku je použitie aplikácie Drone Radar povinné, aplikácia okrem naplánovania letu a poskytnutia potrebných informácií umožňuje pilotovi na diaľku aj zaregistrovať prostriedok UAV, sledovanie prostriedku UAV počas letu, a poskytuje aj informácie o okolitej prevádzke UAV. Navyše aplikácia Drone Radar umožňuje aj komunikáciu pilota na diaľku s príslušným stanovištom riadenia letovej prevádzky počas letu, a pilot na diaľku je upozornený, pokiaľ porušuje pravidlá lietania, alebo pokiaľ naruša zakázaný alebo obmedzený vzdušný priestor. V Maďarsku v súčasnosti používanie aplikácie MydroneSpace nie je povinné, od 31.7.2021 je však plánované jej povinné používanie. Aplikácia slúži len na naplánovanie letu, získanie potrebných informácií, vyžiadanie si rezervovania TDA a na registráciu prostriedku UAV. Aplikácia neumožňuje pilotovi na diaľku sledovať jeho prostriedok UAV, ani mu neodovzdáva informácie o okolitej prevádzke. V Nemecku majú piloti na diaľku na výber z dvoch aplikácií. V prípade, že pilot na diaľku počas letu udržiava vizuálny kontakt s prostriedkom UAV, na bezpečné naplánovanie a vykonanie letu mu postačuje bezplatná aplikácia DroniQ App (jej použitie nie je povinné). Prostredníctvom tejto aplikácie môže pilot na diaľku zaregistrovať prostriedok UAV, naplánovať let, oboznámiť sa s potrebnými informáciami a s okolitou prevádzkou UAV v prípade, že piloti na diaľku používajú niektorú z aplikácií. Platená aplikácia UTM Track Viewer má všetky funkcie, ktoré má aplikácia DroniQ App, okrem toho ponúka aj možnosť sledovať polohu prostriedku UAV počas letu. Preto je jej použitie povinné v prípade, že pilot na diaľku nemá stály vizuálny kontakt s prostriedkom UAV. Na správne fungovanie aplikácie je potrebné aj predpísané hardvérové a softvérové vybavenie prostriedku UAV. Pre tých nemeckých pilotov na diaľku, ktorí nevyužívajú ani jednu z uvedených aplikácií, je na internetovej stránke DFS k dispozícii DFS Dronen Check, čo im umožňuje po zadaní parametrov plánovaného letu skontrolovať, či je daný let v súlade s predpismi. Vo Veľkej Británii majú piloti na diaľku k dispozícii aplikáciu Drone Assist, ktorá je podobná nemeckej aplikácii DroniQ App. Funkciou navyše je, že ak je vydaná bezpečnostná správa, týkajúca sa priestoru, v ktorom má pilot na diaľku naplánovaný let, dostane informáciu formou SMS správy. Na druhej strane, na rozdiel od aplikácie DroniQ App,

Drone Assist neumožňuje registráciu prostriedku UAV, pilot na diaľku musí na zaregistrovanie využiť internetovú stránku NATS. Okrem tejto aplikácie NATS prevádzkuje aj systém, ktorý pilotom na diaľku umožňuje jednoduché požiadanie o letové povolenie v CTR letísk, na ktorých NATS poskytujú LNS (na ostatných letiskách je nutné kontaktovať priamo stanovište ATC). V USA majú piloti na diaľku možnosť použiť aplikáciu B4UFLY, ktorá slúži len na naplánovanie letu a získanie potrebných informácií. Táto aplikácia je v mnohých ohľadoch podobná aplikácii Drone Assist, neodovzdáva však pilotovi na diaľku informácie o okolitej prevádzke. V prípade, že pilot na diaľku potrebuje povolenie na let v riadenom vzdušnom priestore v letovej výške do 400 ft., môže oň požiadať pomocou systému LAANC. Ak potrebuje povolenie na inú letovú činnosť, na ktorú je vyžadované, musí požiadať priamo FAA. V Indii je letové povolenie povinné na každý let UAV. Na naplánovanie letu a požiadanie o povolenie musia piloti na diaľku využiť aplikáciu Digital Sky (alebo jej internetovú stránku). Po vytvorení a schválení letového plánu aplikácia vytvorí dokument OPA, bez ktorého nie je možný vzlet prostriedku UAV. Aplikácia umožňuje registráciu prostriedku UAV, neumožňuje jeho sledovanie počas letu, a neposkytuje pilotovi na diaľku informácie o okolitej prevádzke. V Spojených arabských Emirátoch majú piloti na diaľku k dispozícii aplikáciu My Drone Hub, ktorá slúži taktiež na naplánovanie letu a na obdržanie potrebných informácií. Umožňuje aj registráciu prostriedku UAV a sledovanie jeho polohy počas letu. Súčasťou tejto aplikácie je aj Geo Fencing, prostredníctvom ktorého dostane pilot na diaľku upozornenie v prípade, že počas letu opustí vzdušný priestor, v ktorom je povolené lietanie prostriedkov UAV. Používanie tejto aplikácie nie je povinné, je však dostupná len občanom Spojených arabských Emirátoch.

Na Slovensku je letové povolenie potrebné, pokiaľ let prostriedku UAV spadá do kategórie prevádzky B (lety v noci, lety s prostriedkom UAV, ťažším ako 25 kg, let v riadenom vzdušnom priestore, a let pri nižšej vzdialenosti od nezáúčastnených osôb, ako je uvedená v pravidlách pre kategóriu A). Nakoľko na Slovensku piloti na diaľku nemajú možnosť používať mobilnú aplikáciu, ktorá by bola prepojená so systémami poskytovateľa LNS (LPS SR), poskytovateľ nemá prístup k letovým plánom pilotov na diaľku, ak nejde o kategóriu prevádzky B. Preto nemá LPS SR možnosť zahrnúť UAV do služieb ATFCM a ASM, ani možnosť sledovať polohu prostriedku UAV počas letu. Ak je let prostriedku UAV vykonávaný v kategórii prevádzky A, LPS SR nemá možnosť komunikácie s pilotom na diaľku, v prípade letu v kategórii prevádzky B je pilot na diaľku povinný udržiavať stále spojenie s príslušným stanovištom ATC. Let UAV bez stáleho vizuálneho kontaktu pilota na diaľku a prostriedku UAV na Slovensku nie je povolený. V Poľsku je po obdržaní povolenia možné aj lietanie UAV bez stáleho vizuálneho kontaktu pilota na diaľku s prostriedkom UAV. Pilot na diaľku, aj poskytovateľ LNS (PANSa) môžu v takomto prípade sledovať polohu prostriedku UAV pomocou aplikácie Drone Radar. Sledovanie pomocou aplikácie je možné aj v prípade letu s udržiavaním stáleho vizuálneho kontaktu, PANSa tak má prehľad o kompletnej prevádzke UAV v Poľskom vzdušnom priestore, a môže vykonávať dohľad nad dodržiavaním pravidiel lietania, čo zabezpečuje vysokú úroveň bezpečnosti prevádzky. Táto úroveň je ešte zvýšená možnosťou komunikácie pilota na diaľku so stanoviskom ATC počas letu. PANSa má takisto prístup k letovým plánom, ktoré sú prostredníctvom aplikácie Drone Radar podané, a tieto

informácie využíva pri plánovaní využitia jednotlivých vzdušných priestorov, čím môže dosiahnuť maximálne využitie kapacity vzdušného priestoru. V Maďarsku je letové povolenie potrebné na každý let UAV, po jeho obdržaní však pilot na diaľku nie je limitovaný takými pravidlami, ako platia napr. v Poľsku. Žiadosť o povolenie môže byť podaná aj pomocou aplikácie MyDroneSpace, počas letu však už táto aplikácia neumožňuje sledovanie polohy prostriedku UAV pilotovi na diaľku, ani poskytovateľovi LNS (Hungarocontrol). Tú musí pilot na diaľku počas letu sledovať pomocou stáleho vizuálneho kontaktu s prostriedkom UAV. Komunikácia medzi pilotom na diaľku a poskytovateľom LNS počas letu nie je možná. Letové plány, ktoré piloti na diaľku vytvárajú, sú zdieľané aj v systéme Net Briefing, ktorý používajú GA piloti na plánovanie svojich letov, a vďaka tomu majú informácie aj o UAV prevádzke v priestore, v ktorom zamýšľajú letieť. V Nemecku je letové povolenie potrebné v prípade, že pilot na diaľku chce vykonávať letovú činnosť nad rámec platných pravidiel, alebo bez vizuálneho kontaktu s prostriedkom UAV. Pri takomto lete musí pilot na diaľku použiť aplikáciu UTM Track Viewer, a jeho prostriedok UAV musí byť vybavený zariadením Hod4Track, ktoré umožní pilotovi na diaľku poskytovateľovi LNS (DFS) sledovanie jeho polohy počas letu. Údaje z letových plánov, ktoré sú vytvorené v aplikácii UTM Track Viewer, používa DFS pri manažmente vzdušného priestoru, a pri zabezpečovaní maximálneho využitia jeho kapacity. V prípade letu UAV pri stálom vizuálnom kontakte môže pilot na diaľku použiť aj bezplatnú aplikáciu DroniQ App. Táto aplikácia neumožňuje sledovanie polohy prostriedku UAV počas letu pilotom na diaľku, ani DFS. DFS nemá prístup ani k letovým plánom, ktoré boli vytvorené v tejto aplikácii (navyše je jej používanie nepovinné), takže pri plánovaní využitia kapacity vzdušného priestoru nemá úplné informácie o plánovaných letoch UAV. Ani jedna z nemeckých aplikácií neumožňuje komunikáciu pilota na diaľku so stanoviskom ATC počas letu. Vo Veľkej Británii, ako aj v USA, je v súčasnosti možnosť poskytovateľov LNS na manažovanie prevádzky UAV, a jej integráciu do systémov LNS, veľmi obmedzená, pretože potrebné systémy sú v týchto krajinách zatiaľ v štádiu vývoja. Poskytovatelia LNS síce majú prístup k letovým plánom, vytvoreným v aplikáciách, nemajú však možnosť sledovať polohu prostriedku UAV počas letu, ani komunikovať s pilotom na diaľku. Nakoľko letové povolenie je v týchto krajinách potrebné len na letovú činnosť nad rámec platných pravidiel, poskytovatelia LNS nemajú informácie o všetkých plánovaných letoch UAV, a nemôžu zahrnúť prostriedky UAV do manažmentu kapacity vzdušného priestoru. Vo Veľkej Británii však majú do aplikácie Drone Assist prístup aj GA piloti, ktorí získané informácie môžu použiť pri plánovaní svojich letov. Nakoľko však použitie tejto aplikácie nie je povinné, nedozvedia sa o všetkých plánovaných letoch UAV. V Indii je prevádzka UAV silno regulovaná. Letové povolenie je potrebné na každý let UAV, a každý prostriedok UAV musí obsahovať hardvér a softvér, pomocou ktorého poskytovateľ LNS (DGCA) dokáže určiť jeho polohu počas letu. Navyše musí prostriedok UAV obsahovať systém Return-to-home, ktorý sa automaticky aktivuje v prípade, že prostriedok UAV počas letu opustí priestor, ktorý mu bol na let pridelený. Vykonanie letu bez zachovania stáleho vizuálneho kontaktu nie je povolené. DGCA počas letu nemá možnosť komunikovať s pilotom na diaľku. Napriek tomu, že DGCA musí schváliť vykonanie každého letu, a má teda úplný prehľad o plánovanej prevádzke UAV v indickom vzdušnom priestore, nie je známe, že by tieto informácie využívala pri manažmente kapacity letovej prevádzky. Prístup Spojených

arabských emirátov k manažmentu a integrácii je podobný Veľkej Británii a USA. Príslušní poskytovatelia LNS majú prístup k letovým plánom, vytvoreným v aplikácii My Drone Hub, nemajú však možnosť sledovať pohyb prostriedku UAV počas letu. Vzhľadom k tomu, že používanie aplikácie My Drone Hub nie je v Spojených arabských emirátoch povolené, a navyše je táto aplikácia prístupná len občanom Spojených arabských emirátov, poskytovatelia LNS nemajú kompletný prehľad o prevádzke UAV v danom vzdušnom priestore, a preto nemôžu zahrnúť UAV do systémov ATFCM a ASM. Na rozdiel od Veľkej Británie a USA, v Spojených arabských Emirátoch majú poskytovatelia LNS možnosť počas letu poslať správu pilotovi na diaľku, obojsmerná komunikácia však možná nie je.

6. Záver

V tomto článku boli identifikované prístupy vybraných poskytovateľov LNS k integrácii UAV do systémov riadenia letovej prevádzky. V prvej kapitole sme charakterizovali produkt poskytovateľov LNS a jednotlivé časti tohoto produktu, špeciálne boli spomenuté tie, ktoré sa využívajú pri riadení a manažmente prevádzky UAV. Produkt poskytovateľov LNS má celkovo 11 častí, pri riadení a manažmente prevádzky UAV sa používajú najmä služby ATC, FIS, MET, CNS, a v krajinách, kde je prevádzka UAV integrovaná do systémov LNS sa poskytujú aj služby ATFCM a ASM. V nasledujúcej kapitole bolo charakterizované UAV, jeho rozdelenie, pravidlá prevádzky, riziká, vyplývajúce z prevádzky UAV, a systémy, ktoré sa používajú na ochranu letísk pred nepovolenými letmi UAV. UAV je definované ako lietadlo, schopné lietať bez prítomnosti pilota na palube. Podľa spôsobu ovládania môžeme UAV rozdeliť na autonómne lietadlá, diaľkovo riadené lietadlá a modely lietadiel. Podľa hmotnosti rozdeľujeme UAV na niekoľko kategórií, od príslušnosti daného UAV ku hmotnostnej kategórii sa odvíjajú niektoré pravidlá, ktoré musí pilot na diaľku pri jeho prevádzke dodržiavať. Konkrétne rozdelenia prostriedkov UAV podľa hmotnosti sa môže v závislosti od krajiny líšiť. Prostriedky UAV môžeme deliť taktiež podľa nosnej plochy na UAV s pevným krídlom, jednorotorové, viacrotorové a hybridné. Prevádzku UAV v EÚ upravuje *Vykonávacie nariadenie*. *Vykonávacie nariadenie* rozdeľuje prevádzku UAV do kategórií Open, Specific a Certified. Prevádzka v kategórii Open predstavuje najmenšie bezpečnostné riziko, patrí sem väčšina rekreačných letov. Lety, predstavujúce väčšie riziko, spadajú do kategórii Specific a Certified, sú predmetom individuálneho letového povolenia, a na kvalifikáciu pilotov na diaľku sú kladené vyššie nároky. Slovenská republika v čase písania práce neimplementovala *Vykonávacie nariadenie* do národnej legislatívy, preto pravidlá prevádzky UAV v SR naďalej upravuje Rozhodnutie Dopravného úradu. Najväčším problémom prevádzky UAV je ohrozenie bezpečnosti pilotovaných lietadiel, a ohrozenie osôb a majetku na zemi. Tieto nebezpečenstvá hrozia najmä v prípade, že pilot na diaľku nerešpektuje platné predpisy. Tieto riziká sú najzávažnejšie na letiskách, kde môžu prostriedky UAV ohroziť vzlietajúce alebo pristávajúce lietadlá. V súčasnosti sa používajú 4 spôsoby, pomocou ktorých je možné včas detekovať prostriedok UAV v blízkosti letiska. Ide o radarovú, vizuálnu, akustickú detekciu a o detekciu pomocou zachytávania rádiových vln. Na uzemnenie detekovaného prostriedku UAV sa používa rušenie rádiového signálu, ktorým prostriedok UAV komunikuje s ríadiacou stanicou, alebo chytanie do siete. Kombináciou uvedených spôsobov vzniká viacero systémov ochrany letísk pred prostriedkami UAV, ktoré sa v súčasnosti

používajú. V nasledujúcej kapitole sme popisovali prístupy viacerých krajín k integrácii UAV do systémov riadenia letovej prevádzky.

Ako analyzované krajiny boli vybrané Poľsko, Maďarsko, Nemecko, Veľká Británia, USA, India a Spojené arabské emiráty. Zistili sme, že v každej z týchto krajín majú piloti na diaľku k dispozícii mobilnú aplikáciu, pomocou ktorej si môžu naplánovať let UAV, skontrolovať obmedzenia, ktoré musia počas letu v danom vzdušnom priestore dodržiavať, a obdržať informácie, potrebné na bezpečné vykonanie letu. Poskytovatelia LNS majú prístup k letovým plánom, vytvoreným v týchto aplikáciách. V Poľsku navyše aplikácia Drone Radar umožňuje poskytovateľovi LNS sledovať polohu prostriedkov UAV počas letu, ako aj komunikáciu s pilotmi na diaľku. Vďaka tomu je v Poľsku možná aj prevádzka UAV bez stáleho vizuálneho kontaktu pilota na diaľku s prostriedkom UAV. Údaje, ktoré poskytovateľ LNS v Poľsku vďaka Drone Radaru získa, následne využíva pri plánovaní využitia kapacity vzdušného priestoru. V Maďarsku je letové povolenie potrebné na každý let UAV, následne je pilotovi na diaľku vytvorený Dočasne vyhradený vzdušný priestor (TDA), v ktorom môže letieť. Pilot na diaľku môže o vytvorenie TDA požiadať pomocou aplikácie MydroneSpace, k letovým plánom, vytvoreným v tejto aplikácii, majú prístup aj GA piloti. V Nemecku je letové povolenie potrebné pri letovej činnosti nad rámec platných pravidiel, napríklad pri lete bez stáleho vizuálneho kontaktu. Takéto lety sú umožnené vďaka aplikácii UTM Track Viewer, a vďaka hardvérovému vybaveniu prostriedku UAV, ktoré umožňuje poskytovateľovi sledovať dané UAV počas letu. Na lietanie pri zachovaní vizuálneho kontaktu v Nemecku postačuje aplikácia DroniQ App, ktorá sledovanie UAV počas letu neumožňuje. Vo Veľkej Británii a v USA sú systémy, umožňujúce integráciu UAV, v štádiu vývoja. Vo Veľkej Británii však majú GA piloti prístup k letovým plánom, vytvoreným v aplikácii Drone Assist, nakoľko však používanie tejto aplikácie nie je vo Veľkej Británii povinné, ich prehľad o plánovanej prevádzke UAV je obmedzený. V Indii je prevádzka UAV silno regulovaná, letové povolenie je potrebné na každý let, a vďaka povinnému hardvérovému vybaveniu prostriedkov UAV môže poskytovateľ LNS sledovať ich pohyb počas letu. V prípade odchýlenia sa od naplánovanej trasy je let prostriedku UAV automaticky ukončený. V Spojených arabských emirátoch poskytovateľ LNS nemá možnosť sledovať pohyb prostriedku UAV, a nemá ani kompletný prehľad o plánovaných letoch UAV, nakoľko aplikácia My Drone Hub, ktorá slúži na plánovanie letov, je dostupná len občanom Spojených arabských emirátov.

Čo sa týka budúcnosti integrácie UAV, v Európe je plánované spoločné využívanie vzdušného priestoru pilotovanými lietadlami a prostriedkami UAV, a za týmto účelom budú vyvinuté komunikačné systémy a systémy Detect&Avoid. Taktiež pravidlá lietania budú nastavené tak, aby toto zdieľanie vzdušného priestoru umožnili. Naopak, v Spojených arabských emirátoch je plánované vyhradenie vzdušného priestoru v blízkosti zemského povrchu mimo letísk pre prostriedky UAV, ktoré budú mať zriadené vlastné letové cesty, letiská, aj servisné strediská. Pri narastajúcom počte prostriedkov UAV vo vzdušných priestoroch jednotlivých krajín je ich integrácia vzhľadom na bezpečnosť nevyhnutná, z práce vyplýva, že prístupy jednotlivých krajín k tejto integrácii sa v mnohých ohľadoch líšia.

PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj využiteľnosti autonómnych lietajúcich prostriedkov v boji proti pandémie spôsobenej COVID-19, kód ITMS 313011ATR9, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- [1] MATERNA M. 2019: Komercializácia poskytovateľov leteckých navigačných služieb. Dizertačná práca/Matúš Materna –[1.vyd.] V Žiline, Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky, ekonomiky, dopravy a spojov 124 s.
- [2] MATERNA M., GALIERIKOVÁ, A. 2019: A new approach to classification of air navigation service providers in the context of commercialization. *Transportation Research Procedia*, 2019, 43, pp. 139–146
- [3] MATERNA M., 2019: Variants of air navigation services providers' business model. *Transportation Research Procedia*, 2019, 40, pp. 1127–1133
- [4] NSAT, 2019: Lietadlá, spôsobilé lietať bez pilota. Dostupné na internete <http://letectvo.nsat.sk/letova-prevadzka/lietadla-sposobile-lietat-bez-pilota/>
- [5] CIRCUITS TODAY, 2017: Types of drones. Explore the different models of UAV. Dostupné na internete <https://www.circuitstoday.com/types-of-drones>
- [6] EASA, 2019: Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and (EU) 2019/945). pp 309.
- [7] BBC, 2018: Gatwick runway reopens after drone chaos. Dostupné na internete: <https://www.bbc.com/news/uk-england-sussex-46643173>
- [8] BUK, 2017: Možnosti integrácie bezpilotných prostriedkov do vzdušného priestoru Slovenskej republiky. . Dizertačná práca/Patrik Buk –[1.vyd.] V Košiciach, Technická univerzita v Košiciach, 115 s.
- [9] MATERNA, M., GALIERIKOVÁ, A., PALČÁK, P. 2019. Reflection of commercialization in organizational and ownership structure of Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS). *Transportation Research Procedia*, 2020, 51, pp. 283–292
- [10] Novák, A. 2005. Radio direction finding in air traffic services. *Promet-Traffic&Transportation* 17 (5), 273-276

WING MAGNETOHYDRODYNAMIC FACILITY OF AIRCRAFT PROPULSION SYSTEM

KRÍDLOVÝ MAGNETOHYDRODYNAMICKÝ PROSTRIEDOK POHONNEJ SÚSTAVY LETÚNOV

Pavol Miča
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
pavolmica96@gmail.com

Jozef Čerňan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Jozef.cernan@fpedas.uniza.sk

Abstract

Magnetohydrodynamics is one of the relatively new fields of physics studying the dynamics of magnetic fields in electrically conductive fluids. The implementation using magnetohydrodynamic principles applied to aircraft propulsion systems is so far only in a range of experiments. So far, real applications have occurred only a few times and always only at the level of experiments and prototypes. In my paper, I deal with the application of a magnetohydrodynamic device built into the wing of an airplane. This means should work as a secondary type of drive in cooperation with the primary drive, which is represented by a turbofan motor. The device's main function is to reduce the fuel requirements of the primary drive and reduce noise and other harmful emissions. The work also includes drawings created in the program AutoCAD, where I designed the location and implementation of a wing magnetohydrodynamic device in the wing of general construction. In this work, I also explore the advantages and disadvantages of using different tips of the primary drive. I am also researching the current state of the problem where I am analyzing the Japanese project of the YAMATO-1 semi-catamaran with magnetohydrodynamic propulsion and a prototype of an ion-powered crawler from IMT scientists. I also examine in detail all the theoretical knowledge concerning magnetohydrodynamics and wing design. Finally, I compare the advantages and disadvantages of using this tool as well as other technical issues related to construction. This work can serve as a basis for further future research into the application of magnetohydrodynamic principles in aviation.

Keywords

magnetohydrodynamics in aviation, wing facility, magnetohydrodynamic propulsion, the principle of magnetohydrodynamics

1. Úvod

Súčasná doba núti celý svet vrátane leteckých konštruktérov radiť ekológiu a vplyv na životné prostredie medzi hlavné body každého projektu. Medzi najdôležitejšie vlastnosti každého nového nápadu či myšlienky neodmysliteľne patrí minimum škodlivých emisií a čo najmenšia environmentálna záťaž a dopady na životné prostredie. Cieľom každého leteckého konštruktéra je v súčasnej dobe minimalizácia spotreby a emisií, a čo najväčšia využiteľnosť recyklovaných materiálov. Minimalizácia využitia fosílnych palív dáva priestor na výskum nových druhov pohonných jednotiek letúnov a samozrejme aj ostatných dopravných prostriedkov. Do pozornosti výskumníkov sa dostáva predovšetkým vodík predstavujúci náhradu leteckého paliva. Problém vyplývajúci z použitia vodíka ako leteckého paliva reprezentuje predovšetkým problém s jeho uskladnením a s tankovaním. Ide o pomerne nestabilnú látku. Pri bežnej izbovej teplote existuje vodík ako plyn. V prípade jeho premeny na tekutú formu je nutné vodík ochladiť na teplotu – 235 °C. Využitie takejto možnosti taktiež núti vybudovanie novej distribučnej siete a kompletné prebudovanie súčasných letiskových distribučných staníc. No nahradenie fosílnych palív iným tekutým médiom výrazne uľahčuje a zjednodušuje vývoj nových leteckých motorov, keďže princíp činnosti viacerých systémov zostáva v takom prípade veľmi podobný. Vedci a výskumníci venujú svoju pozornosť taktiež ekologickým

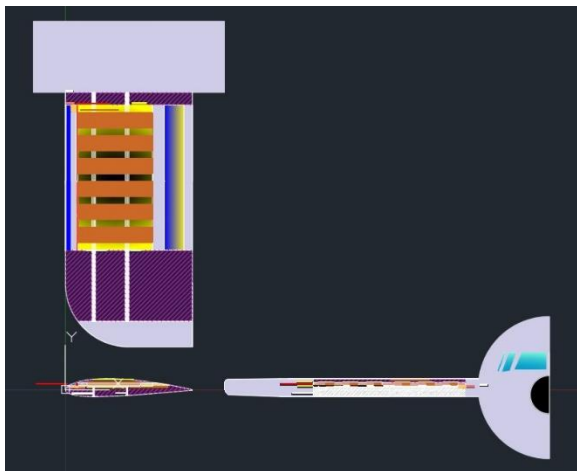
prímesiam do leteckých palív, ktoré by znížili zložku fosílnych palív.

Cieľom tejto práce je čo najviac preskúmať a porozumieť magnetohydrodynamike a jej využitiu k pohonu letúnov. Pri použití MHD pohonu je potrebná na vytvorenie ťahu iba elektrická energia. Tá môže byť dodávaná do systému čiastočne z palubných akumulátorov ale najmä, ako v prípade mojej práce, vyrábaná priamo na palube letúna v hlavnej pohonnej jednotke, či pomocnej energetickej jednotke tzv. APU. V takomto prípade by nebolo nutné disponovať na palube veľkým množstvom akumulátorov, čo by v opačnom prípade malo za následok výrazné navýšenie hmotnosti letúna a taktiež zvýšenie rizík vyplývajúcich z prípadného požiaru na palube. Ja som sa zameral na využitie MHD pohonu ako sekundárneho pohonu pre letún, ktorý by zastával svoju hlavnú úlohu pri nízkej rýchlosti letu (vzlety, stúpania, priblíženie a pristátia). Funkciu primárneho pohonu by naďalej reprezentoval ideálne dvojprúdový motor na klasické letecké palivo, poprípade inú ekologickejšiu formu leteckého paliva napríklad tzv. letecké biopalivá (BAF). MHD pohon zabezpečuje krídlový magnetohydrodynamický prostriedok pohonnej sústavy letúna. Ide o MHD propulznú jednotku implementovanú do konštrukcie krídla letúna. Energetickú efektívnosť nie je možné v súčasnosti spoľahlivo a presne určiť keďže veľmi závisí od mnohých premenných ako napríklad od použitých materiálov, typu primárneho pohonu, konštrukcie trupu a mnoho ďalších. Zatiaľ ide iba o formu

návrhov a výkresov zobrazujúcich môj pohľad na vec a mnou navrhnuté riešenia implementácie MHD zariadenia.

2. Výsledky práce – implementácia MHD prostriedku

Výsledkom mojej práce je výkresová dokumentácia implementácie krídlového magnetohydrodynamického prostriedku pohonnej sústavy letúnov do krídla letúna. Na výkresoch sú zobrazené základné časti MHD prostriedku, ich rozmiestnenie a konštrukčná konfigurácia. Je umiestnený v hornej tretine krídla tak aby nezaberal viac ako jednu tretinu profilu krídla. V pôvodnom návrhu zaberol takmer polovicu vnútorného objemu krídla, čo však malo za následok že význame uberal priestor pre nosníky. Stojiny nosníkov bolo príliš krátke v čoho dôsledku neboli schopné zachytávať také veľké ohybové momenty pôsobiace na krídlo. Tým pádom bolo nutné celé zariadenie výrazne zmenšiť. Obrázky nižšie zobrazujú moje konštrukčné návrhy a riešenia implementácie krídlového magnetohydrodynamického prostriedku pohonnej sústavy letúnov a jeho základne časti. Výkresy boli zhotovené v programe AutoCAD.



Obrázok 5: Nárys, pôdorys a bokorys. Zdroj: Autori.

V mojom návrhu uvažujem o konštrukcii krídla ako o nosníkovej pološkrupine. To znamená že časť potáhu by bola tuhá a vystužená pozdĺžnymi rebami a tým by bola schopná prevziať na seba časť ohybového zaťaženia a znížiť tým zaťaženie nosníkov. Nosníky tým pádom môžu byť o niečo menej robustné. V mojom návrhu sú umiestnené 2 nosníky a to hlavný a vedľajší. Tie však zasahujú iba do dvoch tretín vnútorného objemu krídla a preto je dôležité aby okrem aerodynamických síl prenášal potah krídla aj ohybové zaťaženie. Veľkú úlohu pri konštrukcii by zohrával aj materiál konštrukcie. Z hľadiska pomeru váhy a pevnosti by bolo najvhodnejšie zvoliť kompozitný materiál.

Samotný krídlový magnetohydrodynamický prostriedok pozostáva z niekoľkých kľúčových častí. Pri vstupnom ústrojenstve sa jedná o medenú sieťku s maximálnym priemerom otvor 2 mm ktorá v spolupráci so zabudovaným magnetronom v spodnej časti prostriedku zabezpečuje zionizovanie vstupujúceho vzduchu.

Medzi ďalšie vedľajšie funkcie medenej sieťky, umiestnenej vo vstupnom ústrojenstve, patrí taktiež vyhrievanie vstupné ústrojenstva, v spolupráci s odporovými drôťmi v nábežnej časti hrán vstupnej sústavy prostriedku a taktiež zabránenie

vniknutie cudzích telies do MHD prostriedku. Pri pohľade spredu si môžeme lepšie predstaviť celkový priestor, ktorý prostriedok zaberá. Z tohto pohľadu je nám taktiež, o niečo viac jasné umiestnenie vstupnej časti prostriedku.

Magnetohydrodynamický systém využíva kombináciu elektrického a magnetického poľa. Kovové platne umiestnené v spodnej a hornej časti vzduchového kanála by boli nabité elektrickým poľom kladného a záporného náboja čím by vytvárali elektrické pole. 6 medených cievok na každom krídle umiestnených okolo kovových platin a vzduchového kanála by zase vytváralo magnetické pole.

Navinuté by museli byť na jednu hrúbku a v spodnej a hornej časti by bolo nutné uhnúť ich o 90 stupňov, tak aby sa zmestili do vnútorného objemu. Ako jedna z ďalších možností materiálu cievok sa javí aj použitie tzv. HITEMALu. Ide o ľahké drôty vyvinuté na navinutie cievok, ktoré majú vo svojom strede supravodivý materiál ba báze boritu horečnatého MgB₂.



Obrázok 6: Rez profilom. Zdroj: Autori.

Čo sa týka energetickej náročnosti, jej finálna hodnota je veľmi otázná. Konštrukčným a materiálovým vyhotovením vstupuje do výsledného účinku krídlového magnetohydrodynamického prostriedku pohonnej sústavy letúnov veľmi veľa premenných, ktoré významne ovplyvňujú potrebné účinky cievok a v tom dôsledku aj magnetického toku v systéme.

Ak však chceme zistiť aspoň približné hodnoty môžeme vziať do úvahy hodnoty cievok a celého magnetohydrodynamického systému aplikovaného v japonskom projekte polokatomaránu YAMATO-1 na MHD pohon spomínaný vyššie v sekcii skúmajúcej súčasný stav riešenej problematiky. Z dostupných informácií vieme, že YAMATO-1 vyžadoval na svoju prevádzku prúd o hodnote 4 600 A. Tento projekt využíval podobne ako v našom prípade 6 supravodivých cievok. Jednalo sa však o hmotnostne a priestorovo veľmi náročné typy, ktoré by do nášho konceptu principiálne nezapadali. [1]

Tým pádom vieme takmer s určitosťou povedať že požadovaný prúd by bol v našom prípade omnoho menší. K napájaniu celého, veľmi energeticky náročného systému, by som navrhoval využiť primárny pohon letúna tj. dvojrúdový motor. V prípade pomocnej energetickej jednotky umiestnenej priamo na palube letúna vo všeobecnosti vieme, že štandardné pomocné energetické jednotky vedia vyprodukovať výkon od 15 kW do 300 kW. [2] [5]

V našom prípade je najvhodnejšie uvažovať o jednotke s maximálnych výkon a to teda s výkonom 300 kW. Pomocná jednotka štandardne pracuje pri fázovom napätí 115 V AC a združenom napätí 200 V AC. Je vyhotovená pre trojfázovú IT sieť čo znamená že je skonštruovaná pre sieť s izolovaným uzlom.

Výpočet pre takúto trojfázovú sieť pozostáva z činného výkonu P (W) o hodnote 300 kW. Tento výkon môžeme považovať za zdanlivý výkon S . Z toho vieme vypočítať maximálny možný

elektrický prúd ktorý je takáto jednotka schopná vyprodukovať. Zdanlivý výkon $S = 1.73 \times 200 \times I$, čiže $S = 346 \times I$ a teda z toho dostaneme $300\,000 / 346 = 867$ A. Z výpočtu teda vieme že jedna pomocná energetická jednotka s výkonom 30 kW je schopná dodávať $I = 867$ A AC.

Projekt YAMATO-1 počíta s prúdom 4 600 A. Z toho teda vyplýva, že ak by bola v krídle inštalovaná podobná MHD jednotka ako pri YAMATO-1, energetické požiadavky by mali za následok, že na palube letúna by museli byť umiestnených viac ako 5 pomocných energetických jednotiek o výkon 300 kW. [3]

Priemerná váha jednej pomocnej energetickej jednotky je zhruba 120 kg a pri počte 5tich kusov by zaťaženie letúna len vplyvom pomocných energetických jednotiek stúplo o viac než 600 kilogramov.

Takýto náraz hmotnosti je samozrejme neprípustný. Hlavne ako berieme do úvahy ešte aj hmotnosť samotného krídlového magnetohydrodynamického prostriedku pohonnej sústavy letúna. Tento problém by sa dal z časti vyriešiť vývojom novej oveľa výkonnejšej a výrazne ľahšej pomocnej energetickej jednotky. To však už len v samotnom princípe nijako nerieši samotnú podstatu problému. Z tohto dôvodu uvažujeme o krídlovom MHD prostriedku, iba ako o doplnkovom pohonom systéme.

Hlavnú roľu pohonu by však stále predstavoval dvojprúdový motor ideálne umiestnený v zadnej chvostovej časti letúna. Hlavnú výhodu v použití turbínového motora vidím vtom, že na rozdiel od piestových motorov, kde v jednej jedinej časti prebiehajú všetky cykly pracovného procesu, je v turbínovom motore každá jedna časť prispôbena a vytvorená tak, aby čo najviac vyhovovala cyklu, ktorý v danej časti prebieha. [2]

To má za následok vysokú efektivitu a malé tepelné úniky. Ďalej riešim možnosti použitia vrtuľového alebo prúdového motora. Tu by bolo podľa môjho názoru najlepšie použiť dvojprúdový motor vzhľadom na čelnú plochu ktorú motor s vrtuľou využíva a tým vytvára veľký tvarový odpor. A samozrejme je tam zohľadnená otázka obmedzenia rýchlosti a výšky. [2]

Funkcia samotného krídlového magnetohydrodynamického prostriedku pohonnej sústavy letúna by bola nasledovná. Pri rolovaní by jej funkcia bola úplne vypnutá. Pri následnom vzlete by plnila iba doplnkovú funkciu pohonu primárnemu pohonu letúna tj. dvojprúdovému motoru. Po následnom nastúpaní do letovej hladiny by bola funkcia primárneho pohonu tlmená poprípade úplne eliminovaná a hlavnú roľu by prevzal práve magnetohydrodynamický pohon.

Vysoká letová hladina spolu s nízkou okolitou teplotou prostredia a vzduchu by výrazne znížili potreby kryogénneho chladenia supravodivých cievok a tým by znížili aj celkovú energetickú náročnosť samotného systému ako celku. Stabilný let v hladine o rovnakej rýchlosti by taktiež stabilizoval požiadavky na pomocnú energetickú jednotku. Systém by bolo možné využívať predovšetkým v komerčnej sfére letectva.

2.1. Výhody použitia MHD prostriedku

Medzi hlavné výhody systému by bola znížená spotreba paliva, zníženie a v kombinácii s bio leteckými palivami takmer úplnú nezávislosť od fosílnych palív, skoro nulové emisie CO₂ a hluku, vyšší ťah, väčší vztlak, možnosť výrazného zmenšenia celého

krídla, čo by mohlo mať za následok aj určité zníženie hmotnosti a menší tvarový odpor. Počas vzletu a pristátia by prostriedok taktiež výrazne navýšil vztlakovú silu, čo by pozitívne ovplyvnilo celkové letové vlastnosti.

2.2. Nevýhody použitia MHD prostriedku

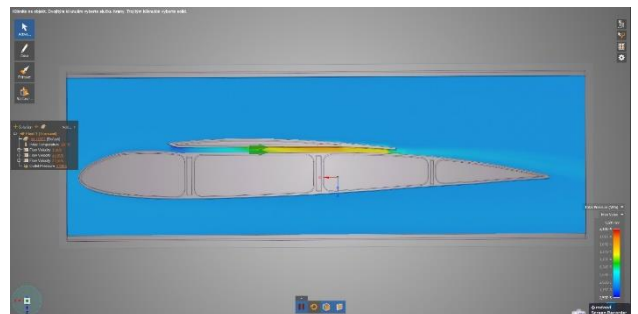
Naopak ako hlavné nevýhody celého konceptu vidím vysokú energetickú náročnosť, výrazne skomplikovanú konštrukciu krídla a mnohé nevyriešené otázky vyplývajúce z magnetohydrodynamického pohonu ako napríklad chladenie systému a celková bezpečnosť systému.

2.3. Simulácia prúdenia

K simulácií prúdenia vzduchu okolo profilu krídla a cez prietokový kanál krídlového magnetohydrodynamického prostriedku pohonnej sústavy letúna, bolo nutné najprv vytvoriť 3D model. Tento model bol vytvorený v programe CREO. Ako základ profilu bol použitý profil NACA 2412.

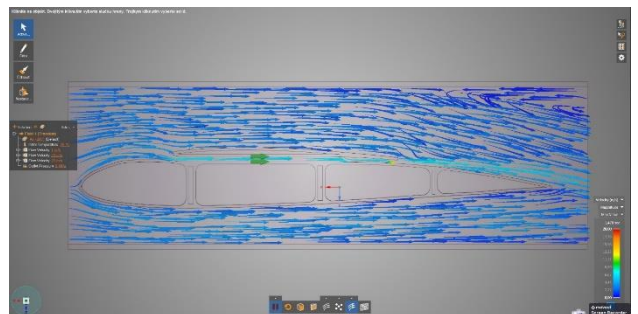
Simulácie boli vytvorené v program ANSYS. Profil krídla použitý pri týchto simuláciách bol podrobnejšie opísaný v predchádzajúcich stranách diplomovej práce.

Na prvom obrázku simulácie je zreteľne vidieť rapidný nárast celkového tlaku spôsobený urýchlením vzduchu vo vzduchovom kanáli krídlového magnetohydrodynamického prostriedku pohonnej sústavy letúna pri teplote vonkajšieho prostredia 20 stupňov celzia. Pri vstupe vzduchu do kanála je hodnota celkového tlaku najnižšia.



Obrázok 7: Vplyv MHD prostriedku na celkový tlak. Zdro: Autori.

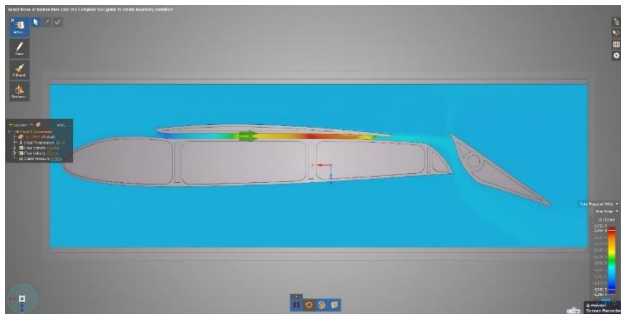
Na nasledujúcich obrázkoch môžeme zasa vidieť vplyv môjho návrhu na celkovú rýchlosť prúdenia vzduchu. Je prirodzené, že pri zúžení kanála dochádza k nárastu rýchlosti prúdiaceho vzduchu. V kombinácii s krídlovým magnetohydrodynamickým prostriedkom pohonnej sústavy letúna je nárast rýchlosti prúdenia ešte niekoľkonásobne väčšia.



Obrázok 8: Vplyv MHD prostriedku na prúdenie vzduchu. Zdroj: Autori.

Obrázok zobrazuje prúdnice vzduchu. Ide vlastne o dráhu prúdiacich častí vzduchu ktorých dotyčnica v ľubovľnom bode určuje smer prúdenia. Taktiež platí, že smer dotyčnice je zhodný so smerom vektora rýchlosti v tom bode.

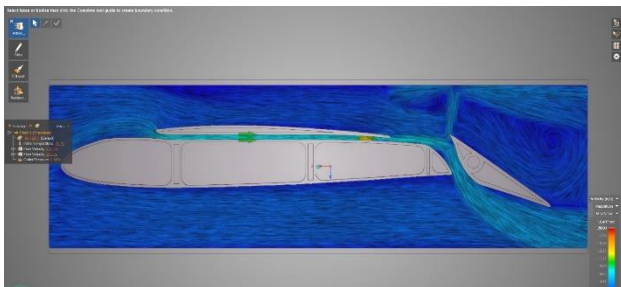
Tak isto ako v prípade dynamického tlaku, tak aj celkový tlak za použitia štrbinovej vztlakovej klapky výrazne vzrástol. Došlo k tomu zhruba v tom istom ako v prípade jednoduchého profilu krídla bez vztlakovej klapky. A podobne ako v predchádzajúcom prípade, celkový tlak v oblasti samotnej vztlakovej klapky je len mierne vyšší ako celkový tlak okolitého prostredia.



Obrázok 9: Vplyv MHD prostriedku v kombinácii so vztlakovou klapkou na celkový tlak. Zdroj: Autori.

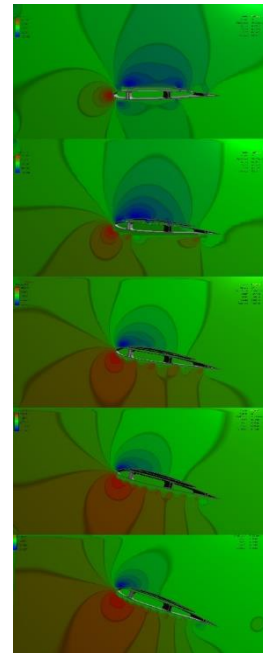
Na demonštrovanie ovplyvňovania prúdenia vztlakovou klapkou v kombinácii s krídlým magnetohydrodynamickým prostriedkom sme zvolili štrbinovú vztlakovú klapku v 20 stupňovej vzletovej konfigurácii. Táto klapka je použitá napríklad aj u letúna U-15. V súčasnosti ide o veľmi často používaný typ klapiek. U tohto typu klapiek vznikne pri vysunutí štrbina. V štrbine dochádza k pretekaniu prúdu zo spodnej pretlakovej časti ponad hornú časť samotnej klapky. [4]

V kombinácii s MHD prostriedkom môžeme vidieť na obrázku vyššie urýchlenie a odklonenie výstupného prúdu zo vzduchového kanála MHD prostriedku. Výrazne tak narušia turbulentnú vrstvu na konci krídla. Urýchlenie prúdu má taktiež za dôsledok urýchlenie prúdu v medznej vrstve a k odtrhnutiu tak dochádza pri väčších uhloch nábehu. Ide o izoplošné zobrazenie kedy výsledné hodnoty sú rozdelené do viacerých oblastí a každej oblasti je priradená farba z farebnej škály. Farebné rozlíšenie rôznych výsledných hodnôt umožňuje rýchle vizuálne zobrazenie a vyhodnotenie výsledkov. Ak porovnáme rýchlosť prúdenia vzduchu zobrazenú na obrázku 4, kedy bola simulácia vytvorená bez použitia vztlakovej klapky, môžeme na obrázku 6 so štrbinovou vztlakovou klapkou vidieť o niečo väčší nárast rýchlosti prúdenia a rozdelenie prúdu na 2 kedy spodný hlavný prúd zväčšuje vztlak na krídle a menší horný prúd vytvára narušenie medznej vrstvy a vytvorenie turbulentného prúdu na odtokovej hrane štrbinovej klapky.



Obrázok 11: Vplyv MHD prostriedku v kombinácii so vztlakovou klapkou na rýchlosť prúdenia. Zdroj: Autori.

Umiestnenie vstupnej časti vzduchového kanála MHD prostriedku je vysvetlené na obrázku 7. Tento obrázok zobrazuje správanie tlakových pásiem pri postupnom naklňaní profilu krídla postupne po 5-tich stupňoch od 0 stupňovej vodorovnej polohy až po 20 stupňovú. Modré zobrazenie ukazuje miesta podtlaku a naopak červené zobrazenie zasa pretlakovú časť. Simulácie boli vytvorené v programe Autodesk Flow Design. Ide v podstate o umiestnenie profilu s magnetohydrodynamickým zariadením do simulovaného aerodynamického tunela.



Obrázok 10: Simulácia aerodynamického tunela. Zdroj: Autori.

3. Záver

Magnetohydrodynamika je veľmi zložitá a komplexná časť fyziky. Skrýva mnoho doposiaľ nevyužitých vlastností, ktorými viem prispieť k tvorbe nových technológií. Využitie magnetohydrodynamického pohonu je možné uplatniť naprieč celým spektrom vedy. Predovšetkým o oblasti dopravy či už tovarov alebo pasažierov. Jej energetická náročnosť spočíva iba v dostatočne silnej a stabilnej dodávke elektrickej energie k chodu jej systémov.

Jej implementáciou a využitím v leteckom priemysle som chcel poukázať na nové doposiaľ nevyužitú možnosti pohonu lietadiel. Ide o ďalšiu alternatívu k fosílnym palivám a jej ďalší výskum, vývoj a uplatnenie by mohlo výrazne znížiť ekologickú stopu, ktorú v súčasnosti letecká doprava zanecháva. Aj keď sa letecká doprava v súčasnosti podieľa na produkcii celkového množstva emisií zhruba iba dvoma percentami, ide stále o veľmi sledovanú kategóriu dopravy, ktorej mnohí veľmi neopodstatnene prisudzujú výrazné neblahé účinky na životné prostredie. K ich tvrdeniu prispieva aj fakt, že v rámci dopravy dosahuje podiel znečistenia až 12 percent. Podľa odhadov ročne vyprodukuje 800 miliónov ton CO₂.

Súčasné modely lietadiel spotrebujú v prepočte na jedného pasažiera cca 3l paliva na 100 km, čo je výrazne viac ako

napríklad v prípade vlakovej dopravy. Aj preto je veľmi dôležité naďalej skúmať a prinášať nové riešenia možnosti pohonu letúnov.

V mojej práci mi išlo predovšetkým o popísanie základných magnetohydrodynamických princípov a o preskúmanie ich využiteľnosti na pohon letúnov. Moje poznatky a riešenia som vložil do grafického návrhu implementácie krídlového magnetohydrodynamického prostriedku pohonnej sústavy letúnov v podobe výkresov zhotovených v grafickom programe AutoCAD. Do mojej práce som začlenil taktiež orientačné prepočty energetickej náročnosti samotného prostriedku podľa hodnôt z magnetohydrodynamického pohonného systému z japonského projektu YAMATO-1, jeho praktickú využiteľnosť, možnosti napájania, umiestnenie samotného prostriedku a taktiež aj konfiguráciu a umiestnenie primárneho pohonu letúna v podobe dvojprúdového motora. Moja práca by do budúcnosti mohla poslúžiť, ako zdroj dôležitých informácií o magnetohydrodynamickom pohone a jej princípoch, a s určitosťou by bolo možné využiť aj priloženú výkresovú dokumentáciu v prípade budúcich prototypov. Magnetohydrodynamika je veľmi komplexná a zložitá oblasť fyziky využívajúca mnoho princípov z elektrických a magnetických polí. Do budúcnosti je nutné s jej uplatnením počítať a je taktiež nutné dodať, že jej skúmaním sa otvára mnoho doteraz nevyužitých možností. Zapracovanie tejto technológie do konštrukcie letúna a jej správanie v bežnej prevádzke vyvoláva mnoho ďalších otázok, ktoré však budú zodpovedané pravdepodobne až v budúcnosti. [Autori]

PodĎakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky KEGA 048ŽU-4/2020 s názvom "Zvyšovanie kľúčových kompetencií v oblasti technológie údržby lietadiel prostredníctvom transferu progresívnych metód do vzdelávacieho procesu".

Referencie

- [1] S. Motora, S. Takezawa, a H. Tamama, *Development of the Mhd Ship Yamato-1*. New York: I E E E, 1991, s. 1636–1641.
- [2] Prof. Ing. Josef Kříž, CSc., LIETADLOVÉ POHONNÉ JEDNOTKY, Žilinská univerzita v Žiline v EDIS – vydavateľstvo ŽU 2004, 264 s. ISBN 8080703426
- [3] S. Motora, S. Takezawa, a H. Tamama, *Development of the Mhd Ship Yamato-1*. New York: I E E E, 1991, s. 1636–1641.
- [4] Ing. Ladislav KELLER a spol., 1. vydanie/Svet krídel, UČEBNICA PILOTA 2011, vydalo ako svoju 131. publikáciu vydavateľstvo leteckej literatúry SVET KRÍDEL Cheb1, 701 s. ISBN-978-80-86808-90-1
- [5] Bugaj, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.

COMPARISON OF FOG OCCURRENCE AT SLOVAK INTERNATIONAL AIRPORTS FOR THE PERIOD 1998-2018

POROVNANIE VÝSKYTU HMLY NA MEDZINÁRODNÝCH LETISKÁCH SLOVENSKA ZA OBDOBIE 1998-2018

Adam Michalovič
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
email@email.com

Miriám Jarošová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
miriamjaros@gmail.com

Abstract

The aim of the paper is to analyze and compare the occurrence of fog at the international airports of the Slovak Republic in the years 1998-2018. The paper explains the influence of weather on the flight, the influence of meteorological conditions on visibility, defines the fog and describes the international airports - M. R. Štefánik Airport in Bratislava, Košice Airport, Poprad - Tatry Airport and Žilina Airport. Based on the analysis of METAR reports, we found that the average number of foggy days in the monitored period at Žilina Airport was 132.24 days per year. It is followed by Košice Airport (81.33 days), Poprad Airport (77.81 days) and Bratislava Airport (61.33 days). We attributed the high number of days with the occurrence of fog at Žilina Airport to its location, as there are up to nine water reservoirs and the main course of the Váh River in its vicinity. Bratislava Airport has ideal conditions in terms of visibility. According to METAR, 37 % of foggy days were recorded in autumn, 31% of foggy days in winter, 17 % of foggy days in summer and 15 % of foggy days in spring. At international airports, fog in the autumn meteorological period in the observed period from 1998 to 2018 occurred most often from 00:00 to 12:00, ie mainly in the morning and in the morning, with an incidence of 57 % to 71%.

Keywords

Visibility, Fog, METAR, International airport

1. Úvod

Meteorológia je dôležitou súčasťou letovej prevádzky. Na lietadlo pôsobí množstvo poveternostných javov, ktoré môžu ovplyvniť bezpečnosť letu a tým aj bezpečnosť pasažierov. Kritické pre leteckú prevádzku je jej zabezpečenie pri zlom počasí. Leteckú prevádzku najviac ovplyvňujú teplota vzduchu, tlak vzduchu, rýchlosť a smer vetra, oblačnosť, dohľadnosť, tvorba hmiel, zrážok a námrazy. Za jeden z najnebezpečnejších javov sa považuje hmla, ktorá znižuje dohľadnosť a ktorá môže byť eventuálnou príčinou leteckého nešťastia. Z tohto dôvodu má prevencia leteckých nešťastí nepostrádateľný význam. Jedná sa o problematiku mimoriadne širokú, v diplomovej práci nás zaujíma práve počasie, konkrétne výskyt hmly na medzinárodných letiskách SR. Poznať podmienky ohľadom výskytu hmly na letiskách vzhľadom napr. na leteckú prevádzku a jej rozšírenie je mimoriadne dôležité, najmä ak sa jedná o medzinárodné letiská. Uvedenú tému považujeme nielen za aktuálnu, ale aj dôležitú z hľadiska zabezpečenia bezpečnosti letov. Cieľom príspevku je analyzovať a porovnať výskyt hmly na medzinárodných letiskách SR v rokoch 1998-2018.

2. Počasie a jeho vplyv na let

Meteorológia je v súčasnosti neoddeliteľnou súčasťou leteckej prevádzky. Na lietadlá v priebehu letu pôsobia rozličné meteorologické javy. V atmosfére sa rôzne typy lietadiel

pohybujú v rôznych letových hladinách, pričom platí, že počasie sa v niektorých prejavuje rovnako, ale v iných rozdielne. Úlohou odborníkov - meteorológov je na jednej strane pilotov včas informovať o aktuálnom stave počasia a jeho vývoji na danej trase a na strane druhej tiež zisťovať informácie o počasí od pilotov v priebehu letu. V oblasti civilného a vojenského letectva prebieha komunikácia medzi pilotom a meteorológom na veľmi vysokej úrovni, avšak v športovom lietaní je slabšia. Je to z dôvodu, že športové lietanie je sa realizuje na letiskách, ktoré nedisponujú meteorologickou službou. [1]

Na leteckú prevádzku majú vplyv rôzne meteorologické javy a prvky. Najviac ju však ovplyvňujú teplota vzduchu, tlak vzduchu, rýchlosť a smer vetra, oblačnosť, dohľadnosť, tvorba hmiel, zrážok a námrazy. Za jeden z najnebezpečnejších javov sa považuje hmla, ktorá znižuje dohľadnosť. Ak je dohľadnosť nízka, je nevyhnutné uzavrieť dráhu na letisku, odkloniť dopravu a pod. Tým sa obmedzuje letecká doprava, čo môže spôsobiť značné škody. Poznať podmienky ohľadom výskytu hmly na letiskách vzhľadom napr. na leteckú prevádzku a jej rozšírenie je mimoriadne dôležité, najmä ak sa jedná o medzinárodné letiská.

Podľa Svetovej meteorologickej organizácie je hmla definovaná ako atmosférický aerosól malých kvapôčok, resp. ľadových kryštálikov v ovzduší, ktoré znižujú vodorovnú dohľadnosť pri zemi aspoň v jednom smere pod 1 km. Intenzitu hmly preto stanovujeme podľa dohľadnosti:

- 1) slabá: dohľadnosť 500 – 1000 m,
- 2) mierna: dohľadnosť 200 – 500 m,
- 3) silná: dohľadnosť 50 – 200 m
- 4) veľmi silná: dohľadnosť menej ako 50 m. [19]

Rozoznávame dva základné druhy hmiel:

A. Hmly vo vnútri vzduchovej hmoty - tvoria sa v jednej vzduchovej hmote

1. hmly z ochladzovania: radiačné, advekčné, advekčno – radiačné, orografické,
2. hmly z výparu,
3. hmly spojené s činnosťou človeka, [5]

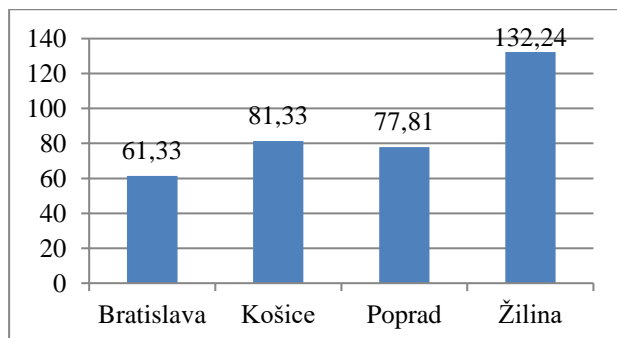
B. Frontálne hmly - tvoria sa na rozhraní dvoch vzduchových hmôt: predfrontálne, pri prechode frontu, zafrontálne. [3]

Z hľadiska bezpečnosti letu je potrebné pravidelné vyhodnocovanie dohľadnosti na letiskách. Preto je dôležitá výmena správ o počasí - tzv. METAR správ.

METAR je názov kódovanej pravidelnej leteckej meteorologickej správy (kódu). METAR je označenie pre meteorologické správy z meteorologických staníc, ktoré letecká meteorologická služba prevádzkuje na letiskách s riadenou leteckou prevádzkou - Bratislava, Košice, Poprad, Piešťany, Žilina a Sliač. Meteorologické informácie sú uvedené v tvare kódu METAR. Správy METAR sú vydávané v pravidelných 1/2 hodinových intervaloch. [18]

Správa METAR bola medzinárodne zavedená 1. januára 1968 a od toho času bola mnohokrát upravená. Štáty Severnej Ameriky používali správu SAO (Surface Aviation Observation) pre aktuálne podmienky o počasí až do 1. júna 1996, keď táto správa bola nahradená schváleným variantom správy METAR na základe Ženevskej dohody v roku 1989. Vyhlásenie Svetovej Meteorologickej Organizácie č. 782 „Letiskové správy a predpovede“ obsahuje správu METAR ako základné kódovanie prijaté všetkými členskými štátmi organizácie WMO. [17]

3. Spracovanie výsledkov a ich analýza



Graf 1 Priemerný počet hmlistých dní na medzinárodných letiskách v sledovanom období. Zdroj: Autori.

Graf 1 uvádza priemerný počet hmlistých dní na medzinárodných letiskách v celom sledovanom období. Z hľadiska počtu hmlistých dní dominuje letisko Žilina.

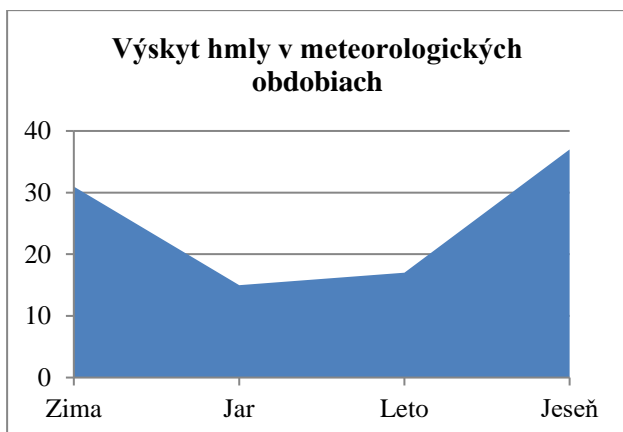
Priemerný počet hmlistých dní v období rokov 1998 až 2018 bol 132,24 dní ročne. Nasleduje letisko Košice s priemerným počtom hmlistých dní 81,33 ročne. Letisko Poprad malo v sledovanom období priemerne 77,81 dní s výskytom hmly ročne a letisko Bratislava priemerne 61,33 dní ročne.

Domnievame sa, že na vysokom počte dní s výskytom hmly na letisku Žilina má významný podiel jeho poloha. Najčastejšie sa hmla vyskytuje práve v blízkosti vodných plôch alebo v dolinách, kde vietor nedokáže hmlu rozptýliť. V okolí letiska Žilina sa nachádza až deväť vodných nádrží (Bešeňová, Čierny Váh, Hričov, Krpeľany, Liptovská Mara, Mikšová, Orava, Tvrdošín, vodné dielo Žilina) a dve vodárenské nádrže (Nová Bystrica, Turček). V okolí letiska má tiež hlavný tok rieka Váh, do ktorej sa vlievajú Závadský potok a potok Staňov. Práve vyparovanie vody z vodných nádrží a vodných plôch vplyva na zvýšený výskyt hmly na letisku Žilina. Jedná sa o tzv. jazerné hmly, ktoré sa tvoria nad jazerami a umelými vodnými nádržami, najčastejšie ako hmly z vyparovania. Časté sú v našich podmienkach na jeseň v ranných hodinách pri radiačnom type počasia pri výraznejšom poklese teploty vzduchu. Vodná plocha je teplejšia než okolie a dochádza k intenzívnejšiemu vyparovaniu. Teplý vlhkejší vzduch sa na styku s chladnejším okolím ochladí na teplotu rosného bodu a vzniká kondenzáciou alebo depozíciou hmla. V súvislých jazerných oblastiach alebo na veľkých jazerách vznikajú tieto hmly aj pri prúdení teplejšieho vzduchu nad chladnejšiu vodnú plochu (v zime, na jar). Podobným spôsobom môžu vznikáť hmly nad riekami, močiarimi, v lete pri roztopení vrchnej časti permafrostu a pod.

Letisko Košice s priemerným počtom hmlistých dní 81,33 ročne, sa umiestnilo za letiskom Žilina. Pomerne vysoký počet dní s výskytom hmly taktiež pripisujeme výskytu vodných plôch v Košiciach a okolí. Zastávame názor, že práve vyparovanie vody z vodných plôch vplyva na zvýšený výskyt hmly na letisku Košice.

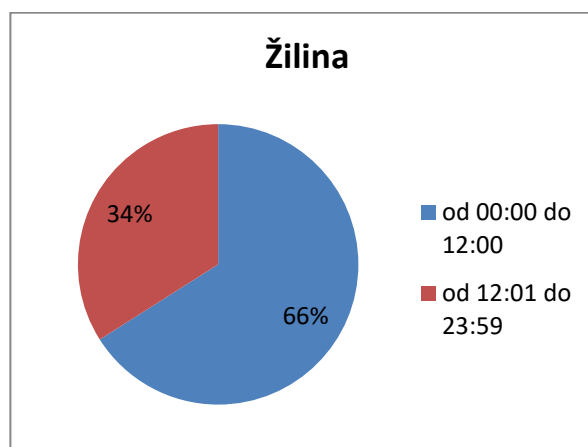
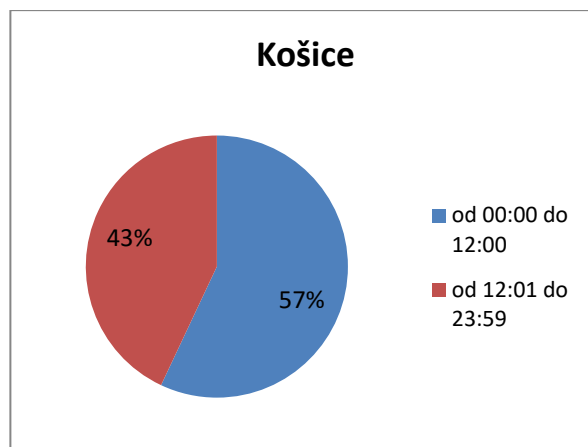
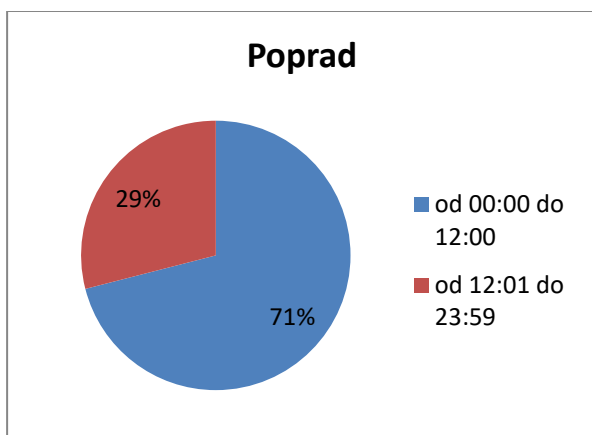
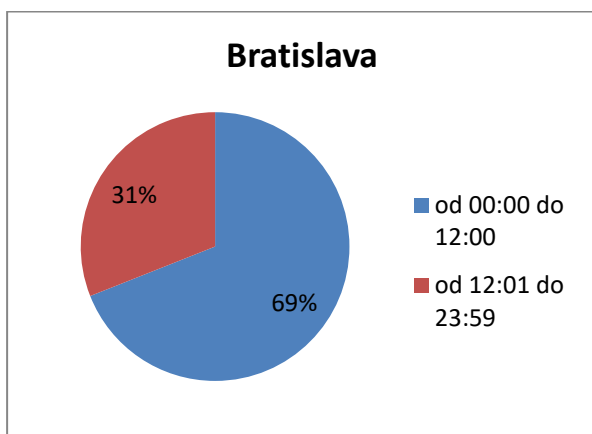
Letisko Poprad malo v sledovanom období priemerne 77,81 dní s výskytom hmly ročne, čo je o polovicu menej dní v porovnaní s letiskom Žilina. Výskyt hmly v okolí letiska si vysvetľujeme tým, že letisko sa nachádza v údolných polohách, kde sa hlavne v jeseni vyskytujú radiačné hmly, vznikajúce v dôsledku stagnácie chladného vzduchu v ranných a večerných hodinách.

Ideálne podmienky z hľadiska dohľadnosti má letisko Bratislava, s 61,33 dňami s výskytom hmly ročne. Aj v Bratislave sa nachádza niekoľko vodných plôch, avšak skôr v jednotlivých mestských častiach, nie v bezprostrednom okolí letiska. Mesto Bratislava má ideálne klimatické podmienky pre lokalizáciu letiska. Priemerná ročná teplota je 10,1 °C. Dokonca najchladnejší mesiac január má teplotu len málo pod 0 °C. Priemerná teplota v najteplejšom mesiaci júli je 20 °C. Pomerne vysoké priemery teplôt najmä v zime vyplývajú z osobitnej polohy Bratislavy v blízkosti *Malých Karpát*. Pohorie prestúpené bránami (*Lamačská, Devínska*) je kolmé na prevládajúce západné vetry. Pri prechode studeného vzduchu sa tak uplatňuje dýzový efekt, a tým sa zvyšujú zimné teploty. Na ich zvyšovaní sa dosť výrazne podieľa aj efekt veľkomestskej mikroklimy.



Graf 2 Výskyt hmly na medzinárodných letiskách v sledovanom období v meteorologických obdobiach. Zdroj: Autori.

Z Grafu 2 vyplýva, že 37 % hmlistých dní bolo podľa práv METAR na medzinárodných letiskách zaznamenaných na jeseň, čo nie je prekvapivé zistenie, nakoľko z meteorologického hľadiska sa hmly vyskytujú najčastejšie práve na jeseň. Na zimu pripadá 31 % hmlistých dní. V zime sa v SR území vyskytujú prevažne advekcčné hmly vznikajúce ochladzovaním teplého a vlhkého vzduchu a jeho presunom (advekciami) nad chladnejší povrch. V našich podmienkach sa vyskytujú najmä v zime pri dlhšie trvajúcom prúde teplého vlhkého vzduchu od Atlantického oceánu, alebo Stredozemného mora do Karpatskej oblasti. Na leto pripadalo 17 % hmlistých dní a 15 % hmlistých dní na jar.



Graf 3 Výskyt hmly na medzinárodných letiskách počas dňa v meteorologickom období jeseň. Zdroj: Autori.

Najčastejšie sa hmly na medzinárodných letiskách vyskytujú v ročnom období jeseň, preto sme sa ďalej zamerali na výskyt hmly v tomto období. Analyzovali sme výskyt hmly od 00:00 do 12:00 a od 12:01 do 23:59 na jednotlivých letiskách. Z Grafu 3 vyplýva, že na medzinárodných letiskách sa hmly v meteorologickom období jeseň v sledovanom období rokov 1998 až 2018 vyskytovala najčastejšie od 00:00 do 12:00, teda prevažne ráno a doobeda, s výskytom 57 % až 71 %. Práve na jeseň sa vyskytujú na letiskách najmä advekcčná a radiačná hmly. Advekcčná hmly nastáva pri ochladzovaní pomerne teplého, vlhkého vzduchu pri presune nad chladnejší povrch. Vzhľadom na to, že najvýraznejšie ochladenie je v noci, práve v noci a ráno sa hmly na letiskách vyskytovala častejšie ako poobede a do 23:59. Rovnako sa na jeseň vyskytuje aj radiačná hmly vznikajúca zo situácie tzv. babieho leta, keď nad daným miestom zotrúva veľmi dlho oblasť vysokého tlaku.

4. Záver a zhodnotenie výsledkov

Priemerný počet hmlistých dní v období rokov 1998 až 2018 bol na letisku Žilina 132,24 dní ročne. Nasleduje letisko Košice s priemerným počtom hmlistých dní 81,33 ročne. Letisko Poprad malo v sledovanom období priemerne 77,81 dní s výskytom hmly ročne a letisko Bratislava priemerne 61,33 dní ročne. Okrem priemerného počtu hmlistých dní na medzinárodných letiskách v celom sledovanom období, sme sa zamerali aj na výskyt hmly v jednotlivých meteorologických obdobiach. 37 % hmlistých dní bolo podľa práv METAR zaznamenaných na jeseň,

na zimu pripadá 31 % hmlistých dní, na leto 17 % hmlistých dní a 15 % hmlistých dní pripadlo na jar. Na medzinárodných letiskách sa hmla v meteorologickom období jeseň v sledovanom období rokov 1998 až 2018 vyskytovala najčastejšie od 00:00 do 12:00, teda prevažne ráno a doobeda, s výskytom 57 % až 71 %.

Referencie

- [1] DVOŘÁK, P. 2004. *Letecká Meteorologie*. Bratislava : Svět křídel, 2004. 221 s. ISBN 80-86808-09-2
- [2] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. 2005. *Manual of Runway Visual Range, Observing and Reporting Practices*. 3. vyd. ICAO. 118 s.
- [3] LEXMANN, E. 1989. *Meteorológia pre športového pilota*. Bratislava : Alfa, 1989. 243 s. ISBN 80-05-00082-0.
- [4] ZVEREV, A. S. 1986. *Synotická meteorológia*. Bratislava : Alfa, 1986. 712 s.
- [5] SOBÍŠEK, B. a kol. 1993. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Praha : Academia, 1993, 594 s. ISBN 80-85-36-8-45-5.
- [6] ŠAMAJ, F. 2001. *Meteorológia včera a dnes*. Bratislava : Veda, 2001. 158 s. ISBN 80-2240-673-2.
- [7] KULČÁR, L. – PRIBULLOVÁ, A. 2011. *Základy meteorológie*. Bratislava : Slovenská ústredná hviezdáreň, 2011. 200 s. ISBN 978-80-8522-171-8.
- [8] LUKAČOVIČ, J. 1987. *Letecká meteorológia II. diel*. Košice: VVLŠ SNP, 1986. 104 s.
- [9] KOČEK, M. 1979. *Klíma a bioklíma Bratislavy*. Bratislava :Veda, 1979. 272 s.
- [10] BTS. AERO. *O letisku*. [online]. [cit. 2020-09-30]. Dostupné na internete: <https://www.bts.aero/o-letisku/o-spolocnosti/profil-spolocnosti/o-letisku/>
- [11] AIR-PORT POPRAD. *O letisku*. [online]. [cit. 2020-10-01]. Dostupné na internete: <http://www.airport-poprad.sk/sk/podstranky/letisko/oletisku.php>
- [12] PHSR Mesta Poprad na roky 2016-2022. [online]. [cit. 2020-10-12]. Dostupné na internete: https://www.poprad.sk/phsr.phtml?id_menu=4847&limited_level=1&stop_menu=40544
- [13] LETISKO KOŠICE. *O letisku*. [online]. [cit. 2020-10-17]. Dostupné na internete: <https://www.airportkosice.sk/sk/o-letisku/zakladne-udaje>
- [14] PHSR Mesta Košice na roky 2015-2020. [online]. [cit. 2020-11-04]. Dostupné na internete: <https://www.kosice.sk/mesto/program-rozvoja-mesta-kosice-na-obdobie-rokov-2015-2020>
- [15] LETISKO Žilina. *História*. [online]. [cit. 2020-11-19]. Dostupné na internete: <http://www.letisko.sk/historia/>
- [16] PHSR Mesta ŽSK 2014-2020. [online]. [cit. 2020-11-20]. Dostupné na internete: <http://www.zilinskazupa.sk/sk/rozvojove-dokumenty-zsk/program-hospodarskeho-socialneho-rozvoja-zsk-2014-2020.html>
- [17] TASR. 2019. *Jedna z najväčších záhad v dejinách letectva: Osud lietadla spoločnosti Malaysia Airlines*. [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné na internete: <https://hnonline.sk/svet/1903075-jedna-z-najvacsich-zahad-v-dejinach-letectva-osud-lietadla-spolocnosti-malaysia-airlines>
- [18] AIRGURU.CZ. 2019. *Metar*. [online]. [cit. 2021-07-01]. Dostupné na internete: <https://www.airguru.cz/clanky/metar>
- [19] SHMÚ. *Aktuálne informácie*. [online]. [cit. 2021-07-01]. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/sk/?page=1956>
- [20] BALÁŽOVIČOVÁ, B. 2015. *Základy meteorológie a klimatológie*. Banská Bystrica : Belianum, 2015.148 s. ISBN 978-80-557-0954-3 .

EXPERIMENTAL STATE OF TENSILE TESTING OF AIRCRAFT RECIPROCATING INTERNAL COMBUSTION ENGINE

EXPERIMENTÁLNY STAV ŤAHOVÝCH SKÚŠOK LETECKÉHO PIESTOVÉHO SPAĽOVACIEHO MOTORA

Matúš Mrva

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
mattusmrva@gmail.com

Pavol Pecho

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
pavol.pecho@fpedas.uniza.sk

Abstract

The main goal of the Paper "Experimental state of tensile tests of aircraft piston internal combustion engine" is to create an experimental and fully functional measuring stand for monitoring the parameters of a model internal combustion piston engine, using different types of propellers. The partial goals are the creation of a teaching aid, the construction of a unique facility and the creation of opportunities for research and development in this area by other students. Using a measuring device, it was possible to record the various operating characteristics of the internal combustion engine. Based on this, the usability of individual propellers for the measured internal combustion engine can be determined.

Keywords

Aircraft engine, Aircraft propeller, Tensile test

1. Úvod

V súčasnej dobe sú v modelárskom letectve využívané na meranie ťahu a parametrov motora amatérske meracie experimentálne zariadenia, s nedostatočným senzorovým vybavením. V prípade ak sú využívané elektronické systémy sú tieto zariadenia finančne náročné a preto sa konštruktéri uchylujú len k lacnej, základnej a často aj dosť nepresnej variante výroby jednoduchej stolice s použitím silomeru. [1] V rámci univerzít v Česku a na Slovensku, ktoré sú zamerané na leteckú techniku, sa nenachádza žiaden podobný a unikátny experimentálny stav na meranie ťahových charakteristík vrtúľ. [2]

Práve využitie modelárskeho spaľovacieho piestového motora a vrtúľ v požadovanej mierke umožňujú napodobniť podmienky veľkých skúšobní na akademickej pôde za relatívne malé finančné prostriedky v podobe experimentálneho meracieho zariadenia. Okrem konštrukcie je treba poznamenať, že aj samotné technológie pre monitorovanie parametrov modelárskych motorov a ich využitie, či už pri riešení problémov s novými prototypmi vrtúľ alebo ako laboratórny prototyp určený na výučbu a meracie cvičenia robia projekt unikátnym.

1.1. Inovatívne riešenie

Vytvorenie takéhoto zariadenia by mohlo priniesť pre Žilinskú univerzitu, konkrétne Katedru leteckej dopravy, finančne nenáročnú variantu zariadenia na meranie ťahových skúšok rôznych motorov a vrtúľ. Tak isto prinesie zvýšenie efektivity učenia a záujmu o študijné odbory v oblasti letectva, či prínos pre certifikáciu a získanie oprávnenia výcvikovej organizácie technika údržby leteckej techniky. Konkrétne by sa jednalo o kategóriu A2 - osvedčujúci mechanik tražovej služby pre letúny

s piestovými motormi a zároveň kategóriu B1.2 – osvedčujúci technik údržby – drak/pohonná jednotka pre rovnakú kategóriu letúnov. Možnosť konštrukcie plne funkčného prototypu na testovanie daných charakteristík v zmenšenej mierke a pri zachovaní relevantnosti výstupov tvorí hlavnú podstatu inovatívneho riešenia pre potreby výskumu a štúdie aktuálnych potrieb konštrukcie a dizajnu leteckých vrtúľ.

2. Materiály a metódy

Z dostupných a analyzovaných informácií boli vytvorené základné fázy a postupnosť ich riešenia. Podľa chronologického hľadiska a následnosti sa rozdeľujú na:

- Základná stojanová konštrukcia – rozmery, použité materiály, postup práce, povrchová úprava.
- Konštrukcia meracej platformy – návrh, použité materiály, predpokladané rozmery, povrchová úprava.
- Spôsob uchytenia platformy o stojanovú konštrukciu – výber a dimenzovanie lineárneho vedenia.
- Stabilizácia a protizávažie meracej stolice – umiestnenie, použité materiály, navrhnutá hmotnosť, povrchová úprava.
- Výber spaľovacieho motora – parametre, typ, dimenzovanie, konštrukcia.
- Jednotlivé systémy spaľovacieho motora – palivový systém, zapalovanie motora.
- Typy použitých vrtúľ – materiály, veľkosť, parametre.

- Softvérová a elektronická časť – riadiaca jednotka, displeje, senzory, napájacie zdroje a pohonné akumulátory, elektrické vedenie a obvody, vypracovanie kódu.
- 2D a 3D návrh ovládača – dimenzovanie, praktickosť, jednoduchosť, funkčnosť, opraviteľnosť, použité metódy a materiály, rozmiestnenie elektronických súčiastok.

2.1. Konštrukcia

Pri tvorbe základnej konštrukcie bola čerpaná inšpirácia z už vytvorených konštrukcií použitých pri podobných zariadeniach. Tieto zariadenia vlastní Letecká katedra Žilinskej univerzity a sú určené na podobný cieľ ako naše navrhované zariadenie. Slúžia na meranie ťahových charakteristík turbínových a pulzných motorov. Jedná sa o konštrukciu, ktorá spĺňa požiadavky na jednoduchosť výroby, dostupnosť stavebného materiálu, dostatočnú pevnosť, tuhosť a variabilitu. Za hlavný konštrukčný materiál bola zvolená oceľ triedy STN 42 11,523. [3] Polotovary, ktoré boli navrhnuté pre použitie, sú normalizované štandardné profily a to: trubka oceľová štvorcová 30x30mm s hrúbkou steny 2mm a ešte trubka oceľová štvorcová 50x20x2. Jednou z výhod použitej ocele je dobrá zvarateľnosť. Tento spôsob nerozoberateľného spájania bol použitý ako hlavná metóda pre vytvorenie oceľovej konštrukcie.

Hlavná časť platformy bola tvorená zo 4mm hrubej oceľovej platne, ktorá bola narezaná na nami požadované rozmery. Potom bola ohnutá v potrebných miestach pod uhlom 90°. Ako výstuha bola zvolená trubka oceľová, bezšvová, štvorcová, tvárnená za tepla s vonkajšími rozmermi 20x20mm a hrúbkou steny 2mm. Na vhodne určenom mieste bolo navrhnuté jednoduché uchytenie palivovej nádrže. To je tvorené z oceľových plátov o hrúbke 5mm. [3]

Meracia platforma bola k stolu uchytená pomocou lineárneho vedenia. Tieto konštrukčné prvky slúžia na vedenie pohyblivých častí stroja. To znamená: viesť smer pohybu s čo najmenšou vôľou. Hlavné valcové tyče sú vyrobené z ložiskovej ocele typu GCr15, dĺžke 450mm a priemer kofajnice 25mm. [4]

Pri zvolenej stojanovej konštrukcii a štýlu umiestnenia meracej platformy vznikajú isté riziká. Konkrétne sa jedná o moment vytváraný ťahom vrtule vzhľadom na zem. Ten, pri použití silnejšieho motora môže vytvoriť moment, ktorý by mohol celé meracie zariadenie prevrátiť. Druhým rizikom je reakčná sila vytvorená vrtulou, ktorá by mohla celé zariadenie posúvať v protismere ťahu. Na základe týchto rizík boli vytvorené potrebné opatrenia. Na elimináciu momentu, ktorý by mal za následok prevrátenie meracieho zariadenia, bola navrhnutá jednoduchá úprava v podobe správne umiestneného závažia. Druhé riziko bolo odstránené návrhom a vhodným umiestnením gumených protisklzových podložiek. [5]

Výber motora bol podmienený viacerými požiadavkami. Motor musel byť cenovo dostupný, musel mať dostatočné parametre pre danú konštruovanú meraciu stolicu, pomerne ľahký a jednoduchú prevádzku s dostupnosťou náhradných dielov. Po zvážení týchto faktorov bolo rozhodnuté pre letecký spaľovací motor od značky DLA, typ boxer o obsahu 64ccm. Pre správnu funkčnosť motora bolo treba navrhnuť jednotlivé podsystémy motora a to konkrétne palivový, riadiaci a elektrický. [6]

Pri výbere leteckých vrtúl, ktoré sa budú používať na merania, laboratórne cvičenia a rôzne experimenty, sa vychádzalo

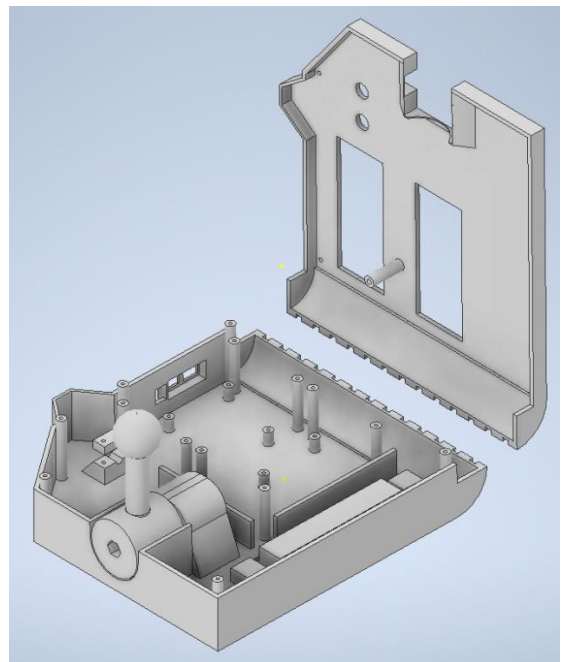
predovšetkým z typov a veľkostí vrtúl povolených výrobcom motora DLA. Ten k svojmu motoru, ktorý je použitý v tejto práci, udáva typ vrtule určenej pre zábeh motora a tri základné typy vrtúl. [7] Pre rozmanitosť merania a čo najširšie využitie dovolených používaných vrtúl boli na budúce merania zvolené tieto tri typy: Foxy Pro 22x12 (plast), Foxy 24x8(drevo), Fiala 22x12(drevo).

Navrhované zariadenie bude merať rôzne veličiny, ktoré sa budú počas testovania leteckého motora meniť. Ide hlavne o tieto veličiny: ťah, spotrebu paliva, otáčky a teploty oboch valcov spaľovacieho motora. V dnešnej dobe už analógové prístroje nahradili vo veľkej miere elektronické, resp. digitálne. Arduino je platforma založená na mikrokontroléri ATmega a grafickom vývojovom prostredí, ktoré vychádza z prostredia Wiring a Processing. Tento elektronický systém je vhodný a s veľkým potenciálom využiteľný v našom experimente. [8]

Jedným z posledných problémov, ktoré bolo treba vyriešiť, bol návrh zariadenia, z ktorého sa bude môcť dať komfortne, jednoducho a prakticky ovládať celé meracie zariadenie. Po zvážení a prehodnotení viacerých faktorov bezpečnosti a jednoduchosť použitia, bol vytvorený vlastný návrh koncepcie ovládača.

Navrhovanie ovládača pozostávalo z troch, za sebou nasledujúcich krokov: [9]

1. Rozmiestnenie elektroniky a princíp ovládania.
2. 2D návrh ovládača a základné rozmery.
3. 3D návrh ovládača a použité materiály.



Obrázok 12: 3D návrh ovládača Zdroj: Autori.

2.2. Stavba

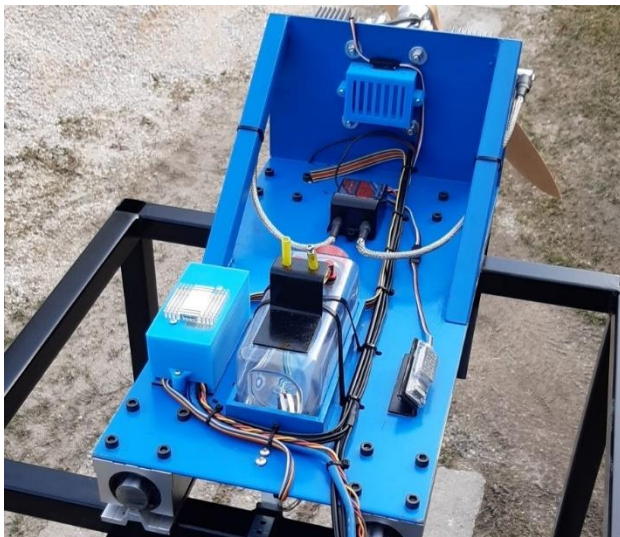
Po skompletizovaní celého návrhu meracieho zariadenia bolo prístupné k praktickej časti. Táto časť zahŕňala jednotlivé stavebné úkony, ktoré mali svoju následnosť a logickú

postupnosť. Podľa chronologického hľadiska môžeme stavebné kroky rozdeliť nasledovne:

1. Stojanová konštrukcia
2. Lineárne vedenie
3. Meracia platforma
4. Prídavné závažie
5. Osadenie spaľovacieho motora a jeho podsystemov
6. 3D tlač ovládača
7. Kód systému Arduino
8. Elektrické vedenie
9. Senzorové vybavenie



Obrázok 13: Hotová stojanová konštrukcia, nosná časť meracej platformy, prídavné závažie, lineárne vedenie a na skúšku osadený spaľovací motor. Zdroj: Autori.



Obrázok 14: Dokončená meracia platforma vrátane palivového systému a elektronického zapalovania motora, digitálneho otáčkomera, plastových boxov s senzorovou elektronikou, potrebné kabeláž a bowdenové lanko ovládajúce škrtiacu klapku karburátora motora. Zdroj: Autori.



Obrázok 15: Kompletne postavený a na 3D tlačiarňi vytlačený ovládač meracieho zariadenia s dvoma displejmi, riadiacou jednotkou, potrebnou kabelážou, ovládacou pákou plynu motora a dvojice vypínačov. Zdroj: Autori.

2.3. Kalibrácia senzorov, zábeh motora

Pred samotnou motorovou skúškou a počiatocnými testovaniami bolo potrebné správne skalibrovať senzor hmotnosti a senzor prietoku paliva tak, aby ukazoval reálne hodnoty. Kalibrácia je súbor úkonov, ktorými sa za špecifických podmienok určí vzťah medzi hodnotami nameranými meracím systémom a odpovedajúcimi hodnotami. Sú to etalóny resp. štandardy.

Pre zvolené senzory boli použité dva typy nastavovania správnej zobrazovanej hodnoty. [39]

1. Adjustačná metóda – príprava a nastavenie zariadenia do stavu potrebného na presné meranie pomocou hmotnostného senzora.
2. Výpočtová metóda – prepočet jednotlivých impulzov z flowmetru do hodnoty objemu za jednotku času.

Posledným krokom pred samotnými testami bol zábeh spaľovacieho motora. Tento krok bol nutný kvôli tomu, že motor bol pre meracie zariadenie zakúpený ako nový. Zábeh motora prebiehal podľa pokynov výrobcu. [6]

Meracia stola bola umiestnená na voľné priestranstvo bez možnosti nasatia cudzieho predmetu do točiacej sa vrtule. Pred samotným zábehom bola potrebná príprava pohonných hmôt. Ako palivo bol použitý 100-oktánový benzín Schell V-Power Racing. [10] Tento benzín bol zvolený z dôvodu vysokého oktánového čísla, čo má pri použití v 2-taktných motoroch

pozitívny vplyv na pravidelnejší chod motora. Keďže použitý motor DLA 64 nemá olejovú sústavu, bolo potrebného ho mazať. To zabezpečuje plne syntetický motorový olej Motul 2T, ktorý je s benzínom zmiešaný v pomere 30 dielov benzínu a 1 diel oleja. [11] Takýto pomer je udávaný výrobcom, a to z dôvodu potreby lepšieho mazania počas prvých skúšobných štartov.

Vrtuľa použitá pre zábeh bola od firmy Fiala propeller. Je to dvojlistá drevená vrtuľa o rozmeroch 22/10“.

3. Jednotlivé merania

Jednotlivé merania prebiehali na pôde Katedry leteckej dopravy, a to konkrétne na letisku v Dolnom Hričove. Jednotlivé merania sa uskutočnili za asistencie vedúceho práce Ing. Pavla Pecha, PhD a študenta Bc. Dávida Rilka. Merania prebiehali dňa 21.4.2021 o 14:10 UTC. Podľa správy Metar boli meteorologické podmienky v daný deň nasledovné:

- Smer a rýchlosť vetra: 240°, 5k_t,
- Dohľadnosť: Nad 10km,
- Oblačnosť: polojasno vo výške 3000ft, polooblačno vo výške 3500ft.



Obrázok 5: Priebeh samotného merania jednotlivých parametrov. Zdroj: Autori.

Kompletné meracie zariadenie bolo umiestnené vo vonkajších priestoroch na asfaltovej ploche. Medzi prípravne kroky patrilo natankovanie pohonných hmôt do nádrže palivového systému motora, uloženie závažia na určené miesto a príprava montážneho náradia na výmenu meraných vrtúľ. Pri meracom zariadení bol na provizórny stôl umiestnený notebook s otvoreným MS Excel, pripraveným na čítanie dát z mikrokontroléra. Pomocou USB káblu bol spojený notebook s riadiacou jednotkou Arduina. Pomocou AC/DC zdroja, ktorý bol pripojený do elektrickej siete sa umožnilo zapnutie celej elektrickej Arduino sústavy. Predposledným krokom bolo aplikovanie ochranných pomôcok proti hluku. Nasledovalo zapojenie Arduina pomocou vypínača a štart spaľovacieho motora podľa stanovených postupov. Po jeho zohriatí na prevádzkovú teplotu 70°C bolo zariadenie pripravené na jednotlivé merania.

Z výstupných hodnôt bolo možné uskutočniť tri druhy merania jednotlivých vrtúľ:

1. Meranie maximálnych a minimálnych hodnôt ťahu a otáčok
2. Merania ťahu vrtúľ pri rovnakých otáčkach

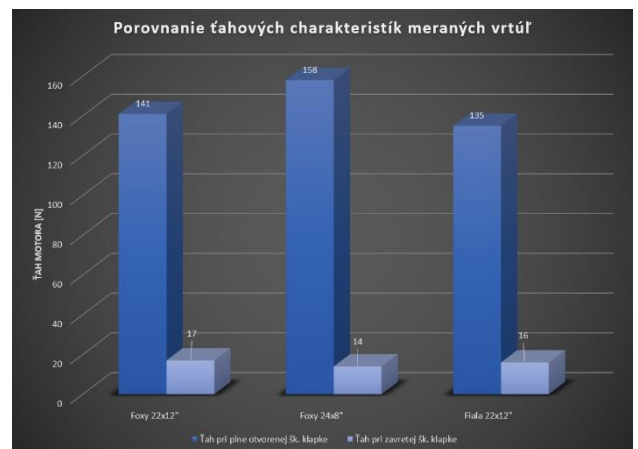
3. Závislosť ťahu a tepelnej záťaže motora od druhu použitej vrtule

4. Výsledky a analýza meraní

Po kompletom dokončení nameraných hodnôt nasledovala fáza spracovania do prezentačnej a ľahko čitateľnej formy. Bola zvolená forma grafu pre svoju jednoduchosť, praktickosť a prehľadnosť.

Tabuľka 5 Namerané parametre pre jednotlivé typy vrtúľ. Zdroj: Autori.

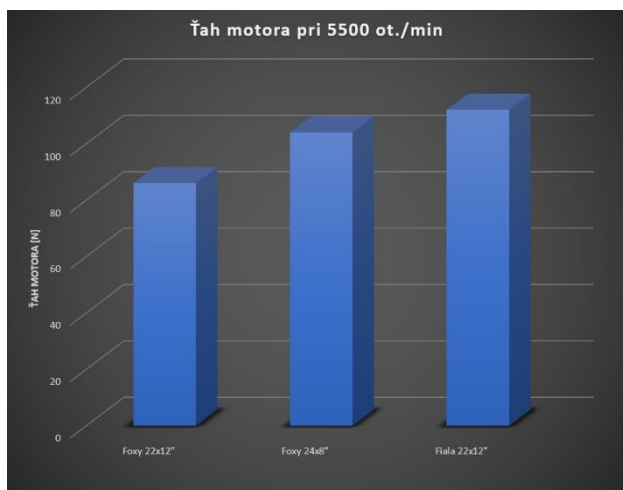
Parametre/typ vrtule	FOXY 22x12" - dvojlistá - plast so sklenenými vláknami	FOXY 24x8" - dvojlistá - bukové drevo	Fiala 22x12" - trojlistá - bukové drevo
Ťah a otáčky pri zavretej šk. klapke	17 N 2700 ot/min	14 N 2150 ot/min	16 N 2300 ot/min
Ťah a otáčky pri plne otvorenej šk. klapke	141 N 7100 ot/min	158 N 6900 ot/min	135 N 5900 ot/min



Graf 1: Porovnanie ťahových charakteristík meraných vrtúľ. Zdroj: Autori.

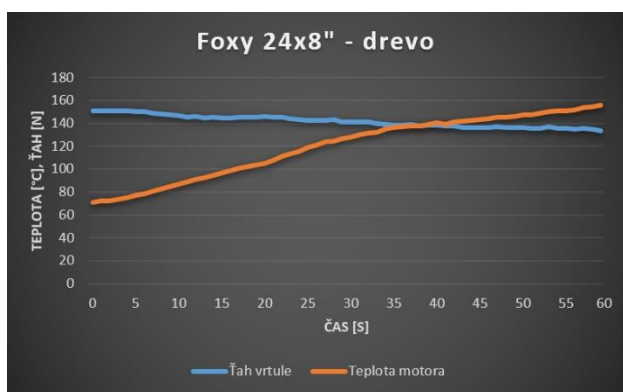
Po prezretí údajov (tabuľka 1 a graf 1) sa dá skonštatovať, že najväčší ťah dosahovala dvojlistá drevená vrtuľa Foxy 24x8“. Hneď za ňou bola dvojlistá plastová vrtuľa Foxy 22x12“. Zaujímavým faktom je, že i napriek menšiemu maximálnemu ťahu dosahovala vyššie max. otáčky ako Foxy 24x8“. Je to z dôvodu iného tvaru a šírky profilov jednotlivých rezov dvojlistých meraných vrtúľ. Na poslednom mieste skončila, čo sa týka ťahu a otáčok, trojlistá vrtuľa Fiala 22x12“. Počas merania tejto vrtule motor vykazoval počuteľné problémy vo forme pomalšej akcelerácie do vyšších otáčok. Ako je vidieť z tabuľky 3, motor pri trojlistej vrtuli dosahoval o vyše 1000 ot./min menej ako je stanovené výrobcom.

Druhé meranie bolo z hľadiska komplikovanosti najjednoduchšie. Z nameraných hodnôt sa vytvoril jednoduchý stĺpcový graf ktorý nám podáva zaujímavé informácie.



Graf 2: Ťah motora pri 5500 ot./min. Zdroj: Autori.

Z predošlého grafu (graf 2) vyšla, čo sa ťahu týka najhoršie trojlistá vrtuľa. Namerané hodnoty pri rovnakých otáčkach ju však posúvajú na prvé miesto. [44] Z toho vyplýva, že trojlistá vrtuľa dokáže pri daných otáčkach najefektívnejšie premeniť výkon od motora na užitočný ťah. Na druhom mieste je drevená vrtuľa a na treťom plastová vrtuľa od značky Foxy.



Graf 3: Teplota a ťah vrtule Foxy 24x8" – drevo. Zdroj: Autori.

Tretie, najkomplexnejšie meranie, bolo založené na meraní závislosti ťahu a teploty motora od času. Toto meranie bolo uskutočnené pre všetky tri typy vrtúľ. Z grafu (graf 3) vidieť znateľný pokles ťahu. Táto strata má hodnotu cca 10N. Straty výkonu môžu, no i nemusia mať na svedomí dve skutočnosti. Prvá, menej pravdepodobná, je nie dokonale nastavený karburátor, resp. „H“ ihla maximálnych otáčok. Spaľovací motor má membránový karburátor. To znamená, že motor nemá žiadne palivové čerpadlo a palivo sa do karburátora nasáva vplyvom podtlaku. To môže mať za následok čiastočný deficit paliva pri dlhodobom plnom plyne.

5. Prínosy projektu

5.1. Vedecký prínos

Hlavným vedeckým prínosom bolo priniesť modernú prístrojovú učebnú pomôcku na pôdu Katedry leteckej dopravy, ktorá bude slúžiť pre budúcich študentov. Úlohou tohto zariadenia bude, po celkovom dokončení senzorového vybavenia, merať zvolené parametre a vlastnosti motora v závislosti od typu použitej vrtule.

Na základe týchto údajov bude možné analyzovať a navrhnuť potrebné úpravy a modifikácie pri vývoji nových prototypov vrtúľ. Študenti v rámci predmetov Letecká vrtuľa a Letecké pohonné jednotky sa budú môcť oboznámiť so súčasným trendom a aktuálne používanými technológiami a materiálmi v týchto oblastiach. Druhou komplexnejšou a hlbšou tematikou bude riešenie problémov v oblasti zvyšovania efektívnosti ťahu a znižovania hlučnosti a hlučnosti leteckých vrtúľ.

5.2. Prínos pre prax

Pri tomto experimente bol kladený dôraz na jeho jednoduchosť a efektívnosť pričom výsledkom projektu bude plne funkčné prístrojové vybavenie, ktoré bude možné využiť pri monitorovaní rôznych typov parametrov spaľovacieho piestového motora, na základe ktorých bude následne možné určiť ďalšie postupy vo vývoji testovanej vrtule. V prípade úspešných výstupov testovania sa prístroj plánuje použiť ako praktická učebná pomôcka pre študentov Katedry leteckej dopravy, a to predovšetkým pre poslucháčov predmetov Letecké pohonné jednotky, Letecká vrtuľa a Postupy údržby 1 a 2. Prístroj bude navrhnutý a konštruovaný tak, aby bolo možné v budúcnosti modifikovať jeho komponenty, optimalizovať ho a integrovať nové zástavby. Ide predovšetkým o úpravy použitia iných spaľovacích motorov, pridanie ďalších senzorov či aktualizácia programu pre mikropočítačovú jednotku Arduino. Z hľadiska využiteľnosti pre priamu prax je projekt zameraný na spoluprácu s výrobcami leteckých

modelársky vrtúľ, ktoré by v budúcnosti mohli byť merané v rámci spoločného výskumu a spracované v podobe záverečných prác študentov na Katedre leteckej dopravy, respektíve pre overenie návrhov a inovatívnych dizajnov nových typov vrtúľ určených pre civilné letectvo.

6. Záver

Prvým a hlavným cieľom diplomovej práce bolo skonštruovať komplexné zariadenie pre letecké motory, ktorého hlavnou úlohou bude monitorovanie vybraných parametrov motora s ich následnou analýzou a využitím týchto informácií pre účely úprav a návrhov nových prototypov vrtúľ, či už pre letecké modelárstvo alebo pre civilné letectvo. Zariadenie je schopné merať ťah a teplotu motora pri použití rôznych typov vrtúľ a súčasne tieto veličiny zapisovať a ukladať do počítača. Taktiež dokáže merať otáčky motora, ktoré však nie sú zaznamenávané systémom Arduino. Po jednotlivých meraniach je možné v programe Microsoft Excel tieto dáta analyzovať či už do formy tabuľkovej alebo grafovej a následne ich použiť pri potrebnom výskume alebo vývoji.

Meracie zariadenie bude zároveň slúžiť ako študijná a učebná pomôcka v rámci výučbových procesov na Katedre leteckej dopravy. V rámci predmetu Letecká vrtuľa budú študenti oboznámení so súčasným trendom vývoja v oblastiach aerodynamických vlastností vrtúľ, konštrukčných materiálov, znižovanie hlučnosti a zvyšovania efektívnosti ťahu za súčasného znižovania celkového aerodynamického odporu.

Celé zariadenie je vyrobené z ľahko dostupných súčiastok a materiálov tak, že nie je problém s dostupnosťou náhradných dielov alebo úpravou pre iný spaľovací motor. Táto skutočnosť dáva meraciemu zariadeniu veľký potenciál v oblastiach nových vývojových a inovatívnych úprav ďalšími študentami.

Referencie

- [1] KOVÁŘ, R. 1962. Zkoušení leteckých motorů. Část 1., 2., 3., VAAZ – jen pro potřebu posluchačů, 1962. 387 s. Číslo zakázky: 1463/62
- [2] Beňo, L. (1985). Letouny a jejich systémy 2.část/Vrtulové pohonné jednotky s piestovými motormi. SLOVAIR (Bratislava)
- [3] LEINVEBER, J. – VÁVRA, P. 2006. Strojnické tabulky. Albra. 2006. ISBN 8073610337.
- [4] CNC PRISLUSENSTVO. Lineárne vedenia. [online]. Dostupné na internete: <https://www.cncprislusenstvo.sk/ako-na-stavbu-cnc-stroja/linearne-vedenia/> (citované 2021-03-20).
- [5] ILKOVIČ, D. 1962. Fyzika. Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, Tisk, knižní výroba, n. p., závod Brno, provozovna 11, 1962. 792 s. 63-056-62.
- [6] DLA. DLA-64 model engine. [online]. Dostupné na internete: <http://www.dlaengine.com/contents/446/29.html> (citované 2021-03-13).
- [7] TATRAMODEL. Motor DLA-64. [online]. Dostupné na internete: <https://www.tatramodel.sk/zakladna-ponuka/spalovacie-motory/nahradne-diely/nahradne-diely-dla/2DLA0064-motor-dla-64-ccm-dvouvalec-vcetne-tlumice-a-prislusenstvi/> (citované 2021-03-20).
- [8] ARDUINO. Arduino ide. [online]. Dostupné na internete: <https://www.arduino.cc/en/software> (citované 2021-03-21).
- [9] AUTODESK. AutoCAD a Inventor. [online]. Dostupné na internete: <https://www.autodesk.com/education/edu-software/overview?sorting=featured&page=1>(citované 2021-01-10).
- [10] SCHELL. Schell v-power racing. [online]. Dostupné na internete: <https://www.shell.sk/motoristi/paliva/v-power/racing.html> (citované 2021-03-25).
- [11] TATRAMODEL. Motul 710 2T Original. [online]. Dostupné na internete: <https://www.tatramodel.sk/zakladna-ponuka/paliva-oleje/oleje/MOT104034-motul-710-2t-original-1-l/>

PROPOSAL OF AIRCRAFT MAINTENANCE PLANNING SOFTWARE FOR ATO

NÁVRH ELEKTRONICKÉHO SYSTÉMU PLÁNOVANIA ÚDRŽBY LIETADIEL PRE POTREBY ATO

Dominik Mikulec
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
dominikmikulec3@gmail.com

Filip Škultéty
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
skultety@fpedas.uniza.sk

Abstract

The goal of this paper is to create a proposal of aircraft maintenance planning software, which meets the requirements of approved training organization (ATO) and combined airworthiness organization which are part of the Air training and education centre (LVVC). Conducted analysis of organizations that operate in aviation including LVVC, illustrates use cases, content and processes linked with planning software. Based on the acquired knowledge the proposal of the software is created, thanks to its structure and content optimizes coordination and planning of aircraft maintenance and processing of operation data. Paper also contains an alternative to the proposed software in form of online software that can be purchased if required. The paper provides software developers overview of the required structure and functionality of the proposed software.

Keywords

Software proposal, CAO, ATO, Aircraft maintenance, LVVC, Aviation

1. Úvod

Informačné technológie predstavujú neoddeliteľnú súčasť dnešnej doby. Majú nezastupiteľné postavenie vo všetkých druhoch priemyslu, ako aj v tom leteckom. Letecký priemysel je príznačný neutíchajúcim technologickým vývojom a prísny bezpečnostnými štandardmi. Súčasťou dodržiavania bezpečnostných štandardov v letectve je samozrejme aj bezpečnosť prevádzky lietadiel. Tá je dodržiavaná viacerými spôsobmi a jeden z nich je ich údržba a riadenie zachovania letovej spôsobilosti. Aj v tejto oblasti si našli informačné technológie svoje uplatnenie v podobe softvérov, ktorých úlohou je čo najviac optimalizovať procesy údržby a zber a spracovanie prevádzkových záznamov lietadiel, pre účely riadenia zachovania letovej spôsobilosti. Softvéry využívajú údržbové organizácie, letecký prevádzkovatelia, ale aj schválené výcvikové organizácie (ATO) pre zabezpečenie kontinuálnej a bezpečnej prevádzky lietadiel. Medzi takéto organizácie patrí aj Letecké výcvikové a vzdelávacie centrum (LVVC), ktoré využíva vlastnú podobu softvérov pre účely údržby a riadenia zachovania letovej spôsobilosti [1].

Cieľom práce je vytvorenie návrhu softvéru, ktorý nahradí jednotlivé súčasne využívané softvéry v LVVC, za jeden ucelený softvér, ktorý optimalizuje procesy spojené s údržbou a riadením zachovania letovej spôsobilosti lietadiel. Optimalizácia sa najmä týka koordinácie a plánovania údržby lietadiel, ktorých procesy obsahujú mnoho premenných. Navrhovaný softvér slúži aj potrebám ATO, ktoré je súčasťou LVVC, nakoľko je plánovaná integrácia navrhovaného softvéru s on-line manažmentom leteckého výcviku. Tento softvér je v súčasnosti vyvíjaný pre potreby ATO na plánovanie výcvikových letov [15] [16].

Spracovanie tejto témy je podmienené predošlou prácou, ktorej predmetom bolo vytvorenie návrhu on-line manažmentu leteckého výcviku. Súčasná práca predstavuje doplnkové rozhranie k tomuto softvéru a taktiež predstavuje snahu o modernizáciu súčasne využívaných softvérov v LVVC.

Súčasťou tejto práce aj stanovenie vhodnej a dostupnej alternatívy navrhovaného softvéru, aby v prípade neočakávaných komplikácií s vývojom, alebo prevádzkou navrhovaného softvéru, bolo v zálohe dostupné riešenie.

Každá organizácia, alebo spoločnosť dbá na to, aby náklady spojené s ich činnosťou boli udržiavané na minime. Táto skutočnosť predstavuje ďalšie opodstatnenie tejto práce, nakoľko vývoj a prevádzka navrhovaného softvéru si bude vyžadovať minimálne, až žiaden finančné náklady. To je možné dosiahnuť využitím odborných kapacít Fakulty riadenia a informatiky na vývoj navrhovaného softvéru, nakoľko je súčasťou Žilinskej univerzity v Žiline rovnako, ako LVVC. Rovnakým spôsobom je v súčasnosti vyvíjaný softvér on-line manažmentu leteckého výcviku.

2. Analýza súčasného stavu

2.1. Nariadenie komisie (EU) č. 1321/2014 z 26. novembra 2014 o zachovaní letovej spôsobilosti lietadiel a výrobkov

Pre vytvorenie návrhu elektronického systému plánovania údržby, ďalej iba návrhu softvéru, sú analyzované jednotlivé oblasti tejto problematiky. Patria do nich platné nariadenia, ktoré musia byť dodržané pri údržbe a riadení zachovania letovej spôsobilosti lietadiel. Konkrétne pre organizácie registrované v členských štátoch EÚ, vykonávajúce údržbu, alebo riadenie zachovania letovej spôsobilosti lietadiel, sa riadia

legislatívnym rámcom stanoveným v nariadení komisie (EU) č. 1321/2014 z 26. novembra 2014 o zachovaní letovej spôsobilosti lietadiel a výrobkov, súčastí a zariadení leteckej techniky a o schvaľovaní organizácií a personálu zapojených do týchto činností [2].

2.2. Analýza organizácií a leteckých prevádzkovateľov využívajúcich softvéry na účely údržby a riadenia zachovania letovej spôsobilosti lietadiel

2.2.1. Letecké výcvikové a vzdelávacie centrum

Je potrebné sa oboznámiť so softvérom a s procesmi údržby a riadenia zachovania letovej spôsobilosti všeobecne v LVVC.

LVVC prevádzkuje v súčasnosti desať letúnov, ktoré sú rozdelené podľa typu v nižšie uvedenej Tabuľke 1.

Tabuľka 1 : Počet letúnov daného typu. Zdroj: Prevádzková dokumentácia LVVC.

Typ letúna	PA-34	PA-28	Z-242 L	Z-43	Z-42M	DA-42
Počet	2	2	2	2	1	1

Na všetkých letúnoch okrem DA-42 sa vykonáva údržba a riadenie zachovania letovej spôsobilosti v rámci LVVC. Údržba a riadenie zachovania letovej spôsobilosti DA-42 je vykonávaná zmluvne so súkromnou organizáciou, nakoľko ide o jediný letún tohto typu vo flotile. LVVC je iba prevádzkovateľ DA-42 a vykonáva len predletovú, medziletovú a poletovú prehliadku.

LVVC v súčasnosti využíva dva rozdielne softvéry, **prevádzka lietadiel do prehliadky a diely s obmedzenou životnosťou a zoznam osobitných inšpekcií**. Tieto softvéry sú vytvorené v Microsoft Access a Microsoft Excel. Pre účely personálu je tiež využívaný softvér Microsoft Excel na sledovanie **platnosti preukazov spôsobilosti technikov údržby lietadiel (AML), školení a kalibrácií**.

Do softvéru prevádzky lietadiel do prehliadky sa zaznamenávajú prevádzkové údaje jednotlivých lietadiel na dennej báze. Pozostáva z databázy rozdelenej podľa registračných značiek lietadiel. Obsahuje iba lietadlové celky, motor, vrtuľa a drak. Neobsahuje detailne komponenty a ich prevádzkový stav. Softvér je v podstate jednoduchý a slúži iba na sledovanie aktuálneho prevádzkového stavu lietadlových celkov, v podobe celkových nalietaných hodín a vzletov.

Softvér dielov s obmedzenou životnosťou a zoznam osobitných inšpekcií pozostáva z databázy, do ktorej sa zaznamenáva aktuálny prevádzkový stav lietadiel a ich komponentov. Obsah tohto zoznamu je stanovený na základe programu údržby jednotlivých lietadiel podľa registračnej značky. Program údržby uvádza, rozsah údržby a s ňou spojené úlohy s odvolaniami na údržbové manuály lietadiel.

V súčasnosti sa pre LVVC, konkrétne pre potreby ATO, vyvíja softvér on-line manažmentu leteckého výcviku [1]. Softvér má slúžiť na optimalizáciu a efektívnejšiu koordináciu leteckých výcvikov a plánovanie výcvikových letov. Základ softvéru predstavuje plánovací kalendár s priradenými funkciami. Dostupné funkcie závisia od typu používateľského profilu.

Softvér obsahuje štyri osoby, ktoré predstavujú štyri typy používateľských profilov:

- žiak-pilot,
- letový inštruktor,
- údržba,
- administrátor.

Plánovací kalendár obsahuje aj zoznam lietadiel s ich aktuálnym stavom, ktorý môže byť prevádzkyschopný, alebo prevádzky neschopný. Tento stav je aktualizovaný prostredníctvom osoby údržby, kde technik prostredníctvom používateľského profilu manuálne stav lietadla aktualizuje. Ak sa stav lietadla zmení na prevádzky neschopný, nie je možné lietadlo naplánovať na let.

2.2.2. Letecký útvar Ministerstva vnútra Slovenskej republiky

Letecký útvar Ministerstva vnútra Slovenskej republiky, ďalej iba Letecký útvar, predstavuje organizačnú zložku Ministerstva vnútra, ako letecký prevádzkovateľ, ktorý slúži pre účely, ako ústavným a vládny činiteľom, tak aj všetkým zložkám Ministerstva vnútra, policajnému zboru, hasičskému a záchrannému zboru a horskej záchranej službe. Prostredníctvom flotily letúnov zabezpečuje Letecký útvar leteckú dopravu osôb a nákladu. Prostredníctvom flotily vrtuľníkov sa zabezpečujú záchranné a pátracie lety, prepravu osôb a nákladu, monitorovacie a výcvikové lety.

Letecký útvar využíva dva softvéry, Leon Software a Myairops [3] [4]. Leon Software je online dostupný softvér, ktorý poskytuje široké spektrum služieb, medzi ktoré patrí manažment letových posádok, monitorovanie a spravovanie údržbových záznamov a ďalšie. Letecký útvar využíva službu manažmentu letových posádok. V rámci tejto služby je možné plánovať jednotlivé lety a údržby letúnov a vrtuľníkov a plánovanie pracovnej doby a jej limitov letových posádok. Jednotlivé naplánované činnosti v softvéri sú zobrazené v plánovacom kalendári. Do softvéru používatelia vstupujú prostredníctvom profilov, ktoré disponujú jednotlivými kompetenciami. Myairops je taktiež online dostupný softvér, ktorý má podobné portfólio služieb, ako Leon Software. Letecký útvar využíva službu CAM solution na riadenie zachovania letovej spôsobilosti svojej flotily.

2.2.3. Austrian Airlines Technik-Bratislava

Austrian Airlines Technik-Bratislava (ATB) je organizácia vykonávajúca ťažkú údržbu lietadiel. ATB využíva softvér AMOS od spoločnosti Swiss Aviation Software [5]. AMOS patrí medzi najlepšie a zároveň najdrahšie softvéry využívané na účely údržby a zachovania letovej spôsobilosti lietadiel.

2.3. Online dostupné softvéry vyhovujúce potrebám LVVC

Envision je softvér od spoločnosti Rusada, využitie nachádza v CAMO, MRO a u leteckých prevádzkovateľov [6]. Envision je globálne využívaný komplexný softvér, ktorý má široké spektrum uplatnenia v leteckom priemysle vďaka súboru modulov, ktoré poskytuje. Moduly sa dajú zakúpiť aj samostatne, avšak pri kúpe jedného modulu, alebo nedostatočného počtu daných modulov, nebude možné

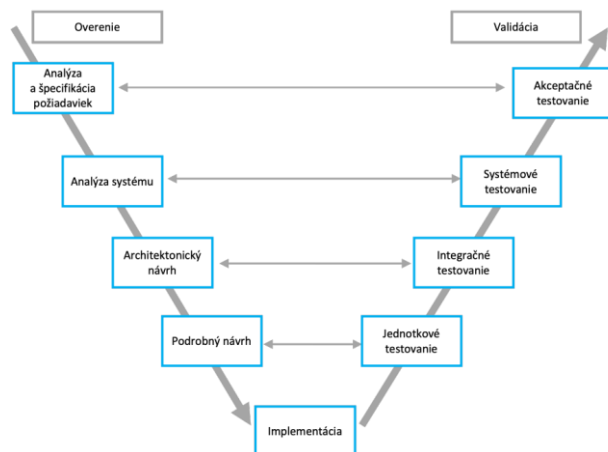
zautomatizovať určité procesy v rámci Envision. Konkrétna cenová dostupnosť Envision nie je stanovená. Odvíja sa od množstva zakúpených modulov a služieb, ktoré Envision poskytuje

Služby SAM sú zamerané na splnenie požiadaviek CAMO, MRO, leteckých prevádzkovateľov, ATO a aeroklubov. Skladá sa z modulov. Ponúka aj SAM light, čo predstavuje menšiu verziu softvéru SAM, určenú pre všeobecné letectvo, konkrétne pre letúne s váhou menšou, ako 2730 kg a vrtuľníky s váhou menšou, ako 1200 kg [7].

Flight Office je softvér od spoločnosti Air Jihlava – service s.r.o., ktorý je zameraný na potreby menších CAMO, MRO, ATO a ďalších [8]. Flight Office ponúka súbor modulov špecializovaných na podporu činností organizácií a spoločností pôsobiacich v leteckom priemysle. Vzhľadom na opakujúce sa súbory modulov jednotlivých softvérov sú stručne analyzované iba moduly, ktoré sú priamo zamerané na potreby údržby a riadenia zachovania letovej spôsobilosti lietadiel. Flight Office predstavuje dostupné riešenie pre menšie organizácie a spoločnosti v letectve.

2.4. Proces vývoja softvéru

Proces akým je vyvíjaný softvér vyjadruje viacero modelov, medzi ktoré patrí aj V-model zobrazený na Obrázku 1.



Obrázok 1: V-model životného cyklu vývoja softvéru. Zdroj: [DICK, J., HULL, E., & JACKSON, K., *Requirements Engineering*, 2017]

Zobrazuje vzťah medzi jednotlivými procesmi vývoja a príslušnými procesmi testovania softvéru [9]. Každý nasledujúci proces vo V-modeli obsahuje nižšiu mieru abstrakcie daného „problému“, ktorý rieši.

3. Ciele a metódy práce

3.1. Ciele práce

Hlavným cieľom práce je vytvoriť návrh softvéru, ktorý nahradí jednotlivé súčasne využívané softvéry v LVVC, za jeden ucelený softvér a tým zvýši efektivitu a zlepši koordináciu a plánovanie údržby, ako aj spracovanie prevádzkových záznamov lietadiel pre účely riadenia zachovania letovej spôsobilosti, ktoré sú vykonávané v rámci LVVC.

Sekundárnym cieľom práce je zvoliť vhodnú alternatívu k navrhovanému softvéru, na základe vykonanej analýzy online dostupných softvérov vyhovujúcich potrebám LVVC.

3.2. Metodika práce

Ako prvá je analyzovaná štruktúra nariadenia Komisie (EÚ) č. 1321/2014 a jeho ustanovenia, týkajúce sa vedenia záznamov údržby a zachovania letovej spôsobilosti lietadiel. Týmto je stanovené, aké záznamy musia byť uchované a zaznamenávané v navrhovanom softvéri v zmysle nariadenia.

Nasleduje analýza procesu vývoja softvéru. Tento proces je vyjadrený V-modelom na Obrázku 1. Výsledkom sú popísané fázy vývoja softvéru, ktoré sú súčasťou tvorby návrhu softvéru.

Ďalej nasleduje analýza MRO, CAO a leteckého prevádzkovateľa, ktorý využívajú softvéry v rámci svojich činností, ktoré sa sústreďujú na rôzne oblasti letectva. Vo všetkých troch prípadoch prebehol aj neštruktúrovaný rozhovor na objasnenie spôsobu využívania týchto softvérov a procesov s nimi spojenými.

Nasleduje analýza online dostupných softvérov, ktoré vyhovujú potrebám LVVC. Pre objektívny výber softvérov na analýzu, sú použité rebríčky najlepších MRO softvérov za rok 2020 na jednotlivých webových stránkach. MRO softvéry vyhovujú potrebám CAO všeobecne. Použité webové stránky sú Capterra.com, softwareadvice.com a sourceforge.net [10] [11] [12]. Z nich sú vybrané softvéry Envision a SAM, ktoré sa nachádzajú vo vrchných priečkach, a predstavujú potenciálnu alternatívu navrhovaného softvéru. Ďalším alternatívnym softvérom, ktorý vyhovuje potrebám LVVC je Flight Office. Analýza sa sústreďuje najmä na moduly a funkcie zamerané na potreby údržby a riadenia zachovania letovej spôsobilosti lietadiel a ich príslušnú cenu.

Na základe týchto informácií je tvorený návrh softvéru. Na začiatok je stanovený súbor persón, ktorý navrhovaný softvér prostredníctvom profilov môže využívať. K ním je aj vytvorený diagram prípadov použitia pre jednotlivé persóny. Ďalej je zvolená všeobecne zaužívaná štruktúra, ktorá kategorizuje jednotlivé tematické celky do modulov. Následne sú k jednotlivým modulom priradené funkcie na základe analyzovaných procesov prebiehajúcich v LVVC a v ostatných. Ďalej sú funkcie prispôbené tak, aby bola zabezpečená komunikácia medzi jednotlivými modulmi. Na základe toho sú niektoré procesy v rámci navrhovaného softvéru plne automatické, ako napríklad plánovanie pravidelnej údržby. Stanovený je súbor úkonov, ktorý môžu persóny v rámci jednotlivých modulov vykonať.

V tomto bode sú procesy a funkcie modulov definované spolu so súborom možných úkonov jednotlivých persón a tvoria jeden celok. Vzhľadom na to, že niektoré procesy, najmä procesy plánovania údržby sú komplexné, sú vytvorené diagramy aktivít, ktoré zobrazujú tieto procesy pre ich jednoduchšiu interpretáciu. Rovnako tak, je zobrazený aj stavový diagram entity lietadla, ktorý zobrazuje jednotlivé stavy, v ktorých sa lietadlo v rámci údržby, alebo mimo nej môže nachádzať.

Vytvorený návrh softvéru je zhodnotený voči analyzovaným a súčasne využívaným softvérom v LVVC a dostupným online softvérom prostredníctvom ich porovnania. Taktiež je zvolená

alternatíva navrhnutého softvéru na základe porovnania dostupných online softvérov.

4. Návrh softvéru

Táto časť predstavuje návrh softvéru, ktorý opisuje jeho štruktúru a procesy. Návrh softvéru abstrahuje od použitia konkrétnych technológií, ako je programovací jazyk, dizajn navrhovaného softvéru, komunikácia komponentov klient a server. Navrhovaný softvér pozostáva zo šiestich modulov :

- plánovanie údržby,
- flotila,
- sklad,
- personál,
- dokumenty.

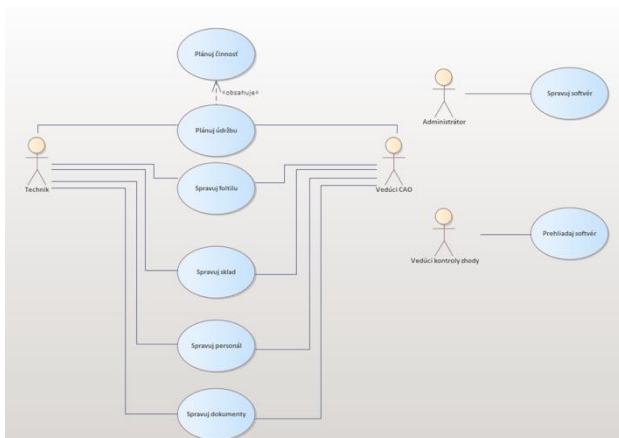
Najkomplexnejšie procesy navrhovaného softvéru prebiehajú v module plánovania údržby, nakoľko na to využíva zdieľané dáta zo všetkých ostatných modulov. Tvorba diagramov aktivít nemá opodstatnenie pri jednoduchých procesoch, nakoľko je postačujúci ich opis. Z toho dôvodu modul plánovania údržby disponuje, ako jediný s diagramami aktivít a stavovým diagramom.

Analýzovaný softvér on-line manažmentu leteckého výcviku poskytuje možnosť integrácie s navrhovaným softvérom na základe ktorej, sa zdieľa aktuálny prevádzkový stav flotily prostredníctvom modulu plánovania údržby.

Navrhovaný softvér obsahuje štyri typy persón:

- vedúci CAO,
- technik,
- administrátor,
- vedúci kontroly zhody.

Na Obrázku 2 sú zobrazené jednotlivé persóny navrhovaného softvéru, a k nim priradené aktivity, ktoré môžu vykonávať.



Obrázok 2: Prípady použitia navrhovaného softvéru. Zdroj: Autori.

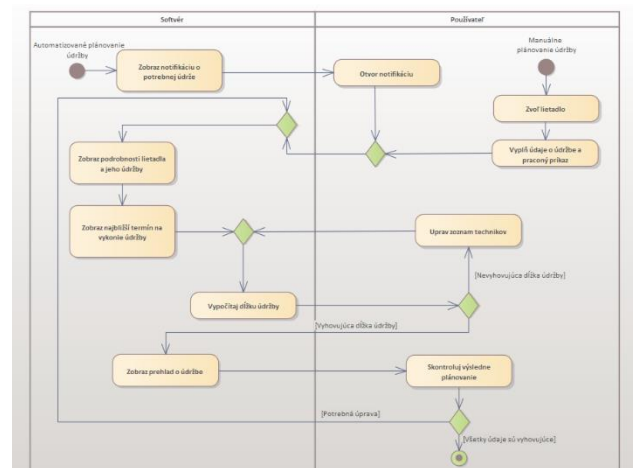
4.1. Plánovanie údržby

Modul plánovania údržby obsahuje kalendár s funkciami plánovania údržba a činnosti. Do kalendára je možné naplánovať rôzne udalosti, ako sú napríklad školenia, audity a podobne.

Služi však najmä na plánovanie činností technikov, iných ako údržba lietadiel. Udalosť, alebo činnosť je v kalendári zobrazená, ako farebné pole s jej názvom. Rozdiel medzi funkciou plánovania údržby a činnosti je ten, že plánovanie údržby pozostáva z komplexu viacerých procesov, pričom plánovanie činnosti slúži len na rezervovanie osobohodín technika v danom čase pre konkrétnu činnosť.

Funkcia lietadlá do údržby predstavuje osobitný celok používateľského rozhrania modulu. Funkcia pozostáva z dvoch zoznamov, ktoré sledujú stav lietadiel. Jeden zoznam obsahuje prevádzkyschopné lietadlá, sleduje ich blížiaci sa údržby. Druhý zoznam obsahuje lietadlá ktoré sú prevádzky neschopné. To znamená, že lietadlo čaká na údržbu, je v údržbe, alebo je údržba vykonaná, ale lietadlo nie je ešte uvoľnené do prevádzky na základe CRS.

Funkcia plánovania údržby neslúži len na plánovanie, ale aj na koordináciu. V kalendári je možné editovať prebiehajúcu údržbu podľa potreby. S plánovaním údržby je spojených mnoho procesov zobrazených na Obrázku 3.



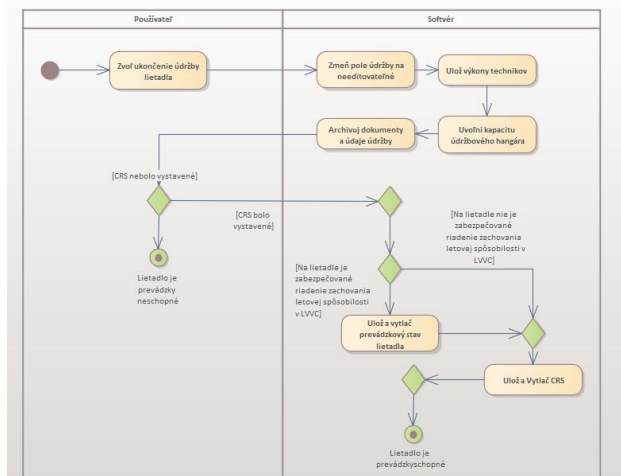
Obrázok 3: Diagram aktivít plánovania údržby lietadiel. Zdroj: Autori.

Naplánovať údržbu je možné dvoma spôsobmi. Prvý spôsob je manuálny, rovnaký ako pri plánovaní udalosti. Zadá sa registračná značka lietadla, typ údržby a priradí sa požadovaný počet technikov, podľa vyžadovaných spôsobilostí. Pri zadaní pravidelnej údržby sa zvolí napríklad 50 H, 100 H. Doba údržby je automaticky určená spolu s priradenými pracovnými kartami príslušnej údržby. Následne sa vyberie čas zahájenia údržby. Pri mimoriadnej údržbe lietadla sa uvádza, údržba spojená s identifikovaním a odstránením poruchy a ďalej sa stanoví približná doba údržby a čas zahájenia údržby. Podľa potreby sa uvedú poznámky a následne sa naplánovaná údržba potvrdí a zobrazí v kalendári.

Druhý spôsob plánovania je viac zautomatizovaný, avšak funguje iba na pravidelné a špeciálne údržby. Tento spôsob využíva funkciu lietadlá do údržby. Na základe farebného kódovania poľa registračnej značky a jeho poradia v zozname, sa označí požadované pole. Otvorí sa nové okno rovnaké, ako pri prvom spôsobe plánovania údržby. V tomto prípade, sú polia registračná značka, typ údržby a pracovné karty automaticky vyplnené a priradené. Následne sa priradia technici k danej údržbe a automaticky sa stanoví jej doba. Manuálne sa vyplní príkaz na vykonanie údržby a vytlačí. Ďalej sa zadá čas začiatku

údržby a popri prípade sa uvedú potrebné poznámky. Po potvrdení sa naplánovaná údržba zobrazí v kalendári.

Na ukončenie údržby je potrebné označiť danú údržbu v kalendári. Následne sa zobrazí nové okno, v ktorom sa potvrdí jej ukončenie. Údržbu je možné ukončiť v predstihu, ale aj s omeškaním. Ak by údržba trvala dlhšie, ako bolo plánované, funkcia bude ďalej posúvať dobu údržby, až dokým sa nepotvrdí jej ukončenie. Obrázok 6 znázorňuje procesy, ktoré prebiehajú po potvrdení ukončenia údržby.



Obrázok 4: Diagram aktivít ukončenia údržby lietadla. Zdroj: Autori.

Tieto procesy vykonáva funkcia automaticky. V kalendári sa uchová údržba v podobe, v akej bola ukončená, to znamená že sa už ďalej nedá editovať, iba prehliadať. Technikom sa do funkcie výkony zapíše počet osobohodín odpracovaných na danej údržbe spolu s príslušnými informáciami. Uvoľní sa kapacita údržbového hangáru. Po potvrdení sa zobrazí okno s možnosťami vystavenia, alebo nevystavenia CRS.

4.2. Flotila

Modul slúži na sledovanie a zaznamenávanie aktuálneho prevádzkového stavu lietadiel pre účely riadenia zachovania letovej spôsobilosti.

Denná prevádzka lietadiel je inšpirovaná na základe využívanej funkcie softvéru v LVVC, prevádzka lietadiel do prehliadky. Obsahuje elektronickú formu lietadlovej, vrtuľovej a motorovej knihy a predstavuje zálohu ich knižnej formy. Prevádzkový stav lietadiel je funkcia, ktorej základom je využívaný softvér, diely s obmedzenou životnosťou a zoznam osobitných inšpekcií v LVVC. Funkcia prevádzkový stav lietadiel je dizajnovo a funkčne takmer rovnaká, ako v jeho aktuálne využívaná podoba. Zaradenie lietadla do prevádzky pomocou tejto funkcia sa nové lietadlo v prevádzke zaeviduje do navrhovaného systému. Vyradenie lietadla z prevádzky pomocou tejto funkcia sa nové lietadlo v prevádzke zaeviduje do navrhovaného softvéru. funkcia obsahuje aj archív vyradených lietadiel, kde je možné prehliadať dokumenty a databázy rovnako, ako u lietadiel v prevádzke.

4.3. Sklad

Modul slúži na sledovanie, kontrolu a spravovanie komponentov potrebných na údržbu lietadiel.

Funkcia sklad komponentov obsahuje tri databázy, ktoré predstavujú dve elektronické skladové karty komponentov a jednu evidenčnú elektronickú kartu komponentov. Prvá skladová karta je určená pre prevádzkyschopné komponenty, druhá pre prevádzky neschopné, opraviteľné komponenty. Evidenčná elektronická karta komponentov slúži na evidovanie nainštalovaných komponentov v jednotlivých lietadlách. Funkcia objednávania komponentov pozostáva z troch zoznamov, objednávok, objednaných komponentov a doručených komponentov. Slúžia na zobrazenie toku komponentov mimo CAO.

4.4. Personál

Modul personál obsahuje funkcie profilov používateľov navrhovaného softvéru. Profil vedúceho CAO a technikou sú obsahovo rovnaké, líšia sa iba kompetenciami a úkonmi, ktoré môžu byť prostredníctvom profilov vykonané.

Funkcia platnosti AML, školení a kalibrácií predstavuje súčasne využívanú tabuľku v programe Microsoft Excel s rovnakým názvom v LVVC. Vlastnosti a formát sú v tejto funkcii rovnaké. Do funkcie sú pridané typové kvalifikácie, ktorými technik disponuje. Používateľ si môže podľa potreby obsah funkcie editovať a zapisovať. Funkcia výkonov automaticky zapisuje počet osobohodín technika, vynaložených na jednotlivé činnosti a údržby lietadiel. Počet osobohodín vynaložených na údržbu sa zapíše potvrdením ukončenia údržby. S osobohodinami sa zapisujú aj údaje údržby, alebo činnosti, ktorú technik vykonával.

4.5. Dokumenty

Modul slúži, ako úložisko a archív dokumentov spojených s riadením zachovania letovej spôsobilosti a údržbou lietadiel. Sústreďuje rôzne dokumenty na jednom mieste. Obsahuje funkciu dokumentov lietadiel a tlačivá.

5. Zhodnotenie návrhu softvérov

Je nutné povedať, že prínos je vnímaný v teoretickej rovine, keďže návrh softvéru je len prvý krok vo vývoji samotného softvéru.

Navrhovaný softvér si vyžaduje minimálne, až žiadne finančné náklady pre LVVC, vďaka možnému využitiu odborných kapacít Fakulty riadenia a informatiky, ktorá je súčasťou Žilinskej univerzity v Žiline, rovnako ako LVVC. Navrhovaný softvér poskytuje integráciu so softvérom **on-line manažmentu leteckého výcviku**, ktorý je v súčasnosti vyvíjaný študentom Fakulty riadenia a informatiky. Moduly navrhovaného softvéru predstavujú možné vylepšenie jednotlivých oblastí súčasne využívaných softvérov v LVVC.

6. Alternatíva navrhovaného softvéru

Vzhľadom na komplexný a zdĺhavý proces vývoja softvéru je namieste stanoviť dostupnú alternatívu, ktorú je možné zvoliť, ak by došlo k neočakávaným závažným komplikáciám vo vývoji alebo v samotnej prevádzke softvéru. Zo súboru analyzovaných softvérov vyplýva, že obsahovo a štruktúrne sú tieto softvéry veľmi podobné. Všetky spĺňajú minimálne funkčné požiadavky na ich zaradenie do prevádzky v LVVC. Najväčšie rozdiely predstavujú finančné náklady na prevádzku týchto softvérov.

V prípade softvéru Envision, vzhľadom na globálne portfólio zákazníkov, je možné konštatovať relatívne vysoké finančné náklady na prevádzku, pretože je softvér vytvorený najmä pre potreby MRO, ktoré sú v mnohých prípadoch veľké organizácie. Vzhľadom na absenciu cenovej relácie softvéru Envision, na stanovenie vhodnej alternatívy sú na záver brané do úvahy zvyšné dva softvéry. Vhodným alternatívnym softvérom je Flight Office, pretože spĺňa minimálne požiadavky a je cenovo dostupnejší, ako softvér SAM.

PodĎakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky KEGA 048ŽU-4/2020 s názvom "Zvyšovanie kľúčových kompetencií v oblasti technológie údržby lietadiel prostredníctvom transferu progresívnych metód do vzdelávacieho procesu".

7. Záver

Cieľom práce bolo vytvoriť návrh softvéru, ktorý by združil súčasne využívané softvéry v LVVC do jedného celku a tým optimalizoval procesy spojené s plánovaním a koordinovaním údržby lietadiel a optimalizoval spracovanie prevádzkových záznamov lietadiel pre účely riadenia zachovania letovej spôsobilosti. Analýza príspevkov [13] a [14] potvrdila opodstatnenie tejto práce.

Návrh softvéru sa podarilo vytvoriť na základe nadobudnutých poznatkov z jednotlivých organizácií a leteckých prevádzkovateľov, ktorý takéto softvéry využívajú. Prostredníctvom analýzy a neštruktúrovaného rozhovoru sa objasnili štruktúra softvérov, procesy s nimi spojené a spôsoby akými sa využívajú v rámci jednotlivých oblastí letectva. Navrhnutý softvér pozostáva z modulárnej štruktúry, ktorá prehľadne kategorizuje jednotlivé tematické celky spojené s údržbou a riadením zachovania letovej spôsobilosti. Jednotlivé moduly medzi sebou komunikujú prostredníctvom ich funkcií, vďaka čomu sa optimalizujú procesy, ako napríklad správa skladu komponentov, plánovanie údržby lietadiel a ďalšie. Jednou z oblastí optimalizácie je aj možná budúca integrácia navrhovaného softvéru so softvérom on-line manažmentom leteckého výcviku, ktorý je v súčasnosti vyvíjaný pre LVVC, konkrétne pre ATO. Integrácia by umožnila zdieľanie prevádzkového stavu flotily. Takto by bola zabezpečená automatická aktualizácia dostupnosti lietadiel v plánovacom kalendári v softvéri on-line manažmentu leteckého výcviku, na základe čoho, by mali žiaci a letový inštruktori aktuálny prehľad o dostupných lietadlách, ktorých let je možné naplánovať.

Predmetom ďalšej práce by mal byť štatistický výskum, ktorý určí priemerný počet osobohodín potrebných na vykonanie jednotlivých údržieb. Tieto hodnoty sú dôležité pre správnu funkciu plánovania údržby v navrhovanom softvéri. Návrh softvéru bude poskytovať softvérovým vývojárom základnú predstavu o požadovanej štruktúre a funkčnosti softvéru. V prípade samotného vývoja softvéru, nasleduje tvorba architektonického návrhu z nadobudnutých informácií, obsiahnutých v návrhu softvéru. Technológie v ňom zvolené určujú smer, ktorým vývoj softvéru bude napredovať. Ako príklad predmetu architektonického návrhu je možné uviesť proces uloženia údajov lietadla, v ktorom návrh špecifikuje formát a spôsob uloženia údajov a podmienky ich uloženia. Ďalej

z jednotlivých prípadov použitia navrhovaného softvéru bude potrebné vytvoriť detailnejšie návrhy. Napríklad k prípadu použitia „spravuj sklad“ je potrebné vytvoriť procesy nižšej úrovne, ako „ulož údaje komponentov“, „vymaž komponent“ a podobne. Napredujúci vývoj bude pozostávať z prechodu abstraktných procesov a problémov do konkrétnych. Súčasťou budú aj testovania softvéru, medzi ktoré bude patriť aj akceptačné testovanie, aby bolo možné overiť, či požiadavky na tento softvér boli splnené.

Referencie

- [1] MIKULEC, D. 2019. Návrh on-line manažmentu leteckého výcviku v podmienkach ATO [Bakalárska práca]. Žilinská univerzita v Žiline. [online]. Dostupné na internete: <http://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioForm&sid=0355D02574495B28018FD3DEC12B&seo=CRZP-detail-kniha> (citované Nov.24, 2020)
- [2] Nariadenie komisie (EU) č. 1321/2014 [online]. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX:02014R1321-20200324> (citované Nov. 25, 2020)
- [3] Leon software [online]. Dostupné na internete: <https://www.leonsoftware.com> (citované Feb. 6, 2021)
- [4] Myair ops software [online]. Dostupné na internete: <https://myairops.com/products/myairops-flight/> (citované Feb. 6, 2021)
- [5] Swiss AS, AMOS software [online]. Dostupné na internete: <https://www.swiss-as.com> (citované Feb. 7,2021)
- [6] RUSADA, Envision softvér [online]. Dostupné na internete: <https://www.rusada.com> (citované Mar. 1, 2021)
- [7] SAM light softvér [online]. Dostupné na internete: <https://asasoftware.aero/sam-light/> (citované Mar. 19, 2021)
- [8] Flight Office [online]. Dostupné na internete: <https://www.airjihlava.cz/flight-office/popis-programu-navody-napoveda> (citované Mar. 27, 2021)
- [9] DICK, J., HULL, E., & JACKSON, K., Requirements Engineering, 2017. (citované Apr. 6, 2021)
- [10] Capterra.com [online]. Dostupné na internete: <https://www.capterra.com/aviation-maintenance-software/> (citované Feb. 11, 2021)
- [11] Softwareadvice.com [online]. Dostupné na internete: <https://www.softwareadvice.com/cmms/aviation-maintenance-comparison/> (citované Feb. 11, 2021)
- [12] Sourceforge.net [online]. Dostupné na internete: <https://sourceforge.net/software/aviation-maintenance/> (citované Feb. 11, 2021)
- [13] HRÚZ, M. a kol. 2020. Innovative changes in maintenance strategies of ATO's aircraft based on their operational status. In: INAIR 2020 - CHALLENGES OF AVIATION DEVELOPMENT [electronic] : 9th International Conference on Air Transport. - ISSN 2352-1457. - 1. vyd. - Amsterdam: Elsevier, 2020. - s. 261-270

- [14] BUGAJ, M., PECHO, P. a ROSTÁŠ, J. 2017. Úloha analýzy spoľahlivosti lietadlových celkov pri stanovovaní subprocesov údržby riadenej spoľahlivosťou In: Aero-Journal : international scientific journal of air transport industry. - ISSN 1338-8215. - Č. 1, s. 12-17.
- [15] Novák, A., 2014. Využitie bezpilotných lietadiel na letecké práce, In: Aero-Journal : international scientific journal of air transport industry,ISSN 1338-8215. vol. 1, 2014, s. 25-28.
- [16] NOVÁK, A., NOVÁK SEDLACKOVÁ, A., KANDERA, B. and LUSIAK, T., 2020. Flight inspection with unmanned aircraft, Transport Means - Proceedings of the International Conference 2020, pp. 589-593.

UTILISATION OF ADVANCED AVIONICS SYSTEMS IN BASIC FLIGHT TRAINING

VYUŽITIE PROGRESÍVNYCH AVIONICKÝCH SYSTÉMOV V ZÁKLADNOM LETECKOM VÝCVIKU

Jozef Novák
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
novak61@stud.uniza.sk

Branislav Kandra
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
kandra@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper deals with the use of advanced avionics systems in basic flight training. From the point of view of aviation history, this issue is relatively new, because for many decades only aircraft with analog instruments have been used for training. From the content point of view, the paper can be divided into two significant parts. The first, theoretical part describes the knowledge of the issue. In 2019, two new Zlín Z-242 aircraft equipped with the Garmin G500 TXi glass cockpit were added to the fleet of the Air Training and Education Centre (LVVC). Therefore in the second, practical part we conducted a survey among instructors and students of LVVC on the issue discussed and their experience of training on this aircraft. In addition, we looked at how to effectively train pilots when using training aircraft with advanced avionics systems. Completion of the practical part of the paper was the creation of multimedia learning material, which should help novice pilots prepare for the use of basic features of Garmin G500 TXi and acquaint them with knowledge that will help especially the first flight hours to be more efficient as they begin the training on new aircraft.

Keywords

advanced avionics, flight training, glass cockpit, garmin g500 txi, pilot, multimedia learning material

1. Úvod

Inovácie a nové technológie sú mechanizmy, ktoré neustále dynamicky menia letecký priemysel. Kedysi sa letecký výcvik realizoval na lietadlách s analógovými prístrojmi. V súčasnosti technologický pokrok umožňuje, aby digitálne prístroje, charakteristické skôr pre dopravné lietadlá, vstúpili aj do základného výcvikového prostredia. Takzvané glasskokpity výcvikových lietadiel prinášajú študentom nové štandardy, odlišné od tých v analógových kokpitoch. Sú tvorené systémami, ktoré v jednoduchšej forme replikujú systémy dopravných lietadiel a tak majú potenciál pripraviť začínajúcich pilotov na zariadenia, ktoré ich čakajú v profesionálnej kariére.

Problematika sa veľmi aktuálne dotýka aj Leteckého výcvikového a vzdelávacieho centra, keďže nedávno nakúpilo dve výcvikové lietadlá Zlín Z-242 vybavené glasskokpitom. Impulzom pre spracovanie tematiky bolo aj to, že je relatívne nová, do hĺbky zatiaľ nepreskúmaná a v oblasti výcviku je problémom nedostatok štandardizácie.

V úvodnej, teoretickej časti diplomovej práce prinášame sumár poznatkov ohľadom riešenej problematiky, kde mnoho informácií môže byť užitočných pre výcvikové centrá, ktoré plánujú kúpiť moderne vybavené lietadlá, alebo ktoré už tak učinili. V praktickej časti práce sa v prvom rade snažíme preskúmať názory inštruktorov a študentov LVVC na riešenu problematiku a na skúsenosti so zavedením lietadla Zlín Z-242 do výcviku. V ďalšej kapitole praktickej časti sa pokúšame spísať nástroje a postup na efektívne vzdelávanie pilotov pri využití

progresívnych avionických systémov. Uvádžame tu aj jeden projekt zo Spojených štátov amerických o zaujímavom inovatívnom prístupe k výcviku na glasskokpitových lietadlách, ktorý sa zdá byť na prípravu pilotov lepší, efektívnejší, rýchlejší a dokonca lacnejší. Mal by podnietiť inštitúcie a osoby zodpovedné za výcvik pilotov na premýšľanie, ako efektívne cvičiť budúcich pilotov pri využití lietadiel s progresívnou avionikou. Praktickú časť uzatvára vytvorenie multimediálneho výučbového materiálu, ktorý by mal pomôcť predovšetkým začínajúcim pilotom naučiť sa pracovať s Garminom G500 TXi a získať tak užitočné vedomosti pre začiatok ich výcviku na lietadle Zlín Z-242.

2. Teoretické poznatky riešenej problematiky

Glasskokpity si postupne nachádzajú cestu do výcvikového prostredia. V súčasnosti už mnoho študentov absolvuje základný výcvik na lietadlách vybavených technologicky vylepšenými prístrojmi. Výučba na glasskokpitoch spája v sebe možnosť praktizovať široké spektrum prevádzkových zručností.

1. správa informácií – dôležité informácie sú vždy poruke,
2. prispôsobenie – pilot si môže nastaviť, ktoré informácie chce zobrazíť,
3. situačné povedomie – prehľad o priebehu letu a okolitom prostredí je značne vylepšený,
4. automatizácia – viac systémov je riadených prostredníctvom jedného rozhrania, čo zjednodušuje prevádzku,

5. riadenie rizík – vylepšené situačné povedomie a automatizačné schopnosti zlepšujú bezpečnosť. [1]

Výskumy týkajúce sa stavu výučby progresívnych avionických technológií v rámci vysokoškolského letectva prichádzajú s nepresvedčivými výsledkami. Aj keď niektoré štúdie naznačili, že takáto výučba sa rozmáha, iná štúdia zistila, že až 73 % pilotov zo skúmanej vzorky stále absolvuje výcvik s použitím analógových prístrojov. Výsledky výskumu Jonathana Velázqueza naznačujú zvýšenie úrovne výučby v oblasti progresívnej avioniky. Analýzou výučbových programov akreditovaných univerzít a výcvikových centier preukázal, že až 90 % programov vykazuje jasné dôkazy buď o používaní lietadiel s takouto avionikou, alebo že existuje aspoň špecifický teoretický a praktický výcvik v oblasti pokročilých avionických technológií. Tieto závery podporujú tvrdenie, že letecké výcvikové programy prechádzajú požadovanou technologickou zmenou. [2] [4] [5] [6]

3. Metodika práce a metódy skúmania

Po priblížení teoretických poznatkov čitateľovi sme sa na problematiku chceli pozrieť z pohľadu inštruktorov a študentov LVVC. Na to sme využili formu dotazníka, pričom boli vypracované dve verzie, jedna určená pre inštruktorov a druhá pre študentov, ktorí už leteli na analógových lietadlách (Zlín Z-42, Z-142, Z-43) a stihli absolvovať aspoň jeden let aj na lietadle Zlín Z-242 pred pozastavením výcviku z dôvodu pandémie Covid-19. Obe obsahovali 15 otázok a možnosti výberu pre kvantitatívne dáta, ktoré boli miestami doplnené o otvorené otázky pre doplnenie kvalitatívnych dát.

Vzhľadom na okolnosti boli dotazníky distribuované prostredníctvom internetu vo forme e-mailových správ, alebo cez sociálne siete. Takýto druh prieskumu vždy so sebou prináša riziko čo sa týka nevyplnenia dotazníka zo strany adresáta. Larson a Poist navrhujú niekoľko stimulov na zvýšenie miery odozvy. Patria sem predovšetkým predbežné ohlásenie prieskumu príjemcom, personalizácia e-mailov s dotazníkom, peňažné stimuly a pravidelné pripomínanie sa adresátom. V našom prieskume sme využili len pravidelné pripomínanie sa adresátom.

Čo sa týka prieskumu z pohľadu inštruktorov, vzhľadom na zlepšujúcu sa pandemickú situáciu sa nám podarilo zrealizovať interview s inštruktormi v priestoroch výcvikového centra na letisku v Dolnom Hričove. Z toho dôvodu sme v ich prípade od pôvodného zámeru vyplniť dotazník upustili a dotazník poslúžil ako podklad na smerovanie a rozvíjanie rozhovoru. Poznatky a postrehy, ktoré vzišli z tejto komunikácie, prinášame v nasledujúcej kapitole vo forme slovného vyhodnotenia.

Čo sa týka študentov, prostredníctvom internetu bolo oslovených všetkých 10 relevantných pilotov a vyplnený dotazník sa vrátil od každého z nich, návratnosť bola teda 100 %. Pri vyhodnocovaní dát sme využili najmä vedecké metódy analýzy, syntézy a komparácie, ktoré boli doplnené matematickým vyhodnotením.

4. Analýza avionických systémov využívaných v lietadlách Žilinskej univerzity v Žiline

4.1. Dotazník – inštruktori

Diskusiu s inštruktormi považujeme za prínosnú, pretože sa nám podarilo vypočuť si rôzne pohľady na problematiku rozoberanú v tejto diplomovej práci.

Hneď v úvode sme si potvrdili, že celosvetový trend postupnej obmeny flotíl z analógových na glasskokpitové výcvikové lietadlá sa deje aj v prípade LVVC. Všetci inštruktori sa zhodli na vhodnosti zavedenia glasskokpitu do prostredia základného výcviku. Trend vývoja avioniky smeruje ku glasskokpitu a vďaka nim vedia inštruktori lepšie pripraviť pilotov vo výcviku na reálnu prax. Uviedli, že výrobcovia smerujú ku glasskokpitu aj z ekonomických a certifikačných dôvodov. Zároveň však zaznela pripomienka, aby v začiatkoch bol výcvik delený. Ak pilot začne výcvik na lietadlách s analógovými prístrojmi, mal by aspoň celú úvodnú fázu vrátane sólo letu odlietať na nich pred tým, než začne lietať aj na glasskokpitu. Platí to aj opačne. Nie je vhodné, aby sa v začiatkoch výcviku rýchlo striedali lietadlá s rôznymi filozofiami kokpitu. Postupne sa pravdepodobne bude rozlišovať, prípadne uvádzať v rozličných dokumentoch aj to, na akom výcvikovom lietadle pilot vykonával výcvik (analógové alebo glasskokpit).

Finančná stránka nových technológií je už v takom stave, že glasskokpit je pre leteckú školu lacnejšia voľba v porovnaní s analógovými prístrojmi. Zaujímavá bola poznámka inštruktorov, že samotné zariadenia sú relatívne lacné a výrazné náklady, s ktorými treba uvažovať, predstavuje najmä pravidelné aktualizovanie databáz týchto zariadení. Výhodou glasskokpitu je aj možnosť relatívne jednoduchého integrovania nových systémov či technológií.

Inštruktori poukázali na to, že v súvislosti so zavedením glasskokpitu do výcvikového prostredia sa osnova ako taká, respektíve jej praktická časť, nezmenila. Čo sa zmenilo je prístup k teórii avioniky a jej obsluhu. Pred prvými letmi sa na prípravu pilotov využíva triedna výučba a výcvik na počítačovom či tabletovom simulátore daného zariadenia. V blízkej budúcnosti sa možno vytvoria požiadavky čo sa týka časovej prípravy potrebnej na výcvik pre jednotlivé systémy Garmin vo výcvikových lietadlách, po ktorej bude nasledovať praktické preskúšanie vo forme demonštrácie práce so systémom napríklad na simulátore na tablete.

V súvislosti s možnosťou preťaženia/rozptýlenia pilota množstvom údajov na displejoch zazneli dva pohľady. Na jednej strane môže byť táto skutočnosť hlavne v začiatkoch výcviku kontraproduktívna, na druhej strane je však úlohou inštruktora správne usmerňovať pilota ohľadom takýchto záležitostí. V diskusii s inštruktormi odznelo, že zrak pilota vo výcviku má pri využití glasskokpitu tendenciu zotrvať na prístrojoch dlhšiu dobu. Opticky je totiž vhodnejšie spracovať informácie z analógových prístrojov, ktoré poskytujú zväčša jasnú informáciu, kdežto u glasskokpitu sa mení vnímanie a prezentácia napríklad rýchloameru. Tu sa nehýbe ručička, ale samotné číslo reprezentujúce rýchlosť a spracovanie takejto informácie si vyžaduje viac času.

Inštruktori spomenuli problematiku moderných zariadení na palube a ich zvädzajúci vplyv na pilotov vo výcviku k uľahčovaniu si výcviku rôznymi spôsobmi. Za spomenutie stojí napríklad slabý

zemepis pilotov vo vzťahu k výcviku tradičnej porovnávacej navigácie alebo to, že mnohé údaje museli piloti analógových lietadiel spracovávať vo svojej pamäti, no v súčasnosti systémy umožňujú spracovanie týchto údajov počítačom a pilotovi je prezentovaná konečná informácia. Mentálne zahrnutie do priebehu letu je teda na nižšej úrovni. Z toho dôvodu inštruktori považujú za dôležité simulovať poruchy displejov, aby sa nezabúdalo ani na zálohu pomocou analógových prístrojov.

Inštruktori uviedli, že technologicky pokročilé výcvikové lietadlá vzbudzujú v začínajúcich pilotoch väčšie spoliehanie sa na systémy ako sami na seba, pretože často automaticky očakávajú, že sofistikované zariadenia v takýchto lietadlách ich „ochránia“ v prípade potreby. Jeden inštruktor ponúkol iný pohľad, a to taký, že ak piloti zariadeniam v začiatkoch výcviku ešte dobre nerozumejú, má to opačný efekt v zmysle, že sa piloti spoliehajú viac na seba ako na systémy. Zhodli sa na tom, že piloti vo výcviku sa často nadmerne spoliehajú na systémy a nemajú prehľad o situácii, čo môžeme považovať za rizikové správanie. Preto je príprava pilotov celá o metodike a správnych prístupoch, pričom kľúčová je samotná kultúra výcviku.

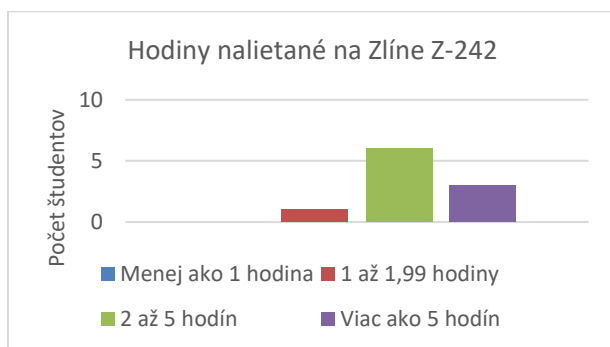
Ďalej nás zaujímalo, či by sa v súvislosti s výcvikom na lietadlách s glasskokpitom mal klásť väčší dôraz na pilotné zručnosti ako rozhodovanie, kritické myslenie či manažment systémov. V odpovediach boli inštruktori konzistentní a odpovedali kladne. Uvedli, že pilot nevie spracovať tak vysoké množstvo informácií, aké je dostupné vďaka novým systémom a takýmto spôsobom trénuje zručnosti, ktoré sú blízke pilotom dopravných lietadiel.

Ku koncu diskusie sme sa inštruktorov pýtali, či výcvik na lietadlách s glasskokpitom poskytuje študentom relevantnejšie vedomosti pre profesionálnu kariéru pilota. Odpoveď bola áno, pričom relevantnosť sa dá pozorovať v podobnej filozofii zobrazenia informácií ako pri komerčnej prevádzke a celkovo vo familiárnom prostredí.

4.2. Dotazník – študenti

4.2.1. Otázka číslo 1

V prvej otázke sme zisťovali, koľko hodín mali jednotliví študenti nalietané na nových výcvikových lietadlách Zlín Z-242.



Graf 1: Hodiny nalietané na Zlíne Z-242. Zdroj: Autori.

4.2.2. Otázka číslo 2

Cieľom tejto otázky bolo zistiť veľmi podstatnú skutočnosť – či študenti pred začiatkom výcviku na tomto lietadle dostali

inštruktáž čo sa týka práce so systémom Garmin G500 TXi na palube.

Musíme konštatovať, že výsledky nás spočiatku zaskočili a znepokojili. Ako je možné, že s rozdielom len jedného študenta takmer polovica nedostala inštruktáž? Aby sme našli odpoveď, dodatočne sme sa obrátili na štyroch študentov, ktorí na túto dotazníkovú otázku odpovedali negatívne s otázkou, aby nám danú skutočnosť objasnili. Výsledkom bolo zistenie, že v ich prípade sa jednalo o úlohu skupinovej zlietanosti, kde cieľom úlohy boli skutočnosti, ktoré si nevyžadovali detailnejšie školenie ohľadom Garminu.

4.2.3. Otázka číslo 3

V otázke číslo 3 sme u študentov, ktorí odpovedali na predchádzajúcu otázku číslo 2 kladne, zisťovali, či boli spokojní s prípravou pre systém Garmin.

Z údajov vyplýva, že s prípravou boli spokojní všetci okrem jedného pilota vo výcviku. Ten ako dôvod nespokojnosti uviedol, že jeho príprava bola realizovaná veľmi narychlo v lietadle pred odletom, ale zároveň to bolo adekvátne času, ktorý mal v lietadle stráviť.

4.2.4. Otázka číslo 4

Otázka sa zaoberala detailnejším doplnením otázky číslo 2. Tu sme sa študentov s odpoveďou „Áno“ v otázke 2 pýtali, či sa po školení o Garminu cítili byť pripravení na používanie jeho displejov.

66 % študentov cítilo dobrú pripravenosť. 33 % poznamenalo, že mali pred letom chaos v tom, čo a ako robiť, avšak inštruktori im mnohé prvky v priebehu letu viac ozrejmili.

4.2.5. Otázka číslo 5

Mali študenti možnosť prakticky si vyskúšať prácu so systémom Garmin G500 TXi ešte pred začatím lietania? Toto nás zaujímalo v otázke číslo 5.

Vyše polovica respondentov z radov študentov nemala možnosť prakticky si vyskúšať prácu s displejmi. Pritom praktické precvičovanie je pre prácu s takýmito systémami mimoriadne dôležité. Preto sme sa v kapitole 5.1 pozreli na možnosti, ako by si vedeli študenti vyskúšať prácu so systémom mimo lietadla ešte pred začiatkom praktického výcviku.

4.2.6. Otázka číslo 6

Tu sme zisťovali, či študenti po začatí lietania na Zlíne Z-242 spozorovali nejaké problémy čo sa týka ich interakcie s displejmi.

Značná väčšina uviedla, že pri práci s displejmi nespozorovali významné problémy. Dvaja študenti však naznačili ako problematickú oblasť promptné identifikovanie rýchlosti. Obaja títo piloti patrili medzi tých, ktorí nedostali detailnejšiu inštruktáž a nemali možnosť prakticky si vyskúšať prácu s displejmi. Jeden z nich uviedol aj vkladanie údajov stláčaním prvkov na displeji ako problematické, obzvlášť počas letu v turbulentných podmienkach, kedy si musel oprieť ruku, aby vedel zadať správne čísla pri nastavovaní hodnoty barometrického tlaku.

Na problémy s prezentáciou rýchlosti na glasskokpitoch upozornili pri rozhovore aj inštruktori LVVC. Takisto bola táto problémová oblasť spomenutá v teoretickej časti práce, kde sme popisovali prieskumy rôznych autorov. Na daný problém je preto poukázané aj v našom multimediálnom výučbovom materiáli, ktorý je jedným z praktických výstupov tejto práce a je bližšie predstavený v kapitole 5.3.

4.2.7. Otázka číslo 7

Cieľom bolo zistiť, či množstvo údajov na displejoch spôsobovalo chaos a tak prípadne preťažovalo pilotov vo výcviku.

Len dvaja piloti uviedli, že množstvo údajov bolo pre nich zmätočné. Z otázky sa nedá usúdiť, koľko údajov bolo prezentovaných na displejoch pri ich výcvikove lete, no dá sa predpokladať, že išlo o minimálne množstvo vzhľadom na to, že sa jednalo o začiatok výcviku na novom lietadle.

Aj pri prieskume literatúry sme v iných štúdiách spozorovali poznámky študentov o zmätku z informácií na displejoch, avšak ten postupovaním vo výcviku rýchlo klesal. V našom prípade títo dvaja pilot patrili medzi tých, ktorých úroveň letových hodín na Zlíne Z-242 v čase dotazníka spadala do kategórie 2 až 5 letových hodín. Dá sa preto predpokladať, že so zvyšujúcimi skúsenosťami sa bude tento zmätok vytrácať aj v prípade respondentov nášho dotazníka.

4.2.8. Otázka číslo 8

Zisťovali sme aj to, či piloti vo výcviku spozorovali počas ich letov na Zlíne Z-242 zvýšenú tendenciu hľadieť na displeje miesto pozerania sa von z kokpitu.

Výsledky nášho prieskumu majú tendenciu skôr nepodporovať závery niekoľkých iných štúdií, ktoré pozorovali vzťah medzi glasskokpitom a zvýšenou tendenciou pozeráť na displeje.

4.2.9. Otázka číslo 9

V deviatej otázke dotazníka bol študentom ponúknutý priestor na popísanie prípadných ťažkostí, ktoré spozorovali počas výcviku na nových výcvikových lietadlách Zlín Z-242. Spätnú väzbu poskytli štyria študenti.

Jeden študent pri tejto otázke uviedol, že podľa neho Garmin G500 TXi zvädza na upieranie pozornosti na displeje miesto hľadania von z lietadla a myslí si, že na odbúranie takéhoto správania je nutný vyšší nálet. Tento študent bol zároveň tým jedným respondentom, ktorý na otázku 8 vyššie odpovedal kladne.

Ďalší študent uviedol ako ťažkosť počiatočnú neistotu v ovládaní displejov, ale postupom času sa neistota vytrácala.

Tretí pilot pri tejto otázke neuviedol ťažkosť, ale poznamenal, že na glasskokpit si rýchlo privykol.

Štvrtý respondent uviedol problém trafiť prstom do správneho poľa pri nastavovaní údajov na displeji, obzvlášť pri turbulenciách.

4.2.10. Otázka číslo 10

Zaujímalo nás aj to, či pri výbere leteckej školy zohrával u študentov úlohu faktor, že sa na výcvik využívajú lietadlá s glasskokpitom.

Zaujímavé je, že u 90 % študentov táto skutočnosť nehrala úlohu. Len jeden študent sa pri výbere leteckej školy zameriaval na to, či jeho potenciálna budúca letecká škola ponúka na výcvik aj lietadlá s glasskokpitom. Dôvodom bola vôľa absolvovať výcvik aj na analógových lietadlách a taktiež aj na glasskokpitoch, pretože práve glasskokpity používa väčšina moderných dopravných lietadiel.

4.2.11. Otázka číslo 11

V tejto otázke mali študenti vyjadriť svoj názor, či im podľa nich výcvikové lietadlo s glasskokpitom poskytne relevantnejšie vedomosti pre profesionálnu kariéru v letectve v porovnaní s výcvikovým lietadlom s analógovými prístrojmi.

Zatiaľ čo v názore boli inštruktori pri tejto otázke jednotní a súhlasili, že glasskokpitové lietadlá poskytujú relevantnejšie vedomosti, študenti boli absolútne nerozhodní. Presne polovica bola za a druhá proti. Odpovede môžu byť do veľkej miery skresľujúce, nakoľko všetci respondenti dotazníka mali na analógových lietadlách značne bohatšie letové skúsenosti ako je zrejme z odpovedí na otázku číslo 13 nižšie. Zaujímavé však je, že za boli všetci traja študenti, ktorí mali na Zlíne Z-242 zo skúmanej vzorky najviac nalietaných hodín, teda viac ako 5.

Otázku by bolo preto vhodnejšie položiť napríklad pri ďalšom podobnom prieskume, kedy by nálet študentov na Zlíne Z-242 bol vyšší a úroveň skúseností s oboma typmi kokpitov približne rovnaká.

4.2.12. Otázka číslo 12

V otázke 12 sme dali študentom – pilotom vo výcviku možnosť vyjadriť akékoľvek postrehy, pripomienky či návrhy čo sa týka ich skúseností s výcvikom na lietadle Zlín Z-242. Možnosť vyjadriť sa využili traja študenti. V nasledovnom uvádzame doslovný prepis ich odpovedí.

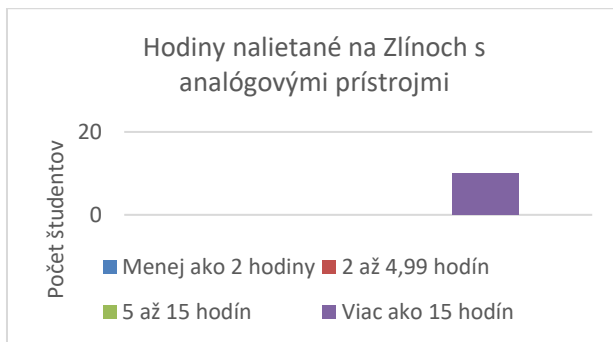
Prvý študent: „Lietadlo s glasskokpitom by som považoval za relevantnejšie v neskoršej fáze výcviku, osobne mi vyhovovalo začať s analógovými prístrojmi.“

Druhý študent: „Osobne si myslím, že začať výcvik na lietadle s analógovými prístrojmi je lepšie. Človek si osvojí základné letecké prístroje a naučí sa „skutočné lietanie.“ Lietanie s glasskokpitom je super, je to výborná príprava na profesionálnu kariéru, ale nechcel by som realizovať svoj výcvik na takýchto lietadlách hneď od začiatku. Ideálne niekoľko hodín na analógových prístrojoch a potom postupný presun do moderných glasskokpitov.“

Tretí študent: „Osobne si stojím za tvrdením, že glasskokpit nie je vhodný pre základný VFR výcvik a som rád, že som prevažnú väčšinu svojho výcviku odlietal na analógových prístrojoch. Nie som stotožnený s trendom dotykových plôch displejov. Domnievam sa, že to odpútava pozornosť a v kritických situáciách je omnoho väčšia pravdepodobnosť kliknutia na nesprávne tlačidlo, vykonanie nesprávneho úkonu.“

4.2.13. Otázka číslo 13

V ďalšej otázke sme požiadali respondentov, aby uviedli, koľko hodín majú nalietané na všetkých výcvikových lietadlách Zlín s analógovými prístrojmi dohromady.

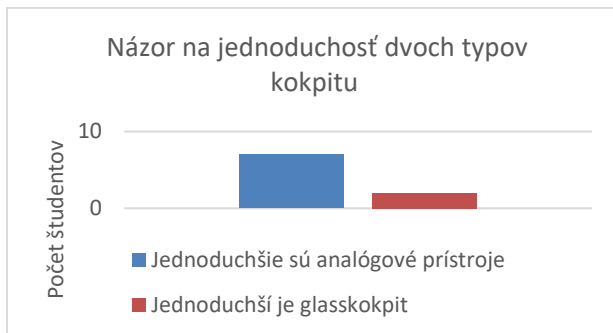


Graf 2: Hodiny nalietané na Zlínach s analógovými prístrojmi. Zdroj: Autori.

Vidíme, že respondenti mali nálet na Zlínach s analógovými prístrojmi násobne vyšší, ako na Zlíne Z-242 s glasskokpitom.

4.2.14. Otázka číslo 14

Zaujímalo nás, či pre študentov bolo jednoduchšie lietať na Zlíne s analógovými prístrojmi alebo s glasskokpitom. Graficky je vyhodnotených 9 odpovedí, pretože jeden študent ich hodnotil ako rovnaké.

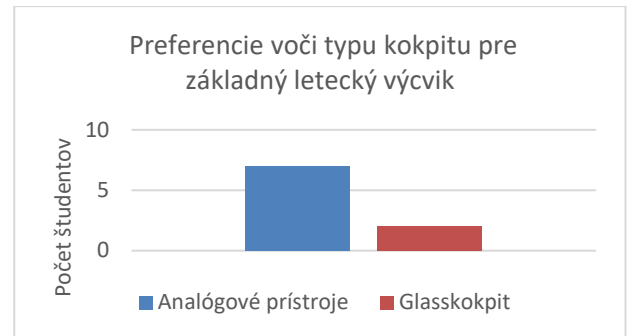


Graf 3: Názor na jednoduchosť dvoch typov kokpitu. Zdroj: Autori.

Je zjavné, že výpovedná hodnota je značne limitovaná vzhľadom na rozličnú úroveň skúseností študentov s oboma typmi kokpitu. Preferencia voči analógovým prístrojom mohla byť ovplyvnená práve vyšším náletom na Zlínach s analógovými prístrojmi.

4.2.15. Otázka číslo 15

Otázka bola zameraná na zistenie, ktorý typ kokpitu študenti, na základe ich skúseností, uprednostňujú na základný letecký výcvik. Graficky je opäť vyhodnotených 9 odpovedí, pretože jeden študent bol nerozhodný.



Graf 4: Preferencie voči typu kokpitu pre základný letecký výcvik. Zdroj: [Autori].

Pri prieskume literatúry sme zvyčajne u študentov pozorovali vyššie preferencie voči glasskokpitu. V prípade nášho dotazníka je trend opačný. Pozorovateľný nie je ani náznak korelácie čo sa týka študentov s najviac nalietanými hodinami na glasskokpите a ich preferenciou voči tomuto typu kokpitu. Len jeden z troch pilotov, ktorí mali na Zlíne Z-242 viac ako 5 hodín, označil v dotazníku glasskokpit.

Pri tejto otázke opäť zohrávajú úlohu faktory ako značne rozličná úroveň nalietaných hodín na dvoch typoch kokpitu. Vhodnejšie by bolo realizovať túto otázku s pilotmi, keď budú mať ukončenú VFR fázu výcviku a porovnateľnú úroveň letových skúseností na lietadlách s oboma filozofiami kokpitu.

4.3. **Zhodnotenie**

Náš pôvodný zámer bol realizovať prieskum na početnejšej vzorke pilotov vo výcviku a s viac letovými hodinami na Zlíne Z-242, ale pandémia si v januári 2021 vyžiadala pozastavenie výcviku a do konca apríla obnovený nebol. Napriek tomu, že prieskum bol značne limitovaný, sme dokázali získať zaujímavé a cenné poznatky. Aj keď niektoré výsledky sú prekvapivé, priniesli užitočné informácie. Komentáre inštruktorov pridali prieskumu hodnotu a umožnili porovnať vnímanie určitých záležitostí z ich pohľadu a z pohľadu študentov. Niektoré komentáre môžu navyše poskytnúť inšpiráciu pre budúce prieskumy.

5. **Návrh efektívnej prípravy študentov pre nové systémy**

5.1. **Príprava pilotov**

V súčasnosti je na prípravu pilotov pre nové avionické systémy možné využiť veľa spôsobov. Dostupné výučbové nástroje siahajú od tradičných nástrojov ako sú knihy, príručky a prednášky až po pokročilejšie nástroje ako makety prístrojov, počítačové programy a rôzne druhy simulátorov. [3]

Z toho dôvodu sme vykonali rešerš odborných článkov a výskumov dostupných na internete ohľadom výučbových skúseností leteckých škôl, ktoré využívali na výcvik technologicky pokročilé lietadlá. Sústredili sme sa aj na postrehy zo strán pilotov vo výcviku, na problémy, ktoré mali a naopak, na to, čo považovali za pozitívne. Na základe predmetných údajov sme využitím syntézy vypracovali a v tejto kapitole prinášame sumár poznatkov na vhodné postupy prípravy pilotov na výcvik v lietadlách s progresívnymi avionickými systémami.

Informujeme o ideálnych spôsoboch výučby pred začatím samotného praktického leteckého výcviku, o médiách a metódach na teoretickú prípravu pilotov, ako aj o adekvátnosti rôznych výcvikových zariadení a učebných pomôcok. Poznanky môžu slúžiť výcvikovým centrám ako podkladový materiál pri vyberaní postupov či zariadení, akými chcú pilotov pripravovať ešte pred zahájením samotného lietania.

5.2. Projekt SAFER

V tejto kapitole je prezentovaný výskumný projekt zo Spojených štátov amerických, ktorý ukazuje, akým smerom by mohol letecký výcvik smerovať. Je dôkazom, že zmena na scenáristický štýl výcviku je veľmi dobrým krokom a jedná sa o vhodný štýl realizovania praktického výcviku pri využití lietadiel s glasskokpitom. Poznanky by mohli poslužiť výcvikovým centrám ako pomôcka či usmernenie pri rozhodovaní prepracovať koncepciu výcviku z dôvodu zavedenia výcvikových lietadiel s progresívnymi avionickými systémami.

5.3. Multimediálny výučbový materiál – Garmin G500 TXi

Završením praktickej časti diplomovej práce bolo vytvorenie multimediálnej podpory výučby ako všestranne využiteľnú pomôcku pri príprave pilotov na oboznámenie sa so systémom Garmin G500 TXi pred začatím základného letového výcviku na lietadle Zlín Z-242. Výučbový materiál tvorí prílohu tejto diplomovej práce vo forme CD/DVD nosiča.

Cieľom výučbového materiálu je popísať účel jednotlivých hlavných systémov – PFD a MFD, poskytnúť prehľad základných postupov na ich použitie, vysvetliť niektoré logiky, ktoré systémy používajú na vykonávanie svojej funkcie a pojednáva aj o všeobecných obmedzeniach systémov. Výsledkom je odprezentovanie Garminu G500 TXi v kompaktnej forme na 103 snímkach a spolu približne 25 minútach krátkych videí s komentárom v slovenskom jazyku, ktoré sú účelne použité po jednotlivých blokoch s teóriou. Naš podporný výučbový materiál je možné využiť ako pomôcku pre lektorov pri prednáške, ktorí budú pripravovať začínajúcich pilotov.

Počítačové simulátory avioniky môžu pomôcť pilotovi rozvíjať znalosti pri práci s konkrétnym systémom. Spoločnosť Garmin ponúka pre svoje systémy počítačové simulátory, ktoré umožňujú pilotovi dozvedieť sa, akým štýlom jednotka prezentuje informácie, ako aj precvičovať postupy stlačenia a otáčania tlačidiel potrebné na zadávanie údajov a prístup k nim. Tieto programy sú mimoriadne užitočné na úvodné vzdelávanie pilotov. Naším úmyslom je, aby si piloti stiahli do svojich osobných počítačov simulátor Garmin G500 TXi voľne dostupný na oficiálnej webovej stránke spoločnosti Garmin, pretože výučbový materiál je koncipovaný tak, aby si pomocou neho vedeli prakticky precvičovať prácu so systémom aj sami doma. Takýmto spôsobom im je umožnené pripraviť sa na používanie systému ešte pred začatím lietania, vďaka čomu pri samotnom letaní už budú zruční pri práci so systémom. Tak sa im uvoľní časť mentálnej kapacity, čo vytvára najmä počas prvých letových hodín priestor na efektívnejší priebeh letu, aj z pohľadu inštruktora. Dá sa predpokladať, že vďaka tomu bude pilot vo výcviku schopný lepšie sa sústrediť na let a súvisiace dôležité koncepty.

Štúdie preukázali, že dostupnosť nových informačných tokov v kokpite môže niekedy mať negatívny efekt na pilota v zmysle pokúšať ho riskovať viac, ako by bol za iných podmienok ochotný. Preto je nevyhnutné vstúpiť hlavne začínajúcim pilotom, aby si od začiatku kariéry budovali odolnosť voči nástrahám týchto systémov. Z toho dôvodu sme v prezentácii na rôznych miestach poukázali, podľa relevantnosti obsahovej stránky danej časti textu, na problematické skutočnosti, respektíve upozornili na časté chyby pilotov, upriamili pozornosť na možné riziká či nesprávne použitie predmetného systému. Úmyslom daných informácií je naviesť pilota na správny postoj a spôsob myslenia. V prezentácii je možné nájsť aj informácie, na čo si dávať pozor, ako sa správať v neštandardných situáciách a odporúčania na dôležité zručnosti.

Máme za to, že naša prezentácia je vhodná na jednoduché, kvalitné a efektívne zoznámenie študentov s novým systémom Garmin G500 TXi vo výcvikových lietadlách Zlín Z-242, aj z časového hľadiska.

6. Záver

Progresívne avionické systémy priniesli do oblasti základného leteckého výcviku zmenu. Mnohé prvky charakteristické pre výcvik na lietadlách s analógovými prístrojmi už neplatia, alebo platia len v obmedzenej miere. Navyše progresívna avionika priniesla so sebou mnohé témy, ktoré nie sú zatiaľ dobre preskúmané a otázky, ktoré naďalej zostávajú nezodpovedané. Glasskokpity ponúkajú mnoho nových možností a vylepšení, ktoré sú však sprevádzané aj negatívami a rizikami.

Naš prieskum odhalil niekoľko zaujímavostí, no najväčším prekvapením bola inklinácia študentov k výcviku na analógových prístrojoch. Pritom prevažná väčšina prieskumov iných autorov jasne ukazovala na preferencie študentov voči výcvikovým lietadlám s glasskokpitmi.

Trend zavádzania lietadiel s progresívnou avionikou do výcvikového prostredia sa ukazuje byť do budúcnosti ako nevyhnutný. Náklady na zariadenia sa postupne znižujú a ich schopnosti sa zvyšujú. Do budúcnosti to bude znamenať aj výhodu pre mnohé nové štúdie vďaka väčšiemu množstvu dostupných dát a následné kvalitné odporúčania na možné zlepšenia. Podobný prieskum, ako sme realizovali my, by mohol byť uskutočnený po odznení, alebo aspoň čiastočnom útlme pandemickej situácie a opätovnom obnovení leteckého výcviku. Mohla by byť k dispozícii väčšia vzorka pilotov vo výcviku s vyššou úrovňou nalietaných hodín, čím by prieskum bol ešte objektívnejší, zaujímavejší a mal kvalitnejšiu výpovednú hodnotu. Tiež by prieskum mohol byť rozšírený aj za hranice LVVC a zahŕňal aj iné letecké školy v rámci Slovenskej republiky. Takýto výskum by rozšíril vedomostnú základňu, keďže pri tvorbe práce sa ukázalo, že dostupnosť zdrojov z domáceho prostredia je veľmi limitovaná.

Pevne veríme, že náš multimediálny výučbový materiál bude pre začínajúcich pilotov užitočný a pomôže im pri budovaní pevných základov ich profesionálnej leteckej kariéry.

Referencie

- [1] Benefits of Basic Flight Training in Advanced Glass Cockpit Aircraft [online]. Dostupné na internete:

<https://flygenesis.ca/flight-training-blog/benefits-of-basic-flight-training-in-advanced-glass-cockpit-aircraft/>.

- [2] VELÁZQUEZ, J. 2014. *The Current Status of Advanced Cockpit Technology (ACT) Education within Collegiate Aviation: A Preliminary Outlook* [online]. 2014. Dostupné na internete: <https://ojs.library.okstate.edu/osu/index.php/CARI/article/view/7465/6867>.
- [3] KOLMOS, J. A. 2018. Literature Review of GA Pilots Transition to Advanced Cockpit Technologies. In *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace* [online]. 2018, vol. 5, no. 2. Dostupné na internete: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1235&context=ijaaa>.
- [4] Havel, k a kol., 2005. Základný kurz pre personál technického zabezpečenia letových prevádzkových služieb, Bratislava : LPS SR,, 2005.
- [5] Novák, A., 2015. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5
- [6] Kandra, B. 2015. Letecké prístroje. Bratislava : DOLIS, 2015. - 204 s., ilustr. - ISBN 978-80-8181-017-6.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A UAV DEVICE WITH A FIXED WING FOR THE CONDITIONS OF RESCUE SERVICES

NÁVRH A KONŠTRUKCIA UAV PROSTRIEDKU S PEVNÝM KRÍDLOM PRE PODMIENKY ZÁCHRANNÝCH ZLOŽIEK

Nikolas Michael Petrik
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
nikolaspetrik@outlook.sk

Pavol Pecho
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
pavol.pecho@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper is focused on comprehensive design of an unmanned aerial vehicle with fixed wing, which would add efficiency to specific activities performed by rescue services. The current rapid development of unmanned aerial vehicles is slowly becoming part of many industries around the world. The aim of this paper is to design an unmanned aerial vehicle that could provide safe, reliable, and efficient operation. The overall design, construction, and installation of the proposed unmanned aerial vehicle should integrate several modern technologies. To make an ideal design of unmanned aerial vehicle it is required to possess the knowledge of current construction methods of additive manufacturing, understanding of legislation in operating conditions and, in addition to general knowledge of unmanned vehicles, also comprehensive skills in programming and configuration of autonomous control elements of autonomous unmanned systems. After the production of the unmanned aerial vehicle with fixed wing, very good technical properties were demonstrated during experimental ground tests. Achieved technical properties are comparable to those owned by the unmanned aerial vehicles that are currently on the market. The final design configuration using an infrared-sensitive optical device could perform activities such as: searching for missing persons in hard-to-reach and vast terrain or searching for forest fires.

Keywords

Unmanned aerial vehicle, unmanned aerial systems, configuration, control unit, optical device, sensors, Pixhawk 4, autonomous flight.

1. Úvod

So zdokonaľujúcou sa technológiou sa stali bezpilotné lietadlové prostriedky súčasťou našich všedných dní. Implementácia bezpilotných prostriedkov do prevádzky prináša mnohé aspekty technického alebo legislatívneho smeru. Tieto aspekty sa preto stávajú veľmi zaujímavou a aktuálnou témou. Súčasná dostupnosť moderných a vyspelých technológií umožňuje navrhnúť a skonštruovať taký bezpilotný prostriedok, ktorý by účinne a spoľahlivo napomáhal pri činnostiach vykonávanými záchrannými zložkami.

2. Analýza súčasného stavu riešenej problematiky

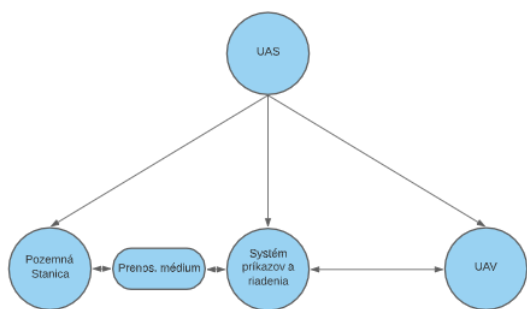
Bezpilotné lietadlá a bezpilotné lietadlové systémy sa v posledných rokoch stali bodom záujmu v mnohých odvetviach po celom svete. Tieto zariadenia začali plniť veľké množstvo činností od voľnočasových aktivít bežných užívateľov po komerčné využitia v podnikoch, priemysle, štátnych organizáciách, alebo v ozbrojených zložkách.

Koncept bezpilotných lietadiel začal čisto so zámerom vojenského využitia. V priebehu vývoja sa však vplyvom meniacej svetovej situácie a pokroku v technike sa koncept bezpilotných lietadiel vo veľkej miere zapracoval do civilného sektoru. Bezpilotné lietadlové systémy v súčasnosti zastrešujú veľké množstvo rôznych technológií, konfigurácií a prevedení.

2.1. Bezpilotné lietadlové systémy

Bezpilotné lietadlové systémy (UAS) znamenajú celý systém požadovaný pre operácie. Do kategórie bezpilotných lietadlových systémov patria také lietadlá a letecké systémy, ktoré dokážu vykonávať svoju činnosť bez prítomnosti pilota na palube. Štandardne sa tieto systémy skladajú z troch hlavných komponentov, ktorými sú:

- autonómny alebo človekom ovládaný riadiaci vysielateľ – pozemná stanica;
- bezpilotné lietadlo (UAV);
- systém príkazov a riadenia, ktorý slúži ako komunikačný kanál na vzájomné prepojenie vysielateľa a UAV. [1]

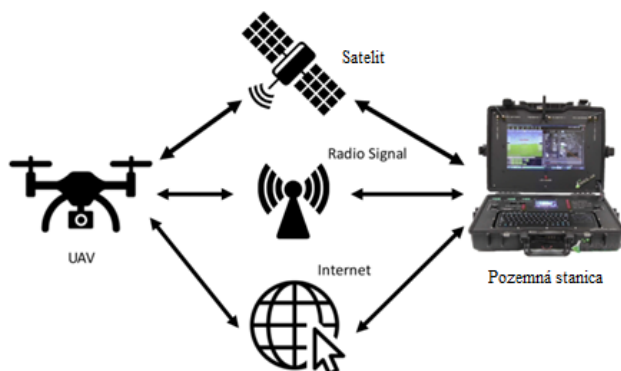


Obrázok 16: Diagram bezpilotných lietadlových systémov. Zdroj: Autori.

2.2. Systémy riadenia UAV

Spôsob riadenia UAV je delený do viacerých kategórií. Tieto kategórie sa odlišujú v úrovni autonómnosti UAV. UAV môžu byť na základe autonómnosti rozdelené na

- autonómne riadenie nie je súčasťou UAV a je riadené manuálne;
- UAV má čiastočnú autonómnosť;
- UAV je plne autonómne.



Obrázok 17: Systémy riadenia UAV. Zdroj: [2].

Najmodernejšiu a najvyspelejšiu formu autonómnych zariadení predstavuje systém rozpoznávania a vyhľadávania. UAV s takýmto riadiacim systémom musia byť okrem základných systémov riadenia, navigácie a telemetrie vybavené aj optickými alebo inými senzormi s vysokým rozpoznávacím rozlíšením. Okrem technického osadenia takýchto UAV musí byť použitá aj konfiguračná pozemná stanica. Takéto systémy v súčasnosti prechádzajú veľkým rozvojom. Logika a princíp ich činnosti spočíva v zadaní dvoch parametrov reprezentovaných otázkami: čo hľadať? a kde hľadať?. Tieto systémy dokážu bezpečne vykonávať plne automatizovaný pohyb v danej oblasti. [1] [3]



Obrázok 18: Pozemná stanica. Zdroj: Autori.

2.3. Bepilotné lietadlá

Neoddeliteľnú súčasť bezpilotných lietadlových systémov tvoria samotné UAV. Vo všeobecnosti sa primárne používajú na pozorovanie a taktické plánovanie, pri ktorých nesú jednoduchý náklad napríklad vo forme kamery. Hlavnými klasifikujúcimi parametrami pre UAV sú maximálny dosah, váha a dolet/operačný čas. V minulosti sa vývoj a použitie UAV vyskytovali hlavne vo vojenskom sektore. Zariadenia dokázali poskytovať taktické informácie a vykonávať iné operácie bez toho, aby boli piloti v ohrození. Nedávny rýchly pokrok a rozvoj zariadení umožnil ich rozšírenie aj do oblasti civilného sektora. Majoritná časť zariadení UAV používaných v civilnom sektore operuje pod minimálnou letovou výškou tradičných letúnov. Bežné operácie v civilnom sektore zahŕňajú aktivity ako napríklad:

- monitorovanie bezpečnosti,
- pátranie a záchrana,
- pomoc pri komunikácií a tvorba vysielča,
- preprava pošty a drobných balíkov,
- vizuálne a termálne pozorovanie,
- monitorovanie lineárnej infraštruktúry (elektrické vedenia, potrubia a železničné trate),
- fotografovanie a katastrálny prieskum,
- voľnočasové aktivity (závody a prehliadky UAV),
- vonkajšia údržba a kontrola letúnov,
- atmosférický výskum a
- poľnohospodárske práce.

Aj napriek tomu, že sú zariadenia nazývané ako bezpilotné je na ich obsluhu nutný personál. Pri jednoduchých UAV personál pozostáva z jediného operátora letu. Pri väčších a pokročilejších zariadeniach vzniká personálna požiadavka aj na obsluhu kamerových systémov, či iný špecializovaný personál. V súčasnosti vývoj týchto zariadení smeruje k všestrannejšiemu využitiu a k zvyšovaniu spoľahlivosti daných zariadení. [1]

2.3.1. *Typy UAV*

Zariadenia UAV sú vyrábané a distribuované v rôznych prevedeniach a konfiguráciách. Tieto konfigurácie väčšinou vyplývajú z účelu ich využitia. Medzi používané konfigurácie patria:

- mnoho-motorové UAV,
- UAV s pevným krídlom,
- vrtuľník s jedným nosným motorom a
- hybridné UAV s pevným krídlom a možnosťou vertikálneho vzletu. [4] [5]

2.4. *Systémy príkazov a riadenia UAV*

Systémy príkazov a riadenia zariadení UAV slúžia ako komunikačný kanál medzi vysielačom a zariadením UAV. Okrem toho vytvárajú určitú logiku alebo hierarchiu podľa, ktorej je presne definovaný spôsob vstupných a výstupných parametrov UAV. Táto logika je zadefinovaná pod skratkou C2 („command and control“ - velenie a riadenie). Je to súbor organizačných a technických atribútov a procesov, ktorý využíva ľudské, fyzické a informačné zdroje na plnenie úloh a dosiahnutie cieľov. Má za úlohu zjednotiť rozličné funkcie aby boli schopné spolupracovať a dosiahnuť konkrétny cieľ. Táto logika bola zadefinovaná v americkej armáde v 90-tych rokoch minulého storočia a je implementovaná do množstva technológií.

Pri technológií UAV je v praxi používané prevedenie C3, ktoré navyše pridáva prvok komunikácie. Reálnym príkladom zavedenia tejto logiky do praxe je moment, kedy operátor vydá príkaz, aby UAV dosiahlo určitý cieľový bod. Na strane UAV riadenie vykoná všetky nevyhnutné kroky ku splneniu príkazu. Podobne je to aj pri manuálnom riadení, pohyb riadiaceho zariadenia vpravo vyvolá na strane UAV prislúchajúci pohyb na riadiacich plochách. [1] [6]

3. **Analýza aktuálnych požiadaviek na prevádzku uav podľa platnej legislatívy v podmienkach záchranných zložiek**

Navrhnuté UAV by malo predstavovať nástroj, pomocou ktorého je možné efektívnejšie vykonávať špecifické úkony záchranných, alebo iných zložiek. Medzi takéto úkony patrí vyhľadávanie osôb v ťažko dostupnom teréne, alebo vyhľadávanie lesných požiarov. Okrem technických aspektov navrhovaného UAV je nutné zamerať sa na legislatívu. Vzhľadom na prevádzku UAV v záchranných zložkách a fakt, že samotné UAV je typ lietadla, na ktoré sa viažu legislatívne práva a povinnosti, musí byť braný ohľad na to, aby činnosť UAV nebola v rozpore s právnym rámcom.

Právny rámec upravujúci činnosť záchranných zložiek na území Slovenskej republiky tvorí zákon č. 129/2002 o integrovanom záchrannom systéme z 15.02. 2002.

Prevádzka leteckých prostriedkov na Slovensku vychádza zo zákona č. 143/1998 Z. z. o civilnom letectve (letecký zákon). Tento zákon však nie je konkrétne zameraný na úpravu legislatívy o bezpilotných prostriedkoch. S rozvojom UAV musel prísť aj právny predpis, ktorý by stanovoval podmienky prevádzky týchto zariadení. Prvým takýmto predpisom bolo Rozhodnutie č. 1/2015 zo dňa 19.08. 2015, ktoré bolo vydané

Dopravným úradom Slovenskej republiky. Toto rozhodnutie dostatočne neupravovalo podmienky prevádzky bezpilotných prostriedkov v podmienkach Slovenskej republiky a bolo nahradené Rozhodnutím Dopravného úradu č. 2/2019 zo dňa 14.11. 2019. Toto rozhodnutie je v súčasnosti v platnosti a určuje podmienky vykonávania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a zakazuje vykonanie letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky. [7] [8] [9]

4. **Analýza a stanovenie parametrov a technologického postupu konštrukcie, ovládania a pohonu uav prostriedku**

Pri navrhovaní konštrukcie, ovládania a pohonu je nutné stanoviť ciele, ktoré by malo navrhované UAV splniť. Takéto ciele môžu byť vymedzené stanovením prevádzkových parametrov. Na základe vytvoreného zoznamu činností, s ktorými by sa malo UAV stretnúť v prevádzke, je možné následne zostaviť technologický postup výroby, výbavy a osadenia. Pri návrhu je vhodné, aby bol zostavený taký zoznam prevádzkových požiadaviek, ktorý je možné celý naplniť a zároveň počítať s možnosťou úpravy alebo vylepšenia do budúcnosti. Navyše ak výsledné technické parametre aspoň čiastočne prevyšujú počiatočné požiadavky môže to do finálneho produktu priniesť priaznivú dodatočnú bezpečnosť a efektívnosť.

4.1. *Stanovenie požadovaných prevádzkových parametrov*

Navrhované UAV by v záverečnej konfigurácii malo slúžiť ako prostriedok, ktorý by zefektívnil činnosti spojené s prieskum a prehľadávaním. UAV musí byť navrhnuté tak, aby bolo počas svojej prevádzky účinné, funkčné a spoľahlivé. Okrem požiadaviek na vykonávanie letov musí UAV splniť požiadavky spojené s relatívne nízkymi vstupnými a prevádzkovými nákladmi. Navrhované UAV predstavuje zariadenie, ktorého vznik, konštrukcia a prevádzka sú kombináciou viacerých moderných technológií.

Je vhodné aby navrhované UAV bolo schopné preskúmať dostatočne rozsiahlu oblasť za čo najkratší možný čas. Počas letu sú na navrhované UAV kladené požiadavky súvisiace so zberom údajov. Zozbierané informácie musia byť v reálnom čase odosielané operátorovi letu, alebo inej zúčastnenej osobe. Hlavným aspektom, ktorý ovplyvňuje dolet a rýchlosť letu, je vhodný výber konfigurácie UAV. Výber vhodnej konfigurácie na vykonávanie stanovených činností je len prvý krok pri návrhu optimálneho UAV.

Medzi ďalšie parametre, ktoré je nutné zohľadniť patria napríklad:

- výrobný materiál,
- výrobný postup,
- osadenie pohyblivých komponentov (motor, servá),
- osadenie nepohyblivých komponentov (batéria, regulátor),
- systémy elektrických obvodov a
- výber logickej a riadiacej jednotky.

4.2. Výber konfigurácie UAV

Na účely efektívneho vykonávania stanovených činností je najviac vhodná konfigurácia UAV s pevným krídlom. Oproti ostatným konfiguráciám ponúka hlavne vyššiu rýchlosť letu a väčší dolet respektíve poskytuje väčšie množstvo času, ktoré môže UAV stráviť vo vzduchu bez nutnosti pristátia a dobitia batérií. Charakter konfigurácie UAV s pevným krídlom umožňuje vykonávať pátraciu činnosť v oveľa väčšej oblasti ako pri iných konfiguráciách. Možnosti získavania vztlaku pomocou svojich aerodynamických charakteristík predstavuje oblasť návrhu, na ktorú je možné sa zamerať pri správnom prevedení navýšiť celkovú efektívnosť navrhovaného UAV. [4] [5]

4.3. Konštrukcia navrhovaného UAV

Vzhľadom na charakter rozličných aditívnych výrobných metód a technické vlastnosti výrobkov je vhodné použiť na výrobu navrhnutého UAV metódu Material Extrusion. Výrobná metóda Material Extrusion patrí medzi aditívne výrobné procesy a označuje sa aj ako Fuse deposition modelling. Pri výrobe navrhovaného UAV bol použitý materiál s názvom kyselina polymliečna (PLA).

4.4. Technický popis navrhovaného UAV

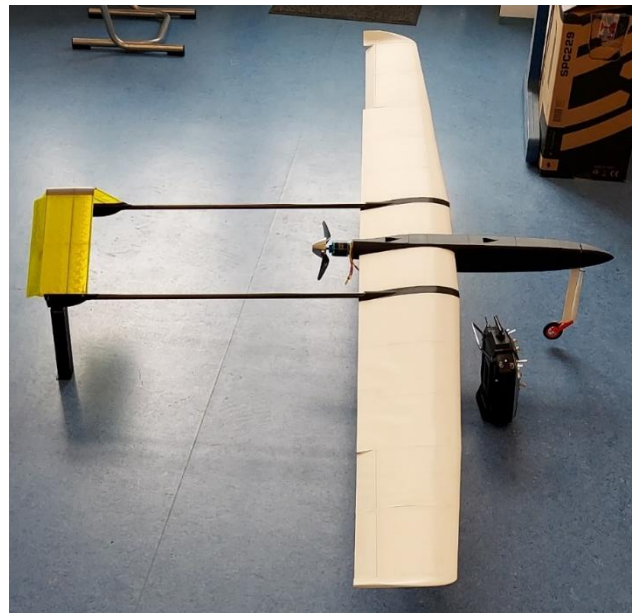
Navrhované UAV je klasifikované ako samonosný hornoplošník s motýlikovými chvostovými plochami. Podvozok UAV má klasické usporiadania a teda hlavný podvozok a predná podvozková noha. Na pohon UAV slúži vrtuľový tlačný elektromotor FOX Y G2 C2826-750. Na motore je osadená dvojlistá vrtuľa so schopnosťou automatického sklápania pre prípad pristátia „na brucho.“ Pevnosť konštrukcie navrhovaného UAV je zabezpečená niekoľkými karbónovými nosníkmi. Trup UAV je navrhnutý ako škrupinová konštrukcia, nakoľko vnútro trupu je vyhradené pre elektrické riadiace prvky a zaťaženie musí byť prenášané pomocou plášťa.

Rozmery UAV:

- Dĺžka: 134 cm
- Šírka: 233 cm
- Výška: 36 cm



Obrázok 19: Navrhované UAV spredu. Zdroj: Autori.



Obrázok 20: Navrhované UAV z boku. Zdroj: Autori.

4.5. Osadenie navrhovaného bezpilotného lietadla

Konštrukcia bezpilotného lietadla je dôležitou súčasťou celého konceptu a definuje rôzne technické možnosti a obmedzenia v prevádzke. To, čo zabezpečuje presný rozsah funkcií a nasadenie v praxi je technické vybavenie UAV. Takéto vybavenie je označené ako osadenie bezpilotného lietadla a pozostáva z rôznych komponentov ako sú napríklad vybavenie optickým zariadením, riadiacou jednotkou alebo inými riadiacimi a dodatočnými zariadeniami.

4.5.1. Optické zariadenia

Okrem požiadaviek na pevnosť, spoľahlivosť a efektívnosť navrhovaného UAV počas letu, je nutné zabezpečiť a vybaviť UAV technológiou, ktorá by dokázala spoľahlivo zbierať údaje o prehládávanej oblasti. Najpraktickejším riešením tohto problému je osadiť navrhované UAV optickým kamerovým zariadením. Takéto osadenie je v súčasnosti bežnou praxou a v mnohých odvetviach sú UAV využívané práve na snímkovanie pomocou optických zariadení.

Pri reálnom nasadení je UAV navrhované tak, aby bolo vybavené optickým zariadením s citlivosťou na infračervené žiarenie. Použitie tejto technológie poskytuje veľmi presné snímky prehládávanej oblasti so zameraním na predpokladané body záujmu. Navyše použitie tejto technológie umožňuje nasadenie UAV aj v podmienkach jemne nepriaznivého počasia a aj pri prevádzke v noci.

4.5.2. Riadiaca jednotka UAV – Pixhawk 4

Elektronická riadiaca jednotka má za úlohu koordinovať činnosť všetkých komponentov. Riadiaca jednotka integruje všetky činnosti spojené s diaľkovým ovládaním navrhovaného UAV. Navyše okrem riadiacich funkcií má za úlohu správnu distribúciu elektrickej energie do všetkých pohyblivých aj nepohyblivých častí UAV. Pri navrhovaní takto komplexného UAV je vhodné, aby všetky spomínané funkcie riadila jediná riadiaca jednotka. V takomto prevedení by mala byť zabezpečená dostatočná

spoľahlivosť a kompatibilita jednotlivých komponentov, ale aj ich správne a rýchle fungovanie.

Riadiaca jednotka vytvára premostenie medzi signálmi z pozemnej stanice a odpovedajúcimi činnosťami UAV. Okrem takéhoto premostenia pri vykonávaní plne manuálnych letov riadiaca jednotka navrhovaného UAV slúži aj ako hlavný komponent autopilota.

Riadiaca jednotka navrhovaného UAV sa nazýva Pixhawk 4 od spoločnosti Holybro v spolupráci s tímom PX4. Spoločnosť Holybro vystupuje na trhu s UAV už od roku 2014 a prezentuje sa svojimi výrobkami, ktoré sú zamerané na UAV technológie s autonómnou schopnosťou letu.

Zariadenie Pixhawk 4 (PX4) je pokročilý systém autopilota pre lietadlá a iné prostriedky bez prítomnosti posádky na palube. PX4 pôvodne vychádza zo softvéru ArduPilot. Vývoj PX4 začal v roku 2009 a jeho prvá verzia bola vydaná v marci 2012. Program autopilota je napísaný v programovacom jazyku C++.

PX4 je licencovaný ako softvér s otvoreným zdrojovým kódom (open-source softvér). Užívateľom poskytuje flexibilnú sadu nástrojov na zdieľanie technológií, ktoré prispievajú k riešeniu problémom spojenými s prevádzkou zariadení UAV. Celý projekt PX4 si zachováva vysoký štandard v poskytovaní a vylepšovaní softvérovej aj hardvérovej časti v svojich produktoch. PX4 je vyvíjaný spolu s globálnou vývojovou komunitou. Zariadenie nenapĺňa potreby len jedného odvetvia, ale pôsobí na trhu ako všeobecná sada nástrojov so širokým uplatnením.

Architektúra PX4 je vysoko modulárna. Vďaka tejto vlastnosti môžu byť zariadenia rozširiteľné z pohľadu hardvéru aj softvéru. Modularita je zabezpečená portovou architektúrou. V prípade pridania nového zariadenia, alebo dodatočných komponentov nie je ovplyvnený pôvodný výkon a spoľahlivosť systému.

Pre bežných používateľov poskytuje komplexný set nástrojov k štandardne vyžadovanej prevádzke. Náročnejším subjektom však garantuje veľmi dobre spracované vývojárske prostredie na úpravu zdrojového kódu alebo pridanie a úpravu rozličných funkcií. Takéto nové funkcie je možné jednoducho do zariadenia nasadiť a prekonfigurovať. Celá licencia PX4 je zadarmo na používanie a úpravy, čo umožňuje aj chránené použitie a začlenenie do chránených produktov. Samotné zariadenie je navyše veľmi kompatibilné so širokým spektrom rôznych dodatočných systémov a komponentov.

Zariadenie je od vzniku navrhnuté tak aby poskytovalo vysokú mieru autonómnosti riadeného zariadenia. Stupeň autonómnosti sa odvíja od pridaných komponentov, ale všetky základné predpoklady a automatizácia sú súčasťou základného vybavenia zariadenia. Zariadenie navyše nesie základné vstupy pre vývojárov, ktorí pracujú na algoritmoch lokalizácie a detekcie prekážok. Lokalizácia a detekcia prekážok a spracovanie tejto informácie je v súčasnosti najvyšší stupeň autonómnosti UAV.

Okrem súčasného širokého nasadenia týchto zariadení vo svete vývojársky tím neustále pracuje na vylepšeniach a inováciách zariadenia PX4. Tím vývojárov mesačne uskutočňuje tisíce letových hodín, počas ktorých sú vykonávané hardvérové aj softvérové testy tak, aby bola zabezpečená bezpečnosť a spoľahlivosť kódovej základne.

Jednou z najväčších výhod používania zariadenia PX4 je fakt, že pri zakúpení sú súčasťou balíčka všetky spomínané aktualizácie. Tým je zabezpečená vysoká technická podpora aj po dlhšej dobe od zakúpenia zariadenia. Aj vďaka tejto výhodnej ponuke, je toto zariadenie široko využívané.

Samozrejmosťou je, že prioritou celého projektu je bezpečnosť zariadenia a používateľov. Systém ponúka široké spektrum bezpečnostných prvkov, vrátane automatizovaného správania pri zlyhaní, podpory rôznych režimov vrátenia, pristátia a padákov. Všetky bezpečnostné prvky sú súčasťou základnej výbavy a rovnako ako celý systém, sú konfigurovateľné a opraviteľné pre osobitné nasadenie. [10] [11] [12] [13]



Obrázok 21: Riadiaca jednotka autopilota Pixhawk 4. Zdroj: [13].

5. Návrh, konštrukcia a experimentálna prevádzka uav prostriedku v simulovaných podmienkach záchranných zložiek

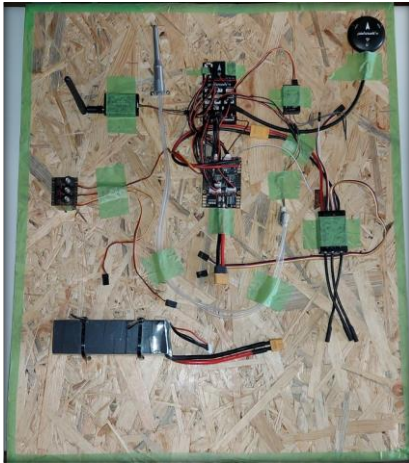
Priebeh návrhu, konštrukcie a výber osadenia je len jednou časťou zavedenia bezpilotného lietadla do praxe. Keďže je navrhované lietadlo zostavené od základu a je vybavené riadiacou jednotkou a systémami, ktoré majú široké spektrum využitia, je nutné všetky tieto súčasti správne nakonfigurovať a prispôsobiť navrhovanému UAV a stanoveným prevádzkovým podmienkam. Až po vykonaní všetkých technických úkonov a správnom nastavení, môže byť navrhované UAV podrobené experimentálnym skúškam v podmienkach, na ktoré bolo navrhnuté.

5.1. Finálne napojenie všetkých komponentov

Zapojenie všetkých základných elektrických a riadiacich súčastí bolo uskutočnené na samostatnej prenosnej doske. Vo finálnej konfigurácii sú do riadiacej jednotky autopilota a dosky pre distribúciu energie napojené tieto komponenty:

- komunikačná jednotka FUTABA,
- GPS modul,
- zariadenie snímajúce rýchlosť obtekajúceho vzduchu (pitot),

- telemetrická jednotka,
- regulátor motora,
- motorová jednotka,
- servá pre pohon riadiacich plôch (4x),
- dodatočné servo na riadenie prednej podvozkovej nohy a
- LI-PO batéria.



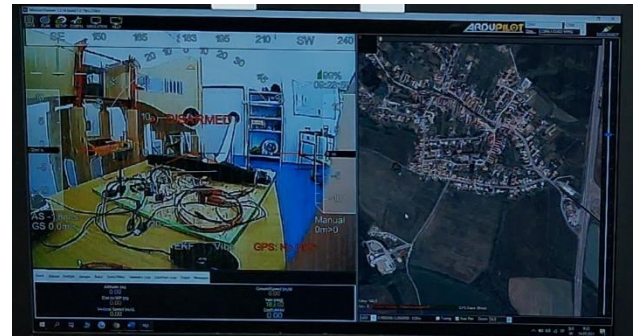
Obrázok 22: Finálne napojenie všetkých komponentov. Zdroj: Autori.

5.2. Nastavenie pozemnej jednotky

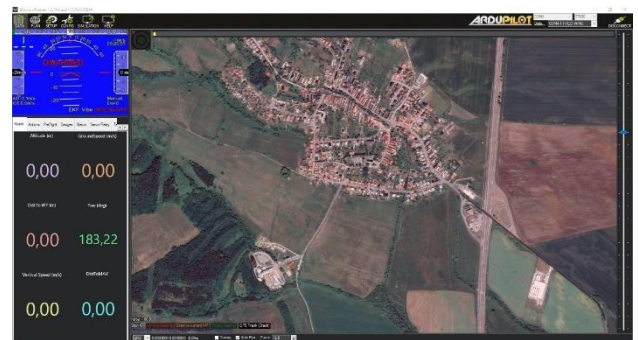
Na účely konfigurácie riadiacej jednotky UAV je pozemná stanica vybavená softvérom QGroundControl (QGC). Tento softvér poskytuje dostatočné množstvo funkcií na vykonávanie stanovených činností navrhovaného UAV. Avšak tento koncept je možné vylepšiť a poskytnúť operátorovi prepracovanejšie užívateľské prostredie.

Veľmi kvalitnou formou takéhoto integrovaného užívateľského prostredia je softvér s názvom MissionPlanner (MP). Tento program je voľne dostupný pre všetkých užívateľov zariadení Pixhawk 4. Pri správnom zostavení a nakonfigurovaní riadiacej jednotky navrhovaného UAV je možné jednoducho prepojiť pozemnú stanicu, v ktorej sa nachádza program MP s UAV.

Toto prepojenie je zabezpečené telemetrickou jednotkou podobne ako pri použití QGC. Všetky údaje a parametre letu sú prehľadne zobrazené na hlavnej karte programu MP. Po následnom pripojení zariadenia, ktoré prijíma video signál z optického zariadenia, je možné na túto hlavnú kartu priviesť aj aktuálny záber z kamery. [14]



Obrázok 23: Hlavné užívateľské prostredie so zameraním na snímkovanie v programe MP. Zdroj: Autori.



Obrázok 24: Hlavné užívateľské prostredie so zameraním na hlavné parametre letu a mapu v programe MP. Zdroj: Autori.

5.3. Prevádzka UAV v podmienkach záchranných zložiek

Navrhnuť, skonštruovať a osadiť funkčne a spoľahlivé zariadenie je súčasťou každého technického predmetu. Až v praxi a reálnych podmienkach sú však preukázané jeho kvality. Naopak v mnohých prípadoch môže nastať situácia kedy sa aj počiatočne dobre navrhnutý projekt v praxi ukáže ako nepoužiteľný a zbytočný. Z tohto dôvodu je nutné dopredu poznať zameranie, prevádzkový potenciál a limity návrhu.

Navrhované UAV bolo navrhnuté a zostrojené tak aby zefektívňovalo činnosti záchranných zložiek. Zariadenie nedokáže nahradiť, alebo zastúpiť zavedené a praxou odskúšané postupy a pri návrhu sa s tým ani nikdy nepočítalo. Zariadenie však umožňuje efektívne zavedenie relatívne modernej technológie do technickej výbavy záchranných zložiek. Pri správnom použití a nasadení môže zariadenie značnou mierou prispieť k najdôležitejším úkonom, a to záchrane ľudských životov.

Prevádzkové výhody a schopnosti navrhovaného UAV je možné prezentovať v modelových situáciách. Modelové situácie opisujú prípady, ku ktorým v našej krajine relatívne často dochádza, a ku ktorým sú privolané zložky integrovaného záchranného systému.

5.3.1. Modelová situácia

Zložkám záchranného systému bola nahlásená nezvestná osoba. Spolu s touto správou im bola oznámená aj informácia o poslednej známej polohe. Táto informácia však bola stará už niekoľko hodín a preto mohla nezvestná osoba prejsť veľkú vzdialenosť. Navyše sa v okolí miesta poslednej známej polohy nachádza rozsiahla husto zalesnená oblasť a viditeľnosť je

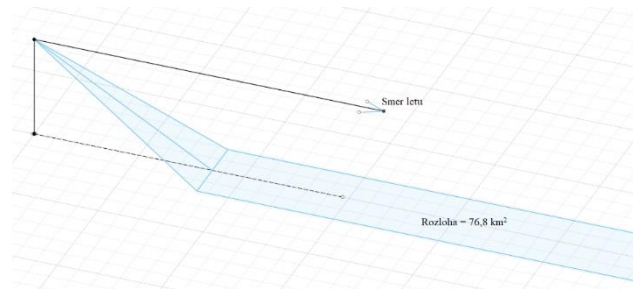
značne obmedzená v dôsledku hmly. Kvôli problematickému terénu nie je možné použitie pozemnej mobilnej techniky. Toto je jedna zo situácií, kedy je viac ako vhodné nasadenie navrhovaného UAV, ktoré by bolo vybavené optickým zariadením s citlivosťou na infračervené žiarenie.

Po udelení príkazu a povolenia na využitie UAV je navrhované UAV prinesené blízko miesta poslednej známej polohy. Konštrukčne je UAV navrhnuté tak, aby ho bolo možné jednoducho dopraviť na miesto zásahu pomocou väčšieho osobného auta alebo menšej dodávky. V prípade, že je pozemnou stanicou laptop nakonfigurovaný tak ako je uvedený v návrhu a záložným ovládacím prvkom je vysielacia, tak aj tieto komponenty je možné jednoducho dopraviť na miesto zásahu. Pred uvedením UAV do prevádzky je nutné vybrať správne miesto vznosu. Je vhodné aby sa toto miesto nachádzalo na vyvýšenine bez blízkej prítomnosti vysokých objektov, ako sú stromy alebo elektrické vedenia. Do rýchlej a správnej predletovej kontroly je vhodné zapojiť viacero osôb (2 a viac).

Po rýchlej technickej obhliadke lietadla sa vykoná konfigurácia. Táto konfigurácia spočíva v kontrole funkčnosti senzorov, radiacích plôch, motorovej jednotky, napojenia na pozemnú stanicu, funkčnosť kamery a zamerania GPS signálu. Väčšina z týchto činností prebieha automaticky a je možné ju bezpečne vykonať v priebehu 10-tich minút. Počas tejto konfigurácie môže byť zhotovený letový plán. Letový plán sa stanoví pomocou prechodových bodov. Prechodové body sú vypočítané na základe GPS súradníc. Riadiaca jednotka samostatne načíta počiatočnú pozíciu a operátor môže rýchlo a jednoducho zostrojiť letový plán pomocou mapy, ktorá je súčasťou konfiguračného programu v pozemnej stanici. Pri tvorení letového plánu je nutná znalosť výškového reliéfu prehľadávanej oblasti. Na efektívne prehľadávanie danej oblasti by malo byť UAV v 100 metrovej výške nad zemou. Nakoľko UAV nemá rádiovýškomer, ktorý by túto informáciu počas letu poskytoval musí operátor manuálne túto výšku prepočítať na výšku nad morom, ktorá je zadaná do prechodových bodov letového plánu. Po dokončení predletovej konfigurácie je možné s bezpilotným lietadlom vzlietnuť. Tento vzlet je odporúčané vykonať manuálne pomocou vysielачky. Vďaka svojej nízkej hmotnosti a vysokému aerodynamickému potenciálu je možné vykonať vzlet „z ruky.“ Krátko po vzlete sa UAV prepne do automatického letového módu, ktorý bol zadefinovaný v predletovej kontrole.

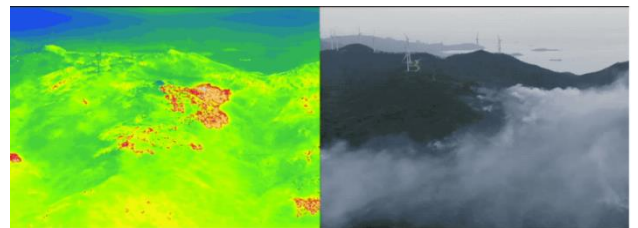
Výpočet veľkosti pokrytej oblasti závisí od nastavenia kamery a letových parametrov. V návrhu zvolené infračervené optické zariadenie zavesené pod lietadlom pod uhlom 60° má rozpoznávaciu dohľadnosť 200 metrov ak sa lietadlo nachádza vo výške 100 metrov. Zorné pole zvolenej kamery je stanovené na 25° . Priemerná rýchlosť letu navrhovaného UAV je 20 km/h a batéria dokáže zásobovať motor na režime najvyššej efektivity pod dobu 30-tich minút. Na základe týchto parametrov dokáže navrhované UAV prehľadať oblasť o rozlohe 76.8 km². Počas letu je záznam z optického zariadenia v reálnom čase prenášaný na pozemnú stanicu a môže byť okamžite vyhodnotený operátorom. Po vykonaní prieskumu zvolenej oblasti je s UAV nutné pristáť. Tento postup by mal byť tiež uskutočnený pomocou manuálneho ovládania aby sa predišlo poškodeniu lietadla. Vďaka svojej nízkej hmotnosti a schopnosti letieť veľmi nízkou rýchlosťou bez straty vztlaku nie je nutné vykonať pristátie na špeciálnu infraštruktúru. Na vykonanie bezpečného pristátia stačí relatívne krátka a rovná plocha. Po pristátí môže

byť UAV v priebehu 5-tich minút opäť pripravené na vzlet s novou batériou. Tento postup sa opakuje až do momentu kedy nie je objavená nezvestná osoba, alebo nebolo ukončené pátranie.



Obrázok 25: Teoretický výpočet rozlohy prehľadanej oblasti. Zdroj: Autori

Rovnaký postup je možné vykonať s UAV pri podobných situáciách ako sú napríklad vyhľadávanie lesných požiarov, pri povodniach, alebo pri záchrane ľudí, ktorých zasiahla lavína a iné. Spomenuté pátranie po lesných požiaroch, je činnosť pri, ktorej sú nasadzované UAV zariadenia po celom svete. Je to presne ten typ činnosti kedy je nutné vo veľmi krátkom čase získať práve jednu dôležitú informáciu. Touto informáciou je ohnisko požiaru a navrhnuté UAV s osadenou infračervenou kamerou ju dokáže spoľahlivo získať.



Obrázok 26: Ohnisko lesného požiaru z pohľadu UAV. Zdroj: [15].

6. Ekonomicko-technické zhodnotenie

Okrem všetkých procesov, ktoré sú spojené s návrhom, konštrukciou, osadením, testovaním a implementáciou do praxe, je nutné zhodnotiť celkový návrh UAV z viacerých hľadísk. Okrem zhodnotenia všetkých technických vlastností a funkcií navrhovaného UAV je potrebné zohľadniť aj výrobné a prevádzkové náklady celého návrhu.

Po zakonštruovaní a zhotovení UAV je možné skonštatovať, že spĺňa všetky prvotné očakávania a požiadavky na prevádzku. V prípade navrhovaného UAV je naplno využitý potenciál radiacej jednotky aj použitého materiálu. Výber motorovej jednotky zabezpečuje dostatočný výkon na danú hmotnosť UAV tak, aby dokázalo bezpečne vykonávať stanovené činnosti aj v náročnejších podmienkach.

Kvalitné zhodnotenie návrhu však vyžaduje porovnávací prvok. Na účely porovnávania navrhovaného UAV bolo zvolené také bezpilotné lietadlo, ktoré má podobné technické a účelové charakteristiky. Do porovnávania bolo zvolené bezpilotné lietadlo s pevným krídlom ALBATROSS UAV RTF od spoločnosti APPLIED AERONAUTICS. Dôvodom výberu tohto UAV bolo nasimulovanie situácie možného záujemcu. Po prehľadaní niekoľko internetových portálov bolo niekoľkokrát ponúknuté práve UAV ALBATROSS. Parametre vyhľadávania boli totožné s

navrhovaným UAV a teda UAV s pevným krídlom na účely vyhľadávania a prehľadávania s možnosťou autonómnych letov a s možnosťou osadenia optickým zariadením s citlivosťou na infračervené žiarenie.



Obrázok 27: ALBATROSS UAV RTF. Zdroj: [16].

Porovnanie nájdeného a navrhovaného UAV je rozdelené do troch kategórií. Týmto kategóriami sú: ponúkané funkcie, technické parametre a cena.

Z hľadiska ponúkaných funkcií, schopností a možností nasadenia sú nájdené a navrhované UAV takmer totožné. Aj v prípade UAV ALBATROSS sú hlavné systémy riadenia zabezpečené pomocou riadiacej jednotky Pixhawk 4. Rovnako ako pri navrhovanom UAV môže byť pozemná stanica tvorená klasickým počítačom a na účely manuálneho záložného riadenia je využívaný široký rad vysielaciek, alebo iný napríklad pákový ovládač. Taktiež rovnako ako pri navrhovanom UAV je možné osadenie klasickou aj infračervenou kamerou, ktorých záznam je na pozemnú stanicu prenášaný v reálnom čase.

Pri pohľade na technické parametre je možné pozorovať viaceré podobnosti, ale aj mnohé odlišnosti, ktoré vyzdvihujú jeden alebo druhý porovnávaný model. Podobnosti týchto modelov sú zjavné v ich rozmeroch. UAV ALBATROSS je väčší len o niekoľko málo centimetrov. Taktiež obidva modely využívajú ako hlavný zdroj energie elektriku uskladnenú v batériách. Výrazne sa však tieto modely odlišujú v použitom materiáli, hmotnosti a v letových vlastnostiach.

Základným konštrukčným materiálom UAV ALBATROSS je hliník, sklenené a uhlíkové vlákna. Vďaka týmto materiálom vykazuje jeho konštrukcia väčšiu pevnosť avšak za cenu zvýšenej hmotnosti. Tento prírastok na hmotnosti nedovoľuje uskutočniť veľmi krátky vzlet, alebo vzlet „z ruky.“ Práve z toho dôvodu je toto UAV ďaleko náročnejšie na pozemnú infraštruktúru. Čo sa týka letových parametrov je UAV ALBATROSS v každom ohľade niekoľko krát výkonnejšie. Letová výdrž môže byť oproti navrhovanému UAV predĺžená až na 2 hodiny pri trojnásobnej rýchlosti letu.

Na druhej strane je však nutné spomenúť aj náklady na údržbu a opravu. Oprava UAV ALBATROSS si vyžaduje špecializované pracovisko s prístupom k veľkému množstvu náhradných dielov. Naopak navrhované UAV je možné jednoducho opraviť tým, že sa poškodená časť opätovne vytlačí na 3D tlačí. Elektrické obvody vo vnútri navrhovaného UAV sú zapojené tak, že diagnostiku prípadného problému dokáže vykonať

splnomocnená osoba, ktorá má aspoň základné znalosti elektriky.

Poslednou porovnávacou kategóriou je cena jednotlivých UAV. V prípade navrhovaného UAV sa jedná o výrobnú cenu, ktorá zahŕňa všetky komponenty potrebné na splnenie požadovaných prevádzkových parametrov. Nájdené UAV je zastúpené nákupnou cenou priamo od výrobcu. Výrobca UAV dovoľuje pri nákupe výber konfigurácie a osadenie. Pri stanovení nákupnej ceny boli do konfiguračných parametrov zadané také komponenty aby boli porovnateľné s navrhovaným UAV.

Pri stanovení ceny jednotlivých modelov nebola zohľadnená riadiaca záložná vysielacia nakoľko táto môže byť zastúpená širokým spektrom zariadení s výrazne odlišnou cenou.

V Tabuľke sa nachádza zoznam jednotlivých použitých komponentov pri stavbe a osadení navrhovaného UAV spolu s ich súčasnou trhovou cenou.

Tabuľka 6: Zoznam a cena jednotlivých komponentov navrhovaného UAV. Zdroj: Autori.

Položka	Približná cena
Výrobný materiál na konštrukciu UAV	50,00 €
Pixhawk 4	185,00 €
GPS modul	42,00 €
Telemetrický modul	60,00 €
Pitot zariadenie	15,00 €
FUTABA prijímač	80,00 €
LI-PO batéria	67,00 €
Regulátor	70,00 €
Motorová jednotka	38,00 €
Servo 5x	28,00 €
FPV kamera	7,00 €
Kamera prijímač	20,00 €
Kamera vysielateľ	32,00 €
Dodatočná kabeláž	10,00 €
Malá batéria 2x	30,00 €
Infračervená kamera	2 700,00 €
Súčet:	3 434,00 €

Z tabuľky je možné vidieť, že z ďaleka najdrahšou položkou celého navrhovaného UAV je optické zariadenie s citlivosťou na infračervené žiarenie. Cenu tejto položky nie je možné ovplyvniť.

Kúpna cena UAV ALBATROSS v konfigurácii RTF (ready to fly – pripravená na okamžité použitie) a po zvolení jednotlivých komponentov je stanovená na približne 13 000 dolárov, čo je v prepočte približne 10 600 €. [16]

Na základe porovnania jednotlivých modelov je možné stanoviť, že navrhnuté UAV poskytuje rovnaké funkcie a prevádzkové využitie ako reálne a široko využívaný model za tretinovú cenu. Z technického aspektu je možné v tomto prípade pozorovať priamu úmeru, a teda koľko násobne vyššia cena toľko násobne lepšie parametre letu ako sú výdrž, alebo rýchlosť. Do úvahy však vstupuje aj fakt, že aspektom ako sú hmotnosť, praktickosť, údržba a náročnosť na pozemnú infraštruktúru je vo výhode práve navrhované UAV.

7. Záver

Aj napriek relatívne vysokým požiadavkám na prevádzkovú schopnosť, skonštruované UAV vykazuje vysoký potenciál. Prvotné testy preukázali vysokú presnosť senzorov, rýchlu odozvu jednotlivých riadiacich funkcií, výbornú kompatibilitu a možnosť rozsiahleho uplatnenia.

Zo spomínaných kvalít je nutné vyzdvihnúť práve kompatibilitu. Zvolená riadiaca jednotka sa dokáže veľmi rýchlo nastaviť na nové prostredie a prevádzku. Okrem nastaviteľnej riadiacej jednotky navrhnuté UAV ponúka širokú voľnosť vo výbere riadiacich prvkov. Možnosť konfigurácie a riadenia z takmer akéhokoľvek počítača znamená pre navrhnuté UAV určitú atraktivitu z pohľadu možného užívateľa. To isté platí aj pre záložnú vysielačku manuálneho ovládania.

Následným krokom v postupnom zavedení navrhnutého UAV do praxe je vykonanie praktických letových skúšok na manuálnom, ale aj automatickom režime letu. Na základe doteraz zozbieraných údajov sa predpokladá, že sa v nich navrhované UAV ukáže ako veľmi efektívny a kvalitný nástroj. V budúcnosti by sa navrhnuté UAV mohlo výrazne podieľať na zefektívnení špecifických činností záchranných zložiek.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj využiteľnosti autonómnych lietajúcich prostriedkov v boji proti pandémie spôsobenej COVID-19, kód ITMS 313011ATR9, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- [1] SKYbrary, „Unmanned Aerial Systems (UAS),“ SKYbrary, 2020. [online]. Dostupné na internete: [https://www.skybrary.aero/index.php/Unmanned_Aerial_Systems_\(UAS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Unmanned_Aerial_Systems_(UAS))
- [2] M. Aljehani, M. Inoue, A. Watanbe, T. Yokemura, F. Ogyu a H. Iida, „UAV communication system integrated into network traversal with mobility,“ Springer Nature Switzerland, 2020. [online]. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/publication/341296640_UAV_communication_system_integrated_into_network_traversal_with_mobility
- [3] A. Avitan, „The Differences Between UAV, UAS, and Autonomous Drones,“ PERCEPTO, 2019. [online]. Dostupné na internete: <https://percepto.co/what-are-the-differences-between-uav-uas-and-autonomous-drones/>
- [4] CIRCUITS TODAY, „Types of Drones – Explore the Different Models of UAV's,“ CIRCUITS TODAY, 2018. [online]. Dostupné na internete: <https://www.circuitstoday.com/types-of-drones>
- [5] A. Chapman, „DRONE TYPES: MULTI-ROTOR VS FIXED-WING VS SINGLE ROTOR VS HYBRID VTOL,“ Australian UAV, 2016. [online]. Dostupné na internete: <https://www.auav.com.au/articles/drone-types/>
- [6] Federation of American Scientists, „Chapter 1 The Nature of Command and Control,“ Federation of American Scientists, 2021. [online]. Dostupné na internete: <https://fas.org/irp/doddir/usmc/mcdp6/ch1.htm>
- [7] Ministerstvo vnútra, „Zákon č. 129/2002 Z. z. o integrovanom záchrannom systéme,“ 2002. [online]. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2002/129/>
- [8] Ministerstvo dopravy, „Zákon č. 143/1998 Z. z. o civilnom letectve (letecký zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov,“ 1998. [online]. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/1998/143/>
- [9] Ministerstvo dopravy, „Rozhodnutie č. 2/2019 zo 14.11. 2019,“ Bratislava: Dopravný úrad, Bratislava, 2019. [online]. Dostupné na internete: <http://nsat.sk/wp-content/uploads/2019/11/R2-2019.pdf>
- [10] ArduPilot Dev Team, „ArduPilot,“ ArduPilot Dev Team, 2020. [online]. Dostupné na internete: <https://ardupilot.org/ardupilot/>
- [11] Holybro, „About Us,“ Holybro, 2019. [online]. Dostupné na internete: <http://www.holybro.com/>
- [12] PX4, „Software Overview,“ Holybro, 2021. [online]. Dostupné na internete: <https://px4.io/software/software-overview/>
- [13] PX4, „Pixhawk 4,“ Holybro, 2020. [online]. Dostupné na internete: https://docs.px4.io/master/en/flight_controller/pixhawk4.html
- [14] ArduPilot Dev Team., „Mission Planner Home,“ ArduPilot Dev Team., 2020. [online]. Dostupné na internete: <https://ardupilot.org/planner/index.html>
- [15] DJI Enterprise, „4 Ways Drones Fight Forest Fires,“ DJI Enterprise, 2021. [online]. Dostupné na internete: <https://enterprise-insights.dji.com/blog/drones-in-forest-fire-response>
- [16] APPLIED AERONAUTICS, „ALBATROSS UAV RTF,“ APPLIED AERONAUTICS, 2021. [online]. Dostupné na internete: <http://store.appliaedaeronautics.com/albatross-uav-rtf/>

IMPLEMENTATION OF SMS INTO THEORETICAL AND PRACTICAL MCC TRAINING

IMPLEMENTÁCIA SMS DO TEORETICKÉHO A PRAKTICKÉHO VÝCVIKU MCC

Michaela Petriková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
miskapetrikova@gmail.com

František Jůn
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jun@lvvc.uniza.sk

Abstract

The main goal of my paper is to implement safety management system into theoretical and practical MCC training. I was inspired for finishing this paper by my own integrated ATPL training at University of Žilina. Work is divided into three main parts. The first part of the paper is theory of safety management system, safety in aviation, loss of control and controlled flight into terrain. Five air accidents are characterized and analyzed in the next section. This part contains air accident Air Dubnica of two aircraft L410 in Dubnica nad Váhom, Air Accident OSSR An-24 Aircraft in Košice, Aviompanija Tatarstan accident in Kazan, accident of cypriot airline Helios and Pakistan International Airlines accident in Karachi, Pakistan. In the last part of the paper is designed implementation of the safety management system into MCC training.

Keywords

safety, safety management system, loss of control, controlled flight into terrain, air accident, MCC

1. Úvod

Letecký priemysel je najmladším a najrýchlejšie sa vyvíjajúcim priemyslom. Letecká doprava je často označovaná ako najbezpečnejšia doprava a to práve preto, že na počet prepravených osôb je nehodovosť v letectve veľmi malá. Mnoho ľudí má však obavy z lietania a to práve z toho dôvodu, že letecké nehody priťahujú pozornosť médií. Keďže letectvo sa neustále zlepšuje a vyvíja a spolu s ním aj bezpečnosť v letectve, je vyvíjaná neustála snaha zvýšiť bezpečnosť a znížiť možnosti rizika.

Bezpečnosť je neoddeliteľnou súčasťou letectva, avšak nebola vždy na takej úrovni ako je dnes. V minulosti bezpečnostným opatreniam v letectve predchádzalo množstvo nehôd a spolu s nimi aj strát na ľudských životoch. V súčasnosti sa miera nehôd v letectve neustále znižuje vďaka aplikovaniu systému riadenia bezpečnosti ktorý má za úlohu znižovať bezpečnostné riziká a rovnako im aj predchádzať.

Cieľom mojej práce je objasniť danú problematiku a navrhnúť implementáciu do teoretického a praktického výcviku MCC. Danú tému som spracovala v troch hlavných celkoch práce.

V úvodnej časti práce vysvetľujem pojem bezpečnosť v letectve, stratu kontroly ako aj riadený let do terénu. Taktiež tu rozoberám legislatívu ktorá rieši bezpečnosť, ale aj dva rôzne modely príčin nehôd. Všetky uvedené teoretické poznatky ktoré som spracovala sú vhodné pre podrobné objasnenie v teoretickom výcviku MCC.

V ďalšej časti práce objasňujem a analyzujem päť leteckých nehôd ktoré slúžia ako príklady k predtým uvedeným teoretickým poznatkom. Spomínanými nehodami by som chcela

poukázať na dôležitosť kvalitného výcviku pilotov vo viacčlennej posádke.

V poslednej časti práce navrhujem samotnú implementáciu do jednotlivých úloh výcviku MCC. Táto implementácia pozostáva z odporúčaní, na čo by sa malo pri jednotlivých úlohách výcviku zamerať, aby sa predišlo podobným nehodám ako boli spomínané nehody.

K tejto práci ma inšpiroval môj vlastný výcvik ktorý som absolvovala na Žilinskej Univerzite v Žiline. Touto cestou by som chcela pomôcť študentom lepšie pochopiť systém riadenia bezpečnosti v letectve, prečo je dôležitý, a takisto poukázať na chyby pilotov pri nehodách, aby sa im predchádzalo.

2. Systém riadenia bezpečnosti

V minulosti bolo zlepšenie bezpečnosti letectva charakterizované prístupom „fly-crash-fix-fly“. Lietalo sa na lietadlách, a potom keď niektoré z nich havarovalo, vyšetrovali sa príčiny vzniku nehody, aby sa zabránilo opätovnému nešťastiu. Niekedy boli príčiny spojené s počasím alebo s mechanickou poruchou, ale častejšou príčinou bola ľudská chyba - zvyčajne pilot. V zásade prevládala filozofia, že ak sa príčinou určil pilot a teda ľudský faktor, bolo potrebné vyškoliť ostatných pilotov aby nerobili tie isté chyby. [1]

Dnes je oveľa produktívnejšie navrhnúť systém, v ktorom budú určené príčiny porúch v maximálnej možnej miere. Moderný a dobre informovaný odborník na bezpečnosť letectva musí mať pracovné znalosti v oblasti identifikácie nebezpečenstva, riadenia rizík, teórie systémov, riadenia ľudských faktorov, organizačnej kultúry, manažmentu a riadenia kvality, kvantitatívnych metód a teórie rozhodovania. [1]

2.1. Definícia systému riadenia bezpečnosti

Komplexne by sme mohli SMS definovať ako dynamický systém riadenia rizík založený na princípoch systému riadenia kvality (QMS) v štruktúre vhodne prispôbenej operačnému riziku aplikovanej v prostredí kultúry bezpečnosti. [1]

3. ICAO legislatíva v oblasti SMS

Najdôležitejšie ICAO dokumenty v oblasti bezpečnosti letectva: Annex 17, Safety management manual a Security manual.

3.1. Annex 17- Bezpečnosť - Ochrana medzinárodného civilného letectva pred činními protiprávneho zasahovania

V určitej dekáde došlo k nárastu trestných činov, ktoré nepriaznivo ovplyvnili bezpečnosť civilného letectva. Koncom 60. rokov tento nárast spôsobil mimoriadne zasadnutie zhromaždenia ICAO v roku 1970. Záverom bola požiadavka vytvoriť novú prílohu k Chicagskemu dohovoru ktorá sa má konkrétne zaoberať problémami protiprávneho zasahovania. Následne sa prijala príloha ako Annex 17 v roku 1974 a predstavuje základ bezpečnostnej ochrany civilného letectva. [2]

3.2. Safety management manual (Doc 9859)

Príprava Príručky riadenia bezpečnosti ICAO (SMM), štvrté vydanie - 2018, sa zahájila po prijatí prvej dohody k Annexu 19 ICAO- riadenie bezpečnosti s cieľom reagovať na zmeny zavedené touto novelou a odrážať znalosti a skúsenosti získané od vydania aktualizácie č. 3 v máji 2013. Aktualizácia č. 4 nahrádza aktualizáciu č. 3 v celom rozsahu. [3]

Aktualizácia č. 4 dokumentu 9859 je určená na podporu štátom pri implementácii účinných štátnych bezpečnostných programov (state safety programmes- SSP). Zahŕňa zabezpečenie toho, aby poskytovatelia služieb implementovali systémy riadenia bezpečnosti (SMS) v súlade s ustanoveniami Annexu 19. S cieľom zaistiť súlad so zásadami riadenia bezpečnosti sa vyvinulo spoločné úsilie zamerané na budúci výsledok každej štandardnej praxe s tým, že sa úmyselne vyhýba nadmernému nariaďovaniu. Kládol sa dôraz na dôležitosť každej organizácie prispôbujúcej implementáciu riadenia bezpečnosti tak, aby zapadla do ich konkrétneho prostredia. [3]

3.3. Security manual (bezpečnostná príručka)

Bezpečnostná príručka je výkladom Annexu 17 v praxi. Annex 17 a dokument 8973 podliehajú zmenám podľa praxe a dopĺňajú sa z hľadiska nových hrozieb a technologického vývoja, čo má vplyv na účinnosť opatrení určených na predchádzanie činními protiprávneho zasahovania. [4]

3.4. ICAO definícia pojmu bezpečnosti

Podľa medzinárodnej organizácie ICAO je bezpečnosť definovaná ako stav, v ktorom je riziko škody spôsobenej osobám alebo hmotným statkom redukované, udržiavané a znižované na prijateľnú úroveň prostredníctvom identifikácie nebezpečia a rizík. [5]

4. Strata kontroly

4.1. Charakteristika straty kontroly

Strata kontroly počas letu bola jednou z najčastejších príčin smrteľných leteckých nehôd vo všeobecnom letectve. Strata kontroly predstavuje moment prekvapenia kedy lietadlo môže ale nemusí letieť vysokou rýchlosťou mimo letovej obálky. [6]

4.2. Príčiny straty kontroly

Je mnoho príčin straty kontroly počas letu či už krátkodobých alebo dlhodobých a zahŕňujú:

- Neschopnosť uvedomovania si situácie, nesústredenie
- Strih vetra alebo turbulencia v bezoblačnom priestore
- Štrukturálna alebo viacnásobná porucha pohonnej jednotky spôsobená napríklad nárazom vtáka, vystavením silnej turbulencii alebo kolízii s iným lietadlom
- Manévry mimo obálky
- Nesprávne rozloženie nákladu
- Nesprávne nastavenie pretlakovania lietadla
- Vzlet bez aplikovania protinámrazovej kvapaliny na krídla lietadla
- Námraza na trupe lietadla vo veľkých výškach alebo značná strata ťahu pohonných jednotiek kvôli námraze na nich
- Požiar pohonnej jednotky
- Vyčerpanie paliva alebo jeho nedostatok
- Nesprávne údaje zobrazované posádke lietadla
- Turbulencia v úplave

Strata kontroly počas letu je hlavnou príčinou smrteľných nehôd dopravných lietadiel. Je tiež potrebné sa pri výcviku zamerať na vyberanie nezvyklých polôh, obnovenie kontroly nad riadením (v súčasnej dobe sú do výcviku implementované postupy UPRT (z angl. Upset recovery training- Výcvik vyberania nezvyklých polôh) a to pri základnom výcviku dopravného pilota, ako aj pri typovom výcviku na lietadlá s viacčlennou posádkou). [6]

Strata kontroly sa často vyskytuje v dôsledku zlého počasia kedy piloti ľahkých lietadiel nie sú schopní vybrať nezvyklé polohy lietadla tak, aby sa udržal let v horizonte. [6]

4.3. Dôsledky straty kontroly

Dôsledky straty kontroly nad lietadlom:

- Inkapacitácia pilotov
- Štrukturálne poškodenie lietadla
- Smrteľné alebo vážne zranenie cestujúcich v dôsledku nárazu do terénu a/alebo požiaru po náraze

Následky straty kontroly nad letom závisia od schopnosti pilotov odvrátiť tento stav ktorý závisí na:

- Príčine, ktorá spôsobuje stratu kontroly
- Skúsenostiach a schopnostiach pilotov
- V akej výške sa nebezpečný stav lietadla odohráva [6]

4.4. Prevencia straty kontroly

- Výcvik pilotov vo viacčlennej posádke, ktorý zdôrazňuje potrebu monitoringu posádky počas letu
- Výcvik pilotov, aby sa zabránilo rozptýleniu od hlavnej úlohy ovládania alebo riadenia lietadla, najmä pri riešení mimoriadnych alebo núdzových okolností
- Výcvik posádky zameraný na štandardné postupy pri hroziacej strate kontroly, ako sú náklon a nepriaznivý strih vetra [6]

5. Riadený let do terénu

Riadený let do terénu je definovaný ako priama zrážka s terénom, vodou, alebo prekážkou bez známkov straty kontroly. Najdôležitejším faktorom pri tomto type nehody je skutočnosť, že lietadlo je v čase nárazu úplne pod kontrolou letovej posádky. Poruchy techniky alebo vybavenia sa nepovažujú za faktory bezprostrednej príčiny nehody, preto je ľudská chyba považovaná za najpravdepodobnejšiu príčinu. [7]

Väčšina nehôd spôsobených riadeným letom do terénu má katastrofické následky. V správe Medzinárodnej asociácie leteckých prepravcov IATA (z angl. International Air Transport Association) o riadenom lete do terénu sa uvádza, že 91% nehôd CFIT medzi rokmi 2010 a 2014 zahŕňalo smrteľné úrazy cestujúcich a/alebo posádky. Počas tohto obdobia riadený let do terénu prispel k 28% celkových úmrtí (707 z 2541). Tieto štatistiky jasne identifikujú CFIT ako hlavnú nepretržitú hrozbu, ktorá si vyžaduje implementáciu zmierňujúcich opatrení z organizačného hľadiska. [7]

Štúdie o ľudskom faktore podieľajúcom sa na nehodách CFIT vykonávala IATA aj americké ministerstvo dopravy. Tieto štúdie sa zameriavali na nehody obchodnej činnosti leteckej dopravy. [7]

5.1. Ľudský faktor pri riadenom lete do terénu

CFIT je druhou najčastejšou príčinou smrteľných nehôd, a to po strate kontroly počas letu. Nehody CFIT boli identifikované ako katastrofické udalosti, pričom 91% nehôd CFIT v rokoch 2010 až 2014 malo za následok smrteľné úrazy. ICAO považuje ľudskú chybu ako hlavnú príčinu nehôd riadeného letu do terénu, čím sa určila analýza ľudského faktora ako kľúč k vyšetrovaniu nehôd tejto príčiny. [7]

Tieto nehody sa vyskytujú hlavne v dvoch definovaných fázach letu: let v cestovnej hladine a priblíženie na pristátie. Fáza priblíženia predstavuje iba 4% letu, je však zodpovedná za 50% všetkých nehôd CFIT.

Jednou z hlavných príčin nehôd CFIT je strata situačného povedomia. Hovoríme teda o nepozornosti pilota kedy nesleduje všetky faktory ovplyvňujúce daný let a spolieha sa na automatizáciu lietadla. [7]

Pre udržanie situačného povedomia, musí byť pilot pozorný a vnímavý vo všetkých fázach letu. Preventívne opatrenia možno implementovať prostredníctvom dôkladného predletového plánovania, zdokonaľovania schopností manuálneho letu a udržiavania vysokej úrovne špecifických znalostí mechaniky a elektroniky lietadla. Jedným z prípadov straty situačného povedomia bol let spoločnosti American Airlines č. 965 v Cali v Kolumbii v roku 1995, keď skúsení piloti zadali nesprávne údaje do systému riadenia letov FMS (z angl. Flight Management System), čo viedlo k odklonu od plánovanej trate a zrážke s terénom. [7]

6. SHELL Model príčin nehôd

ICAO Shell Model, ako je popísané v ICAO DOC 9859 Safety Management Manual je koncepčný nástroj, ktorý je používaný na analýzu interakcie viacerých systémových komponentov. [8]

Koncept (názov odvodený z počiatočných písmen jeho komponentov, software, hardware, environment, liveware) bol prvýkrát vyvinutý Erwynom Edwardsom v roku 1972, s upraveným diagramom na ilustráciu modelu vyvinutým v roku 1975. [8]

Praktický diagram na ilustráciu tohto koncepčného modelu používa bloky na reprezentáciu rôznych zložiek ľudských faktorov. Uvedený diagram blokov nepokrýva prepojenie ktoré je mimo ľudských faktorov (hardvér- hardvér; hardvér- prostredie; softvér-hardvér) a je určený len ako základná pomoc.



Obrázok 28: Schéma modelu SHELL. Zdroj: [8].

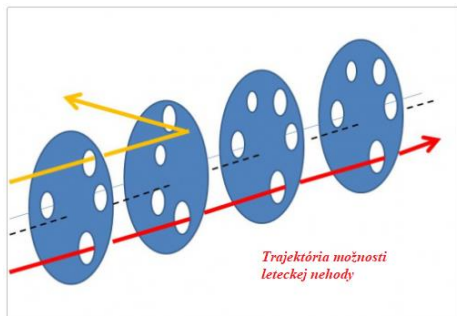
7. James Reason HF Model – Swiss cheese model

Tento model príčin nehôd, pôvodne navrhnutý Jamesom Reasonom, prirovnáva ľudský systém obrany k sérii plátkov náhodne prederavených plátkov syra usporiadaných vertikálne a paralelne s medzerami medzi každým rezom. [9]

Tento model je názorným príkladom toho, že žiadna nehoda nie je náhoda, ale ide o súčinnosť viacerých faktorov. Tieto faktory by sme mohli kategorizovať do štyroch hlavných kategórií:

- Organizácia letovej prevádzky
- Kontrola prevádzky (SMS, CRM)
- Predpoklad pre neštandardný postup
- Nerešpektovanie SOPs (z angl. Standard Operational Procedures)

V modeli švajčiarskeho syra ide o princíp kedy plátky syra reprezentujú obrany proti zlyhaniu. Otvory v plátkoch syra predstavujú individuálne nedostatky v jednotlivých častiach systému a neustále menia svoju veľkosť a umiestnenie vo všetkých plátkoch. Keď sa otvory vo všetkých úrovniach zrovnajú, nastáva letecká nehoda. [9]



Obrázok 29: Model švajčiarskeho syra príčin nehôd. Zdroj: [9].

8. Letecké nehody

8.1. Letecká nehoda dvoch L 410 v Dubnici nad Váhom

8.1.1. Popis nehody

K leteckej nehode došlo dňa 20.08.2015 o 09:20 keď piloti dvoch lietadiel typu L 410 s registračnými značkami OM-SAB a OM-ODQ vykonali vzlet z letiska v Dubnici nad Váhom- LZDB za účelom nácviku skupinového výsadku.

Napriek tomu, že pri vzlete bola dodržiavaná bezpečná vzdialenosť, tak zakrátko došlo k zblíženiu a neskôr aj k zrážke po ktorej sa lietadlá stali neovládateľné, začali rotovať a prešli do pádu ktorý sa skončil najväčšou leteckou katastrofou v civilnom letectve v histórii samostatného Slovenska.

Zahynuli všetci členovia posádok OM-SAB aj OM-ODQ spolu s 3 parašutistami. 31 parašutistov sa zachránilo tým, že stihli včas opustiť lietadlo. [10]

8.1.2. Príčina leteckej nehody

Hlavnou príčinou nehody boli neprípustné manévry veliteľa lietadla registračnej značky OM-ODQ odporujúce všetkým predpisom. Bezprostrednou príčinou nehody bola zrážka lietadiel. [10]

8.2. Letecká nehoda lietadla OSSR An-24

8.2.1. Popis nehody

Lietadlo prepravovalo materiál a osoby rotácie príslušníkov KFOR v Kosove. Transport bol naplánovaný na letisko Priština a späť. Pri návrate lietadlo vstúpilo o 18:31 UTC (z angl. Universal Time Coordinated- Koordinovaný svetový čas) do TMA Košice (riadený vzdušný priestor v okolí letiska, ktorý je vyhradený konkrétnymi bodmi), vysunulo podvozok a začalo klesať. Let pokračoval smerom na bod KEKED, kde bol o 18:36 UTC zaznamenaný posledný radarový záznam o výške lietadla vo vzdialenosti 28 km od letiska Košice.

V tomto čase lietadlo narazilo do lesného porastu čo spôsobilo fatálne škody na trupe a krídlach lietadla, ale aj na chvoste či motoroch lietadla. Lietadlo narazilo do zeme o 18:37 a začalo horieť.

Z rádiokorešpondencie sa vyšetrotaveľmi predpokladá, že si posádka neuvedomovala nebezpečenstvo o čom svedčia aj zaznamenané hodnoty parametrov letu ktoré nedokazujú, že by posádka riešila mimoriadnu situáciu. Skúmaním bolo tiež potvrdené, že u pilotov nebola zistená prítomnosť stresu. [11]

8.2.2. Príčina leteckej nehody

Hlavnou príčinou nehody bolo nedodržanie bezpečnej výšky nad prekážkami pri vizuálnom priblížení na vzletovú a pristávaciu dráhu 01 v Košiciach v noci. Bezprostrednou príčinou nehody bol náraz do lesného porastu.

8.3. Tatarstan let 363

8.3.1. Popis nehody

Lietadlo Boeing 737-500 spoločnosti Aviakompanija Tatarstan havarovalo 17. 11. 2013 na letisku Kazaň. Išlo o vnútroštátny let z Moskvy do Kazane.

Pri ILS priblížení autopilot zachytil „falošnú“ zostupovú rovinu. Nakoľko bolo priblíženie nestabilizované, piloti vykonali postup pre nevydarené priblíženie.

Po následnom zvýšení výkonu pohonných jednotiek zasunuli klapky a podvozok, čo spôsobilo veľký nárast momentu následkom čoho nastalo zväčšovanie uhlu nábehu. Aby piloti zabránili pádu prerušili stúpanie a zahájili klesanie v snahe zvýšiť rýchlosť lietadla. Lietadlo však pokračovalo v klesaní (pri zvýšenom výkone motorov) a zvyšovalo uhol klesania a svoju rýchlosť. Napokon narazilo do zeme pod 75° uhlom. Ihneď po náraze nastal výbuch paliva.

Zahynulo všetkých 44 pasažierov a 6 členov posádky. [12]

8.3.2. Príčina nehody

Hlavnou príčinou nehody bola séria na seba nadväzujúcich chybných rozhodnutí, nesprávne ovládanie autopilota ako aj následné chyby v technike pilotáže pri vykonávaní postupu pre nevydarené priblíženie. Spolupôsobiaci faktor nehody bol taktiež nedostatočný dohľad na výcvik posádky čo spôsobilo jej chybovosť. Bezprostrednou príčinou nehody bol náraz do zeme. [12]

8.4. Helios Airways let HCY522

8.4.1. Popis nehody

Let 522 cyperskej leteckej spoločnosti Helios bol naplánovaný na prepravu pasažierov z Larnacy na Cypruse do Prahy v Českej Republike s medzipristátím v Aténach v Grécku. Lietadlo pri lete v hladine zostalo neovládané v dôsledku nedostatočného pretlakovania čo zneschopnilo posádku. Lietadlo pokračovalo v lete na autopilotovi až pokým sa nevyčerpalo všetko palivo a následne sa zrútilo pri Grammatiko v Grécku. [13]

8.4.2. Príčina leteckej nehody

Hlavnou príčinou nehody bolo nesprávne nastavenie pretlakovacieho systému lietadla v dôsledku nepozornosti posádky pri vykonávaní zoznamu povinných úkonov. Bezprostrednou príčinou leteckej nehody bol náraz do zeme po vyčerpaní všetkého paliva. [13]

8.5. Pakistan International Airlines let 8303

8.5.1. Popis nehody

Dňa 22.5.2020 sa zrútilo lietadlo spoločnosti Pakistan International Airlines.

Posádka vykonala rýchlostne aj výškovo nestabilizované priblíženie ILS (z angl. Instrument Landing System) na prístátie na dráhu 25L na letisku v Karachi, Pakistan. Okrem vysokej rýchlosti taktiež nevysunuli podvozok ani napriek viacerým signalizáciám ktoré ignorovali. Posádka ignorovala aj riadiaceho letovej prevádzky ktorý im dal inštrukcie pre vykonanie postupu pre nevydarené priblíženie. Lietadlo sa dvakrát dotklo dráhy pohonnými jednotkami a až potom piloti zahájili postup pre nevydarené priblíženie. [14]

V dôsledku poškodenia motorov a palivových nádrží pri kontakte s dráhou, po štyroch minútach letu vysadili oba motory a lietadlo sa zrútilo do hustej zástavby domov. Zahynulo 96 ľudí a 2 cestujúci prežili.

Pri vyšetrovaní sa okrem iného zistilo, že 262 pakistanských pilotov získalo licenciu dopravného pilota podvodom a viac ako 30% pilotov nebolo dostatočne kvalifikovaných. [14] [17]

8.5.2. Príčina nehody

Pri vyšetrovaní sa potvrdilo, že piloti havarovaného lietadla sa v záverečnej fáze letu rozprávali o pandémii Covid-19. Hlavnou príčinou nehody bol nedostatočný výcvik posádky spolu s nepozornosťou a nedodržiavaním základných letových postupov (sterilne cockpitu). Bezprostrednou príčinou nehody bol náraz do zastavanej oblasti. [14]

9. Implementácia SMS do teoretického a praktického výcviku MCC

9.1. Výcvik MCC

Výcvik MCC (z angl. Multi Crew Cooperation- Spolupráca vo viacčlennej posádke) je časť výcviku potrebná pre získanie licencie dopravného pilota. Dĺžka výcviku MCC sa líši podľa toho či ide o modulový alebo integrovaný výcvik. Pri modulovom výcviku má tento výcvik rozsah 20 hodín a pri integrovanom výcviku 15 hodín. Teoretická príprava je v rozsahu 25 hodín.

9.2. Stanovenie cieľov implementácie systému riadenia bezpečnosti do výcviku MCC

Hlavným cieľom implementácie systému riadenia bezpečnosti je zvýšenie bezpečnosti pri a po výcviku MCC. Za účelom tohto cieľa je potrebné, aby bol zavedený systém ktorý bude neustále identifikovať a riešiť možné riziká, ktoré sa môžu týkať výcviku pilotov. Keďže ľudský faktor je častou príčinou nehôd, pre zvýšenie bezpečnosti je potrebný kvalitný výcvik MCC.

Tabuľka 1: osnova výcviku MCC v LVVC. Zdroj: [15].

Číslo cvičenia	cvičenie	Vo dvojici		samostatne		celkom	
		hodiny	lety	hodiny	lety	hodiny	lety
R13/00	Pozemná príprava 25 hod						
R13/01	Predletové kontroly	1:00				1:00	
R13/02	Vzlety- normálne postupy	2:30				2:30	
R13/03	Vzlety- núdzové postupy do V ₁ a po V ₁	2:30				2:30	
R13/04	Postupy za letu, postupy pred klesaním na priblíženie, núdzové klesanie	1:30				1:30	
R13/05	Postupy priblíženia podľa prístrojov a prístátia- normálne postupy (NDB, VOR, ILS, GNSS, Visual), s vykonaním Go-around	3:00				3:00	
R13/06	Postupy priblíženia podľa prístrojov a prístátia- normálne postupy (nepracujúca pohonná jednotka), s vykonaním Go-around	3:00				3:00	
R13/07	Lety s použitím autopilota	1:30				1:30	
	CELKOM	15:00				15:00	

Za sledovanie a vyhodnocovanie chýb a rizík pri výcviku MCC je zodpovedný inštruktor. Základnou úlohou inštruktora je dávať rady a odporúčania, dohliadať na bezpečnosť pri lete na simulátore a to pomocou definovania jednotlivých úloh pilotov, vytvorením efektívneho systému riadenia rizík a odovzďaním potrebných poznatkov, ktoré počas výcviku odpozoruje. Inštruktor by taktiež mal po každom lete na simulátore vykonávať analýzy bezpečnosti a reakcií pilotov počas štandardných a neštandardných situácií ktoré boli predmetom letu na simulátore.

9.3. Výcvik

Vzhľadom na spomenuté nehody chcem navrhnúť konkrétne postupy na ktoré by sa mali inštruktori pri vykonávaní jednotlivých úloh výcviku MCC zamerať.

Z leteckej nehody Air Dubnica vyplynulo, že je nutné dodržiavať štandardné letové postupy počas letu či už pri stúpaní ale aj pri lete v letovej hladine. Pri lete v skupine je potrebné dodržiavať bezpečnú vzdialenosť lietadiel počas letu a plne sa venovať riadeniu lietadla. Na základe týchto poznatkov preto navrhujem, aby v úlohe R13/02 aj R13/03 boli nacvičované vzlety v skupine, rovnako ale aj stúpanie letu v skupine a let v skupine v letovej hladine.

Letecká nehoda OSSR lietadla An-24 opäť potvrdila nutnosť štandardných letových postupov počas letu rovnako ako aj potrebu predletovej prípravy. Preto navrhujem aby sa na základe tejto nehody v úlohe R13/04 výcviku MCC sústredilo na rozdelenie pozornosti počas letu podľa prístrojov a riešenie neobvyklých prípadov za letu. Taktiež sa môže v tejto úlohe trénovať rozdelenie povinností pilotov viacčlennej posádky a vykonávanie povinných úkonov pred, počas aj po lete.

Letecká nehoda spoločnosti Aviakompanija Tatarstan odzrkadlila nevyhnutnosť predletovej prípravy rovnako ako aj štandardných postupov pred klesaním lietadla. Nehoda môže taktiež slúžiť ako príklad prečo je potrebné naletieť zostupovú rovinu podľa štandardných postupov a to práve preto, aby nebol zachytený falošný lalok zostupovej roviny. Na základe tejto nehody navrhujem, aby v úlohe R13/04 bol opäť kladený dôraz na postupy a predletovú prípravu a v úlohe R13/07 boli

inštruktorom ako príklad predvedené dôsledky naletenia falošného laloku zostupovej roviny. Rovnako je v tejto úlohe nutné precvičovať správne naletenie ILS priblíženia aby sa podobným leteckým nehodám predchádzalo.

Z leteckej nehody cyperskej leteckej spoločnosti Helios vyplynula nevyhnutnosť vykonávania povinných úkonov a vykonávanie povinností pilotov viacčlennej posádky vo všetkých fázach netu rovnako ako aj pred letom a po lete. Preto odporúčam vykonávanie listu povinných úkonov vo všetkých úlohách výcviku MCC.

Letecká nehoda spoločnosti Pakistan International Airlines odzrkadlila dôležitosť systému riadenia rizík rovnako ako aj nevyhnutnosť neustáleho vyhodnocovania rizík a dodržiavania štandardných operačných postupov. V úlohe R13/04 preto odporúčam precvičovať postupy sterilného kokpitu. V úlohách R13/06 a R13/07 odporúčam precvičovať postupy pri vysadení jednej pohonnej jednotky tak, aby sa lietadlo bezpečne vrátilo na zem.

9.3.1. Rozdelenie postavenia v kokpite lietadla

Zodpovednosťou posádky je vykonávanie povinností k uvedených v postupoch ktoré sa týkajú bezpečnosti lietadla aj osôb na jeho palube a rovnako ako aj povinností prevádzkovej príručky. [24]

Veliteľ lietadla je zodpovedný za bezpečnosť posádky rovnako ako aj za bezpečnosť cestujúcich a nákladu na palube lietadla. Veliteľ lietadla v núdzovom prípade rozhoduje o vykonaní akýchkoľvek opatrení ktoré považuje za daných okolností za potrebné. Znamená to, že v takomto prípade sa môže odchýliť od prevádzkových postupov a predpisov. [16]

10. Záver

Aby sa udržiavala bezpečnosť v letectve, je potrebné udržiavať možné riziká na prijateľnej úrovni rovnako ako aj znižovať pravdepodobnosť incidentov. Touto snahou môžeme dosiahnuť znižovanie výskytu katastrofických leteckých nehôd. Nástrojom ktorý nám vie pomôcť pri udržiavaní bezpečnosti je aj systém riadenia bezpečnosti. Popis tohto systému bol jednou z náplní mojej práce.

Ľudský faktor je príčinou 70% leteckých nehôd, ale bolo by nesprávne tvrdiť, že toto číslo majú na svedomí iba piloti lietadiel. Aby došlo k nehode, je potrebný súbor udalostí na seba naväzujúcich a odvíjajúcich sa od predošlých chýb. To znamená, že aj keď sú ľudia dostatočne vyškolení na to, aby pracovali s tak vyspelou technikou ako sú lietadlá, môžu sami spôsobiť chybu na ktorú budú pravdepodobne naväzovať ďalšie chyby. Efektívnou metódou ako týmto chybám predchádzať je neustále identifikovanie, analyzovanie a riešenie možných rizík práve pomocou systému riadenia bezpečnosti.

Cieľom mojej práce bolo navrhnúť implementáciu systému riadenia bezpečnosti do výcviku MCC. V úvode práce som predstavila teoretické podklady, ktoré by mali byť zahrnuté v teoretickej časti výcviku MCC. Ďalej som predstavila a ozrejnila päť leteckých nehôd ktoré považujem za typické príklady predstavenej teórie v úvode práce. V závere práce som zhrnula moje odporúčania pre výcvik MCC na základe leteckých nehôd ktoré boli uvedené v práci.

Moja práca neslúži ako náhrada existujúcich učebných materiálov na Žilinskej Univerzite v Žiline, ale slúži iba pre ich doplnenie ako pomôcka pre študentov vo výcviku MCC.

Referencie

- [1] STOLZER, Alan J. a John J. GOGLIA. *Safety management systems in aviation* [online]. Second edition. Burlington USA: Ashgate Publishing Company, 2015. ISBN 978-1-4724-3176-9.
- [2] Annexes 1 to 18 [online]. The Convention on International Civil Aviation . Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/3370.pdf>
- [3] "ICAO Safety Management Manual Doc 9859 - SKYbrary Aviation Safety". https://www.skybrary.aero/index.php/ICAO_Safety_Management_Manual_Doc_9859
- [4] "Aviation Security Manual (Doc 8973 – Restricted)". <https://www.icao.int/security/sfp/pages/securitymanual.aspx> .
- [5] ZAVEDENÍ SYSTÉMU ŘÍZENÍ BEZPEČNOSTI U MALÉHO LETECKÉHO DOPRAVCE [online]. Brno, 2008 . Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/3748/final-thesis.pdf?sequence=6>. Diplomová práca. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce ING. ONDŘEJ SCHAUMANN.
- [6] "Loss of Control - SKYbrary Aviation Safety". https://www.skybrary.aero/index.php/Loss_of_Control .
- [7] D. Kelly a M. Efthymiou, "An analysis of human factors in fifty controlled flight into terrain aviation accidents from 2007 to 2017", *Journal of Safety Research*, roč. 69, s. 155–165, jún. 2019, doi: 10.1016/j.jsr.2019.03.009.
- [8] "ICAO SHELL Model - SKYbrary Aviation Safety". https://www.skybrary.aero/index.php/ICAO_SHELL_Model?fbclid=IwAROMipOY6hDjyiZrk0oogRekUjFELSENPydoXBsAwBBA-IB13D6zKDw8I_A .
- [9] "James Reason HF Model - SKYbrary Aviation Safety". https://www.skybrary.aero/index.php/James_Reason_HF_Model .
- [10] ZÁVEREČNÁ SPRÁVA o odbornom vyšetrovaní leteckej nehody lietadiel typu L-410UVP, L-410MA poznávacích značiek OM-ODQ, OM-SAB [online]. Bratislava: Letecký a námorný vyšetrovací útvar, 2016. Dostupné z: https://reports.aviation-safety.net/2015/20150820-1_L410_OM-ODQ--L410_OM-SAB.pdf
- [11] "Správa o vyšetrení leteckej nehody vojenského lietadla An-24 :: Ministerstvo obrany SR". <https://www.mosr.sk/sprava-o-vysetreni-leteckej-nehody-vojenskeho-lietadla-an-24/> .
- [12] Editor, "Tatarstan Airlines - Boeing B737-500 (VQ-BBN) flight TAK363", *Aviation Accident Database*, dec. 02, 2018. <https://www.aviation-accidents.net/tatarstan-airlines-boeing-b737-500-vq-bbn-flight-tak363/> .
- [13] AIRCRAFT ACCIDENT REPORT HELIOS AIRWAYS FLIGHT HCY522 BOEING 737-31S AT GRAMMATIKO, HELLAS ON

- 14 AUGUST 2005 [online]. Nicosia: AIR ACCIDENT INVESTIGATION & AVIATION SAFETY BOARD (AAIASB), 2006. Dostupné z: https://reports.aviation-safety.net/2005/20050814-0_B733_5B-DBY.pdf
- [14] Letecká provozní bezpečnost ve světě v roce 2020. LETECTVÍ + KOSMONAUTIKA. 2021, 2021(2), 76-78. ISSN 0024-1156.
- [15] [MCC- Operational manual: Generic Twin Turboprop. University of Zilina, 2007.
- [16] Príloha VI k návrhu nariadenia Komisie „Letecká prevádzka - OPS“. In: . Európska agentúra pre bezpečnosť letectva, ročník 2012, Časť NCC - IR.
- [17] Havel, k a kol., 2005. Základný kurz pre personál technického zabezpečenia letových prevádzkových služieb, Bratislava : LPS SR,, 2005.

QUALITY OF SERVICE AT AIRPORTS

KVALITA SLUŽIEB NA LETISKÁCH

Branislav Proft

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
branislavproft@gmail.com

Benedikt Badánik

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
benedikt.badanik@fpedas.uniza.sk

Abstract

At present, air transport is on the rise and with it are the airlines, airports and services they provide. Their quality is reflected in revenues as well as in the number of airlines using the airport. The aim of this paper is to evaluate what services are offered to individual airport customers, how to evaluate customer satisfaction with services and the last chapter focuses on evaluating the quality of services offered to airlines and crew, where a method of evaluating services provided by airports from the airlines based on an analysis of current ways of measuring the quality of these services. Finally, possible service improvements are described, which could streamline the operation of the airport.

Keywords

airport, services, quality

1. Introduction

This paper deals with the issue of airport services provided to the airlines and aircrew. Based on the examination of available information, regulations, it is necessary to make recommendations, or changes in the provision of services at the airport from the arrival of pilots at the airport, spending time at the airport, pre-flight training, preparation with the flight crew, security controls, transfer to the aircraft and communication with the airport [1].

Thesis consists of five chapters, where the first part describes the airport customer and who they are. The main part is a description of the individual services that are provided to the pilots at the airport and without which they could not do, such as the transport of pilots to the aircraft, pre-flight briefing, security check, aircraft check or communication with the airport carriage [2].

The next chapter mentions Current trends in the evaluation of the airport service quality where the current solution of the evaluation of the provided services is described, followed by the Airline-centered approach to the evaluation of the airport service quality. The results from the questionnaire, which was provided to several subjects so that the objective result of the research could be evaluated, are also described here [3].

The last chapter is focused on the evaluation of everything that was described in the work and especially according to the questionnaire that was provided, possible improvements to airlines or airports, where the pilots are the ones without whom they could not exist, and it is necessary to provide them services with the best possible use to avoid possible complications.

2. Airport customers

The airport earns money from aviation and non-aviation activities.

2.1. Aviation customers

Aviation customers are:

- airlines,
- pilots,
- flight attendants,
- passengers,
- ground staff,
- ground handling companies,
- travel agencies
- meters, greeters and visitors.

2.2. Non-aviation customers

- tenants and concessionaires, e.g., operators of restaurants, shops, car rentals, exchange offices, banks, parking lots,
- duty-free shops,
- catering companies,
- advertising agencies, etc.

3. Service at airports

Airports provide services that we could divide into two separate groups. These are aviation and non-aviation services. An example of aviation services is the security, maintenance or operation of airport infrastructure required for the take-off of an aircraft as well as for its landing. Further security and maintenance required for baggage handling and security services. Air services also include ground handling services, such as preparing the aircraft for flight, unloading and loading of luggage on the aircraft, or transporting passengers to the aircraft. Non-aviation services include car parking, business activities at the airport (catering services, trade), business services lounges, rentals, advertising, etc. Direct customers of aviation services are airlines and customers of non-aviation services are passengers.

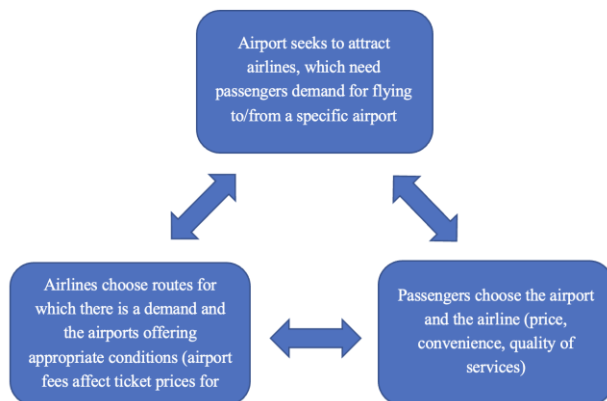


Figure 1: Flow scheme. Source: Authors.

3.1. Airport Ramp services (ground handling)

The following services are provided:

- Loading and unloading of aircraft
- Pushback and towing of aircraft
- Water / Toilet services
- Aircraft cabin cleaning
- Ground Power and Air conditioning Units
- Passengers and crew transports between aircraft and terminals
- Baggage and Cargo sorting and transportation
- Unit Load Device Control

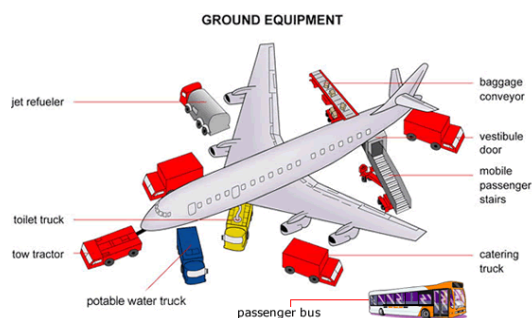


Figure 2: Ground equipment. Source: Authors.

3.2. Airport pilot (crew) services

- Crew shuttle
- Briefing and flight planning area
- Crew lounge
- Individual snooze room
- Security check

3.3. Airport Passenger services

The following services are provided:

- Passenger check-in
- Arrival and departure services (transits)
- Boarding services
- Assistance to passengers with flight irregularities
- Special passenger's assistance
- Check-in systems
- Information desks
- Excess baggage collection
- Flight's statistics
- Lost and found baggage services

4. Current trends in evaluation of the airport service quality

There are several purposes for which airport management conducts studies on airport operations and seeks to measure results: measuring efficiency in financial and operational terms, evaluate investment opportunities, monitor airport safety and environmental performance. Passengers are also interested in the efficient operation of airports, but it should be noted that the main users of airport services are airlines, and it is the airlines that act as agents for airports, passengers and cargo carriers.

Service quality evaluation is provided:

- ACI's Airport Service Quality (ASQ)
- Touchpoint
- Questionnaire
- Employee survey for customer experience (ECE)
- IATA's Level of Service (LoS)
- SERVQUAL model

Table 1: SERVQUAL model of Vilnius International Airport

Service group	Tangibles	Reliability	Responsiveness	Assurance	Empathy	Average
Aircraft landing	10	8.90		8.86	8.43	9.05
Airport parking	9.86	8.79				9.32
Airport equipment use	8.36	9.00	8.57	7.46	8.08	8.29
Landside services	5.14	9.71		9.43		8.09
Aircraft and passenger safety		8.64		8.86		8.75
Non-aviation			7.14	7.71	6.86	7.42

5. Airline-centered approach to evaluation of the airport service quality

In evaluating the quality of airport services it is necessary to use evaluations from several airports because each has a different quality of services and this would result in biased evaluation. Evaluated were: Bratislava Airport, Vienna Airport, Praha Airport, Budapest Airport and Warszawa Airport. The airports were chosen precisely because they are relatively close to each other and airlines more or less decide which airport to choose because of service at airports, but of course for any airport charges or passengers' interest in flying, which also depends on the flights offered at the airport and the airlines which offer flights.

The questionnaire was based on the SERVQUAL model, but with slightly modified service groups. The questionnaire was designed so that the respondent first chose the airport to be evaluated and then rated the airport service groups on a scale from 1-10 where 1 is very bad and 10 very good. 98 respondents who are pilots filled in this questionnaire via Google Form, as in the current situation it was difficult to prepare the questionnaire in person. In the first column there are individual service groups and in the other columns the airports are evaluated where the average rating of the airport for the given service is displayed in the columns. In the last column, the individual services at all airports are averaged, which means how the total individual services should increase, and in the last line is the average value of total services for the airport.

A questionnaire was used in the evaluation, with the help of which it is possible to subsequently improve certain services at individual airports or to take an example from other airports where the given services work very well.

The questionnaire consists of:

- selection of airport
- pre-flight preparation (briefing and flight planning area)
- security
- aircraft approach (lighting, runway quality, ...)
- aircraft parking
- airport ground equipment use (apron airport equipment)
- landside services
- airside services
- aircraft and passengers safety.

Table 2: Result scores of questionnaire service quality at airports. Source: Authors.

Airport	Bratislava	Vienna	Praha	Budapest	Warszawa Chopin Airport	Average score
Pre-flight	8.7	9.7	8.9	9.1	9	9.08
Security	9.7	9.9	9.8	9.9	9.9	9.84
Aircraft approach	9.3	9.7	9.8	9.7	9.5	9.6
Aircraft parking	8.7	9.2	9.3	9.5	9.2	9.18
Airport equipment use	8.9	9.8	9.7	9.8	9.6	9.56
Landside services	8.5	9.4	9.2	9.3	9.1	9.1
Airside services	9.2	9.3	9.1	9.4	9.4	9.28
Aircraft and passengers safety	8.3	9.1	8.8	8.9	8.7	8.76
Average score	8.91	9.51	9.32	9.45	9.3	

6. Conclusion

The thesis briefly describes the services at the airport providing airlines. The aim was to describe all customers of the airport, the services they use and in the last chapter to evaluate the quality of services used by airlines and their crews. This is especially so because more attention is being paid to passengers than to airlines.

The questionnaire indicated that the services provided at airports are at a very high level. However, there are still several services that could be improved and airlines as well as the operation of the airport would be much more efficient and could lead to the arrival of new passengers.

For example, before the flight, the crew should be relaxed, so airports should offer a crew lounge or certain types of snooze zones to prevent crew overload. Furthermore, it can be more sophisticated briefings, which are modernly equipped, where the crew gets as quickly as possible to the information they will need for the flight.

Other services that should be introduced by more airports are, for example, boarding bridges instead of boarding stairs, as the risk of possible damage to the aircraft or injury to passengers is reduced, as passengers would not move around the aircraft and these risks would be eliminated.

The big advantage is refueling with Hydrant Dispensers instead of a fuel tank and using ground power instead of a mobile APU.

On the spot around the aircraft, it reduces the number of objects which minimize the risk of injury. This option is also more time-efficient, as the pumping of fuel as well as the supply of electricity is located directly on apron.

All these services are financially and capacity-intensive. At the moment, airports operate efficiently, even though it doesn't look like that from the point of view of the number of passengers in the last year. It needs to be considered whether such changes (service improvements) would help the airport and return the investment costs. Definitely yes at larger airports but probably not at smaller regional ones. However, it is necessary to take into account that air transport will be more and more developed and the services used by airlines will have to improve with each airport.

References

- [1] Materna, M., Novák, A., Novák-Sedláčková, A. 2020. Economic impact and current position of Žilina Airport within its catchment area. *Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2020*, pp. 193–197
- [2] Brezoňáková, A., Badánik, B., Davies, R. 2019. Brexit in aviation: 2019 update. *Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2019, 2019-October*, pp. 253–261
- [3] Kazda, A., Badanik, B., Tomova, A., Laplace, I., Lenoir, N. 2013. Future airports development strategies. *Komunikacie*, 2013, 15(2), pp. 19–24

THE PROCESSES FOR SECURING THE OPERATION OF AIRCRAFT TECHNOLOGY

PROCESY PRI ZABEZPEČENÍ PREVÁDZKY LIETADLOVEJ TECHNIKY

Kristián Regec

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
kristian.regec20@gmail.com

Martin Bugaj

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
martin.bugaj@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper deals with the issue of processes in securing the operation of aircraft technology. The theoretical part describes the basic concepts such as competence of aircraft technology, legislative requirements, organizations responsible for securing the competence of aircraft technology and a brief overview of the history and development in the field of aircraft technology provision. The analytical part focuses on the methods and procedures for the evaluation of the processes used in the operation of aircraft technology. In this part, the paper also portrays the specific processes which are necessary to secure the operation of aircraft technology. Based on the research of the topic and conclusions, the paper sums up the set of proposals and measures to make the abovementioned processes more effective.

Keywords

processes, aircraft technology, operation

1. Úvod

S procesmi slúžiacimi na zabezpečenie prevádzky lietadlovej techniky sa spoločnosti pôsobiace v predmetnej oblasti stretávajú pravidelne a opakovane. Napriek tomu, že na prvý pohľad by sa mohlo zdať, že sa jedná len o akési jednoduché či dokonca formálne náležitosti, ktoré nestoja za pozornosť, práve opak je pravdou. Množstvo ako aj rozsah týchto procesov, neustále sa meniaci legislatíva a nariadenia a v neposlednom rade aj kapacitné možnosti jednotlivých spoločností, to všetko dohromady predstavuje pomerne vážny problém, ktorého ideálne zvládnutie si vyžaduje extrémne dobré znalosti z danej oblasti, schopnosť predvídania, plánovania, operatívneho rozhodovania, manažovania ako aj mnohé ďalšie zručnosti.

Pri množstve lietadlovej techniky a neustále rastúcom objeme leteckej prepravy sa stáva priam nevyhnutnosťou, a v istom zmysle aj značným umením, dosiahnuť, aby boli všetky tieto procesy zladené takým spôsobom, ktorý by dokázal zabezpečiť plynulé využívanie lietadlovej techniky a to v čo najväčšom možnom rozsahu. Každá chyba môže mať totiž za následok, že konkrétny kus lietadlovej techniky nebude môcť istú dobu vykonávať poslanie, na ktoré je primárne určený. Dochádza tak k stratám, ktoré, vzhľadom na povahu využívania lietadlovej techniky, nie sú určite zanedbateľné. Práve z tohto dôvodu sú v leteckých spoločnostiach za týmto účelom zriaďované samostatné oddelenia, ktorých úlohou je hľadať a optimalizovať spôsoby, ktoré zabezpečia aby boli tieto náležitosti priebežne plnené.

2. Legislatívne požiadavky vymedzujúce spôsobilosť lietadlovej techniky

V bežnom živote sa na každom kroku stretávame s určitými obmedzeniami a nariadeniami, ktoré nám definujú isté mantinely, ktoré sú jasne zadefinované a zvykli sme si na to, že v ich rámci by sme sa mali pohybovať. Najmä v technických oblastiach sú tieto podmienky definované obzvlášť striktné. Oblasť spôsobilosti lietadlovej techniky nie je žiadnou výnimkou.

Vysoká úroveň rigoróznosti legislatívneho vymedzenia v oblasti spôsobilosti lietadlovej techniky má viacero objektívnych a praktických dôvodov. Vo všeobecnosti je v rámci technických oblastí (na rozdiel od napr. prírodných, humanitných či sociálnych oblastí) možné realizovať dôkladnejšie a presnejšie merania a teda je možné aj nastavenie jasne vymedzených podmienok. Skutočnosť, že lietadlová technika sa postupom času stala najdôležitejším druhom prepravy na veľké vzdialenosti, kladie na podmienky jej bezchybného fungovania zvýšené nároky. V neposlednom rade je nutné spomenúť, že aj najmenšie zlyhanie v tejto oblasti môže mať s vysokou pravdepodobnosťou fatálne následky.

Ako novovzniknutý štát sme pochopiteľne stáli pred úlohou vytvorenia vlastnej legislatívy, ktorá by určovala podmienky v oblasti zabezpečenia lietadlovej techniky. Po vstupe do štruktúr Európskej únie sme museli našu legislatívu prispôbiť tak, aby korešpondovala so všeobecne platnou európskou legislatívou. V súčasnej dobe je táto úloha úspešne zvládnutá a máme vypracovaný pomerne komplexný systém zákonov a nariadení, ktoré túto problematiku zastrešujú. Všetky dôležité postupy a procesy, nevyhnutné pri zabezpečení lietadlovej techniky, sú teda legislatívne zadefinované a je potrebné ich striktné dodržiavať.

Jedným z hlavných dokumentov, ktorý je platný vo všetkých krajinách Európskej únie, a teda aj na území Slovenskej republiky, je Nariadenie Komisie EÚ č. 1321/2014, ktoré sa primárne zaoberá „zachovaním letovej spôsobilosti lietadiel a výrobkov, súčastí a zariadení leteckej techniky a o schvaľovaní organizácií a personálu zapojených do týchto činností. Na území Slovenskej republiky sa oblasťou spôsobilosti lietadlovej techniky podrobnejšie zaoberá najmä Zákon č. 143/1998 Z. z. - Zákon o civilnom letectve (tzv. letecký zákon). Z uvedeného zákona si dovoľíme zacitovať aspoň jednu časť a to § 22, v ktorom sú podrobne vymedzené základné požiadavky kladené na letovú spôsobilosť lietadiel. [1]

Nakoľko sledovaná oblasť je pomerne široká, existuje viacero ďalších nariadení, predpisov a dokumentov, ktoré je, v rámci snahy o zabezpečovanie spôsobilosti lietadlovej techniky, taktiež potrebné brať do úvahy. Nezanedbateľné množstvo z nich sa týka aj našich podmienok a preto ich musíme brať do úvahy, dodržiavať a riadiť sa nimi. Za potrebné považujeme spomenúť aspoň ustanovenia ICAO Annex 6/II Prevádzka lietadiel – II. Časť Všeobecné letectvo – lietadlá (Hlava 8 Údržba lietadiel, bod 8.1.1), ktoré pomerne podrobným spôsobom definuje, rozpracováva a súčasne na mnohých miestach aj spresňuje viaceré podmienky, ktoré sa týkajú a úzko súvisia so skúmanou problematikou predkladanej práce, ktorou je oblasť zachovania letovej spôsobilosti lietadiel. [2]

3. Organizácie zabezpečujúce spôsobilosť lietadlovej techniky

Nakoľko letecká doprava zabezpečuje najrýchlejší spôsob prepravy a spojenia medzi v podstate všetkými krajinami sveta, ukázalo sa ako nevyhnutné pokúsiť sa o vytvorenie takej vzájomnej dohody, na základe ktorej by bolo možné jednoznačným spôsobom stanoviť základné a celosvetovo platné podmienky. Za účelom monitoringu a kontroly týchto podmienok dochádzalo postupne k vzniku rôznych organizácií, ktorých primárnou úlohou bolo dozerať na ich dodržiavanie.

Letová spôsobilosť lietadla je limitovaná časom, prípadne počtom nalietaných hodín, resp. počtom prístátí. V súčasnej dobe je organizáciou oprávnenou poskytovať sledovanie letovej spôsobilosti lietadiel Continuing Airworthiness Management Organisation (CAMO), ktorá bola schválená nariadením Komisie (EÚ) č. 1321/2014. [3] Jednou z jej základných úloh CAMO je riadiť a koordinovať všetky postupy, ktoré sú nevyhnutné pri snahe o zachovanie letovej spôsobilosti lietadiel a to v súlade s rozsahom a postupmi príručky pre riadenie zachovania letovej spôsobilosti Continuing Airworthiness Management Exposition (CAME). [4]

Okrem práva riadiť zachovanie letovej spôsobilosti lietadiel vykonáva organizácia CAMO aj niektoré ďalšie činnosti, ktoré s touto oblasťou bezprostredne súvisia. Jedná sa o nasledujúce činnosti:

- predlžovanie platnosti osvedčenia týkajúceho sa overenia letovej spôsobilosti lietadlovej techniky;
- spracovanie programu údržby;
- kontrahovanie časti úloh riadenia týkajúcich sa oblasti pre zachovanie letovej spôsobilosti;
- vydávanie odporúčaní príslušnému úradu pre vydanie osvedčenia o overení letovej spôsobilosti;

- vydanie odporúčaní príslušnému úradu pre vydanie osvedčenia o overení letovej spôsobilosti lietadiel importovaných do EÚ;
- zabezpečenie transferu registrácie lietadiel medzi členskými štátmi EÚ;
- ostatné činnosti v rozsahu dokumentu s názvom Nariadenia Komisie (EÚ) č.1321/2014. [5]

Na území Slovenskej republiky dohliada na dodržiavanie stanovených národných požiadaviek týkajúcich sa letovej spôsobilosti lietadiel civilného letectva ako aj požiadaviek Európskej agentúry pre bezpečnosť letectva (EASA) odbor spôsobilosti lietadiel (OSL), ktorý patrí pod Dopravný úrad. Jeho hlavnou úlohou je zabezpečenie dodržiavania národných požiadaviek a požiadaviek Európskej agentúry pre bezpečnosť letectva týkajúcich sa letovej spôsobilosti lietadiel civilného letectva. Okrem toho má vo svojej kompetencii plnenie ďalších špecifických úloh. [5]

4. Špecifiká vývoja zabezpečovania prevádzky lietadlovej techniky na území Slovenska

Od počiatkov rozšírenia civilnej leteckej prepravy prešlo územie Slovenskej republiky viacerými politickými zmenami, ktoré sa odrazili aj vo vývoji v oblasti zabezpečovania lietadlovej techniky. Počiatky spadajú ešte do čias Rakúsko-Uhorska a následne bolo Slovensko dlhé obdobie súčasťou Československa a to až do roku 1993, kedy získalo samostatnosť.

Po skončení prvej svetovej vojny došlo k prerozdeleniu politického vplyvu a k vzniku nových štátov, pričom 28. októbra 1918 sme sa stali súčasťou novovzniknutej Československej republiky (ČSR). Následný vývoj v tejto oblasti bol totožný s vývojom v Českej republike. Už v priebehu roka 1919 bolo vtedajším Ministerstvom verejných prác ČSR zriadené Vzduchoplavecké oddelenie, ktoré bolo neskôr premenované na Odbor letecký. Za dôležitý míľnik je možné označiť rok 1923, kedy sa ČSR stala členom prvej medzinárodnej komisie pre letectvo – CINA. [6]

Neustále vzrastajúci rozvoj v oblasti leteckej dopravy logicky vyústil do potreby legislatívneho ošetrovania viacerých otázok. Z uvedeného dôvodu bol vypracovaný a v priebehu roka 1925 aj prijatý Zákon č.172/1925 Sb. o letectve. Na svoju dobu sa jednalo o veľmi progresívnu a súčasne aj podrobne prepracovanú legislatívnu normu, ktorej niektoré časti sa, po nevyhnutných prispôbeniach, v podstate používajú až do súčasnosti. Tento zákon bol neskôr novelizovaný zákonom č.48/1930 Sb. a udržal sa v platnosti až do roku 1956. [7]

Z ďalších významných udalostí spomenieme aspoň rok 1964 kedy došlo k rozdeleniu Štátnej leteckej správy na Štátnu leteckú inšpekciu a Správu dopravných letísk. Významné udalosti nastali aj v roku 1969, kedy u nás došlo k vzniku podniku pre leteckú činnosť SLOV-AIR ale najmä k rozdeleniu Správy dopravného letectva na Slovenskú správu dopravných letísk a Českú správu dopravných letísk. V roku 1975 došlo k procesu transformácie 5. sekcie Stálej dopravnej komisie RVHP na Stálu komisiu RVHP pre civilné letectvo. Nakoľko územie Československa spadalo do tzv. východného bloku, podliehala letecká preprava princípom centralistického riadenia. [7, 8]

Od roku 1993, kedy došlo k vzniku samostatnej Slovenskej republiky, sme z pochopiteľných príčin boli svedkami viacerých

udalostí, ktoré významným spôsobom ovplyvnili oblasť zabezpečenia prevádzky lietadlovej techniky. Ako sme už v spomínali pre novovzniknutý štát bolo nevyhnutné vytvoriť vlastnú legislatívu a súčasne sa opätovne zaradiť do medzinárodných spoločenstiev, ktoré túto oblasť zastrešujú.

Procesy potrebné pri zabezpečovaní prevádzky lietadlovej techniky sa neustále menia a vyvíjajú. Čoraz väčšiu úlohu zohráva v tejto oblasti vývoj nových technológií ako aj prispôsobovanie sa podmienkam nadnárodných štruktúr. Nakoľko letecká doprava dokáže efektívne spájať všetky štáty sveta, sme svedkom globalizačných procesov, ktoré zohrávajú, najmä v posledných rokoch, dôležitú úlohu. Ich cieľom je dosiahnuť, aby sa všetky štáty sveta zaviazali dodržiavať rovnaké pravidlá. Slovenská republika nie je v tomto prípade výnimkou a z veľkej časti sa musí prispôbovať zavedeným novým trendom a pružne reagovať na nové prijaté pravidlá.

5. Procesy zabezpečovania prevádzky lietadlovej techniky

Je nevyhnutne potrebné neustále dbať na to, aby si letecká technika dokázala udržiavať požadovanú technologickú úroveň ako aj bezporuchovosť. Pozornosť by mala byť venovaná nie len technickým požiadavkám, ale aj oblasti pozemnej obsluhy lietadiel. Vhodne naplánovanie a načasovanie procesov, ktoré sú pre zabezpečenie týchto úkonov nevyhnutné, je jednou zo základných podmienkou ich úspešného zvládnutia. V poslednej fáze životného cyklu je potrebné prijímať rozhodnutia súvisiace s vyradením lietadlovej techniky z prevádzky, s jej demontážou či prípadným uskladnením.

Údržba lietadlovej techniky

V prvom rade považujeme za potrebné definovať samotný termín údržba. V rámci STN EN 13306, ktorá je slovenskou verzou európskej normy EN 13306: 2017, sa pod pojmom údržba rozumie „kombinácia všetkých technických, administratívnych a riadiacich činností počas životného cyklu objektu s cieľom udržať alebo obnoviť taký jeho stav, v ktorom môže vykonávať požadovanú funkciu.“ [9]

Medzi hlavné ciele procesu údržby, opravy a revízie leteckej techniky je vo všeobecnosti možné zaradiť:

- snaha o zaistenie čo najvyššej úrovne bezpečnosti a spoľahlivosti leteckej techniky a príslušných zariadení a súčasne, v prípade potreby, aj obnovenie jej bezpečnosti a spoľahlivosti,
- získavanie a zhromažďovanie informácií potrebných pre opravy techniky a jej komponentov a na vývoj nástrojov pre techniku a komponenty, ktoré majú byť úplne opravené prípadne nahradené v priebehu procesu údržby,
- získavanie a následné správne využívanie informácií o objektoch a o procesoch nevyhnutných pre optimalizáciu procesu údržby na zabezpečenie požadovanej úrovne bezpečnosti a spoľahlivosti,
- snaha o dosahovanie týchto cieľov v stanovených časových limitoch a súčasne s vynaložením minimálnych finančných nákladov. [10]

Pri údržbe lietadiel ide o vysoko regulovanú činnosť, v rámci ktorej je nevyhnutne potrebné, aby bol každý zásah v maximálne

možnej miere dokumentovaný a preverený. Zároveň ho musí vykonať pracovník, ktorý má na tento zásah príslušnú kvalifikáciu, ovláda a dodržiava všetky schválené postupy a používa pri tom predpísané náradie a postupy. Pre všetky výrobky z oblasti leteckého priemyslu sú charakteristické zložité konfigurácie a pomerne dlhý technický život. Výnosy z tohto odvetvia nie sú tvorené iba ziskami z predaja leteckej techniky, ale aj výnosmi tvorenými nevyhnutnou údržbou, opravami a revíziou, ktoré slúžia na to, aby bola zabezpečená požadovaná jej prevádzkyschopnosť na tridsať a viac rokov. [11]

Medzi hlavné subjekty v etape zabezpečenia prevádzky leteckej techniky patria jej samotní prevádzkovatelia, výrobcovia ako aj rôzni subdodávatelia a medzičlánky pôsobiace v predmetnej oblasti. Zároveň sa do tejto skupiny zaradzujú aj rôzne spoločnosti, ktoré sa akýmkoľvek spôsobom podieľajú na jej údržbe, opravách a revíziách. Prevádzkovatelia sa snažia zabezpečiť jej bezpečnú prevádzku a to pri minimálnych prevádzkových nákladoch. [12]

Je len prirodzené, že v priebehu prevádzkovania leteckej techniky dochádza z času na čas nevyhnutne na jej jednotlivých častiach aj k vzniku rôznych porúch. Za účelom zabránenia vzniku potenciálne nebezpečných situácií, ako aj z dôvodu eliminácie už existujúcich porúch, je nesmierne dôležité dokázať včas prijať a implementovať náležité opatrenia a to tak na technickej, ako aj organizačnej úrovni. Práve takéto opatrenia, v súčinnosti s ošetrovaním, prehliadkami a kontrolami, spoluvytvárajú celý systém technickej údržby leteckej techniky.

Diagnostika lietadlovej techniky

Rastúca zložitosť prevádzky modernej leteckej techniky, neustály trend na znižovanie nákladov na jednej strane a neustále rastúce požiadavky na bezpečnosť a spoľahlivosť na strane druhej, kladú na proces zabezpečovania prevádzky lietadlovej techniky nové výzvy. Odpovede na tieto výzvy prináša využívanie moderných diagnostických systémov a pokročilých metód analyzovania zaznamenaných dát. Systémy vybavené signálovými procesormi s väzbou na palubný počítač a snímačmi (senzormi) diagnostických veličín sú v reálnom čase schopné zabezpečiť primárne informácie o technickom stave leteckej techniky. [13, 14]

Odbor, ktorého úlohou je podrobne sa zaoberať metódami a prostriedkami využiteľnými pri procesoch zisťovania technického stavu objektov sa nazýva technická diagnostika. Hlavným cieľom technickej diagnostiky je zisťovanie technického stavu skúmaného objektu.

Zrejme najdôležitejšou otázkou, na ktorú je potrebné v rámci procesu technickej diagnostiky hľadať odpovedať, je potreba výberu čo najvhodnejších diagnostických veličín. Jedná sa o nositeľov takých skupín informácií o technickom stave diagnostikovaného objektu (prípadne niektorej z jeho častí), ktorých obsahom bude požadovaná výpovedná hodnota. Relevancia tejto veličiny významným spôsobom determinuje schopnosť sledovaného objektu požadovaným spôsobom zvládať plnenie konkrétnych funkcií. Samozrejme, to všetko sa musí diať v súlade s predpísanými technickými podmienkami, ktoré sú zafinancované aj v rámci predpisov o jeho používaní v prevádzkovom stave. [15]

Nezanedbateľnú úlohu v tomto procese zohráva aj využívanie správneho softvéru, prostredníctvom ktorého je umožnené

zobrazenie presných hodnôt snímaných parametrov ako aj ich následné vyhodnocovanie zo strany technického personálu. Zároveň sú sledované a na základe skúseností z prevádzky a údržby následne upresňované limitné hodnoty parametrov, pri ktorých je nevyhnutné vykonávať určité servisné zásahy (napr. zoradenie parametrov, opravy pri poruchách a pod.). [13]

Pozemná obsluha lietadiel

Ďalšou strategicky významnou oblasťou v rámci procesov zabezpečovania prevádzky lietadlovej techniky je nepochybne odvetvie, ktoré sa zaoberá pozemnou obsluhou samotných lietadiel. Prostriedky, ktoré sa v tejto oblasti využívajú, patria medzi integrálne prvky slúžiace na podporu lietadiel. Zároveň tvoria fundamentálnu súčasť a to tak leteckého technického, ako aj prevádzkového zabezpečenia.

Pri snahe o definovanie vybavenia pozemnej podpory lietadiel je vhodné, ak budeme na túto oblasť nazeráť ako na istý priemyselný pojem, ktorého cieľom je označiť podporné vybavenie. Jedná sa pri tom o také vybavenie, ktoré sa obvyčajne nachádza priamo na letisku a ktoré sa používa na údržbu lietadlovej techniky medzi jednotlivými letmi. [16]

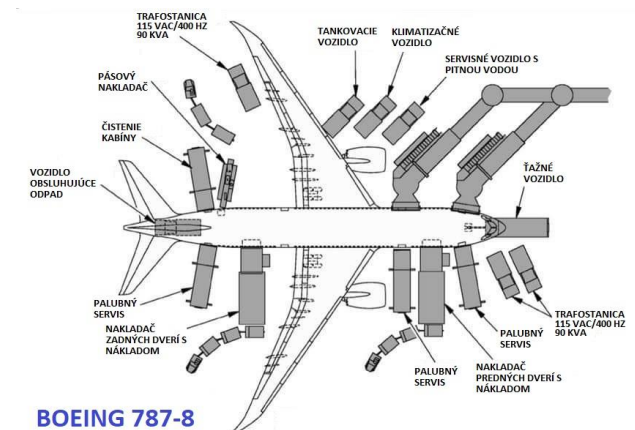
Medzi prostriedky využívané za účelom pozemnej obsluhy lietadlovej techniky sa zaradujú aj všetky podporné vybavenia, ktoré sa nachádzajú na letisku. Obyčajne sú situované na odbavovacích plochách, prípadne v ich obslužnej oblasti alebo v blízkosti jednotlivých terminálov. Jedná sa o také druhy pozemných podporných zariadení, ktorých primárnym účelom je zabezpečiť údržbu lietadiel medzi jednotlivými letmi, ako aj podporu prevádzky lietadiel na zemi. Vo všeobecnosti je sem možné zaradiť viacero pozemných operácií, mobilitu lietadiel a operácie súvisiace s nakladaním/vykladaním nákladu či nástupom/výstupom cestujúcich. [17]

Požadovanú úroveň, kvalitu ako ak požiadavky prostriedkov pozemnej obsluhy lietadiel upravujú viaceré medzinárodné ako aj európske normy. Na základe vymedzení obsiahnutých v európskej normy BS EN 12312 Aircraft ground support equipment. Specific requirements (Pozemné zariadenia pre lietadlá. Špecifické požiadavky) sa medzi najdôležitejšie prostriedky slúžiace na pozemnú obsluhu lietadiel zaradujú:

- zariadenia, ktorých primárnou funkciou je zabezpečovanie ohrevu vzduchu a fungovanie klimatizácie,
- prostriedky zabezpečujúce plnenie lietadlovej techniky pohonnými hmotami, palivom a prevádzkovými kvapalinami,
- prostriedky, prostredníctvom ktorých je možné zabezpečiť na plnenie lietadiel plynmi v stlačenej forme,
- prostriedky slúžiace na kontrolu a preskúšavanie vybraných elektrických systémov lietadiel (spúšťanie leteckých motorov) ako aj kontrolu a dopĺňanie systémov hydrauliky,
- prostriedky využívané v procese odmrazovania lietadlovej techniky a jej ochrany pred možnou námrazou,
- technické prostriedky, ktoré sú využívané v oblasti špeciálnej obsluhy dopravných lietadiel,
- prostriedky slúžiace na umývanie lietadlovej techniky,

- prostriedky určené na ťahanie, vytlačenie a zatlačenie lietadiel (technika a prostriedky pre manipuláciu s lietadlami). [18, 19, 22, 23]

V rámci procesu selekcie prostriedkov, ktoré sú v oblasti pozemnej obsluhy lietadiel využívané je nevyhnutné dôkladne poznať a zároveň brať do úvahy pomerne veľké množstvo okolností. Veľmi vysoká miera dôrazu je v prvom rade kladená najmä na voľbu typu a úrovne realizovaného úkonu, ďalej na množstvo líniových staníc, ale aj na veľké množstvo rozličných úkonov, ktoré sú pre konkrétne typy lietadiel nevyhnutné, na rozsah miery opráv jednotlivých komponentov a pod. [20]



BOEING 787-8

Obrázok 1: Príklad typického rozmiestnenia techniky zabezpečujúcej pozemnú obsluhu lietadla typu Boeing 787-8. Zdroj: Boeing.

Systémy manažovania a monitorovania stavu lietadlovej techniky

Dôležitú, hoci často do určitej miery nedostatočne ocenenú, oblasť v procese zabezpečovania prevádzky lietadlovej techniky predstavuje aj oblasť manažmentu či plánovania. Existuje viacero rôznych systémov a prístupov, ktorých primárnou úlohou je snaha o dosiahnutie takej kombinácie procesov, s využitím ktorých by bolo možné dokázať čo najefektívnejším spôsobom zabezpečiť tak realizáciu ako aj optimálne zvládnutie všetkých nevyhnutných postupov.

Pri moderných typoch lietadlovej techniky funguje automatický zber a dát a ich vyhodnocovanie. Hovoríme o tzv. AHMS – Aircraft Health Monitoring Systems čiže systémoch monitorovania (technického) stavu lietadla. Tieto systémy sú využívané za účelom:

- monitorovania stavu hlavných častí lietadla a to najmä monitorovanie stavu motora / leteckého lopatkového motora (EHM – Engine Health Monitoring).
- systémy monitorovania (technického) stavu a použitia (prevádzky), označované ako HUMS (Health and Usage Monitoring Systems). [21]

Pod skratku HUMS spadajú všetky činnosti a úkony, ktoré sú zamerané na oblasť zberu a zaznamenávania údajov (ODR – Operational Data Recording) a využívajú rôzne analytické postupy. V súčasnosti ich využívajú nie len všetky moderné lietadlá ale aj vrtuľníky. Hlavnou snahou je dosiahnutie čo najvyššieho stupňa pohotovosti, eliminácia možných porúch a súčasne zabezpečenie bezpečnosti lietadlovej techniky. Popri

ich každodennom využívaní v praxi zároveň prebieha aj nepretržitá snaha o ich postupné zdokonaľovanie. [21]

Medzi jednu z najdôležitejších súčastí, spadajúcej do oblasti manažmentu stavu lietadlovej techniky, je nepochybne potrebné zaradiť oblasť manažovania stavu motora (Engine Health Management – EHM). Práve v tejto oblasti došlo v poslednom období k pomerne dôležitej zmene, ktorú je vhodné spomenúť. Namiesto dovtedajšieho pojmu monitorovanie stavu motora sa v praxi začal používať pojem manažment stavu motora, ktorý má v sebe zahrnutý širší význam. [13]

6. Návrhy a odporúčania pre prax

V priebehu posledných približne dvanástich mesiacov došlo vo svete k situácii, ktorú by nikto nemohol vopred predpokladať a ktorá v konečnom dôsledku zapríčinila, že sa nami zvolená oblasť stala ešte omnoho aktuálnejšou, ako sme by sa pri jej výbere mohli pôvodne nazdávať. V období, v ktorom sme uvažovali nad voľbou témy našej diplomovej práce, totiž začalo postupne dochádzať k výraznej redukcii objemu leteckej dopravy vo svete. Súviselo to pochopiteľne s pandémiou ochorenia Covid-19 a s postupným prijímaním nevyhnutných opatrení, zameraných na snahu o zabránenie šíreniu tohto ochorenia vo svete. Z uvedeného dôvodu bol objem letov postupne do veľkej miery obmedzovaný a obrovské množstvo leteckej techniky bolo nevyužívané resp. jej využívané bolo postupne zredukované iba na minimálny rozsah.

V súčasnej dobe, kedy sa postupne blížíme ku ukončeniu procesu spracovania zvolenej témy predkladanej práce (máj 2021), už môžeme celkom zreteľne vnímať pomerne veľké množstvo náznakov a indícií, že pandemická situácia vo svete sa v globále začína zlepšovať. Priamym dôsledkom toho je, že mnohé opatrenia, ktoré boli pred časom prijaté, sa postupne začínajú zmiernovať. Uvedená skutočnosť, v kombinácii s či už ekonomickými záujmami, tlakom jednotlivých vlád, nadnárodných spoločností, ale v neposlednom rade aj s požiadavkami bežných obyvateľov, má za následok, že v dohľadom čase môžeme veľmi pravdepodobne očakávať postupné opätovné naštartovanie leteckej dopravy a to v čoraz väčšom rozsahu.

Nakoľko existuje pomerne vysoký predpoklad, že uvedené uvoľňovanie v najbližšom období reálne v mnohých častiach sveta skutočne nastane, je nevyhnutné, aby na neho dokázali letecké spoločnosti adekvátnym spôsobom zareagovať. Ako už bolo povedané, letecká technika bola v posledných viac ako dvanástich mesiacoch využívaná iba v značne obmedzenom rozsahu a práve to je dôvodom, že v procese jej opätovného spustenia bude významnú úlohu zohrávať práve efektívne zvládnutie a manažovanie všetkých procesov, ktoré sa pri zabezpečení jej prevádzky využívajú.

Zanedbanie týchto náležitostí by veľmi pravdepodobne mohlo viesť k značnému oneskoreniu pri spojzdrnení lietadlovej techniky a pri jej následnom zaradzovaní do prevádzky, čo by sa nepochybne odzrkadlilo aj poklesom firemnej pozície na trhu. Letecké spoločnosti, ktoré nebudú schopné zabezpečiť aby boli všetky nevyhnutné procesy v potrebnom čase zrealizované, tak môžu stratiť svoju konkurenčnú výhodu, čoho priamym dôsledkom bude aj zaznamenávanie ďalších, a to nezanedbateľných, finančných strát. Nakoľko finančná situácia mnohých leteckých spoločností je na už teraz, po vyše roku trvania rôznych obmedzení súvisiacich s podmienkami leteckej

prepravy, pomerne nelichotivá, produkcia ďalších finančných strát by sa pre ne mohla ukázať v konečnom dôsledku ako likvidačná.

Nemalo by sa zabúdať ani na ďalšiu skupinu, do ktorej spadá povinnosť priebežnej údržby ako aj zabezpečovania všetkých potrebných procesov pre tú časť lietadlovej techniky, ktorá ostala počas obdobia trvania pandémie Covid-19 v používaní. Aj táto časť si bude vyžadovať určitú, hoci mierne odlišnú, formu kontroly a zabezpečenia. Do popredia sa tak dostávajú aj ďalšie úlohy, ktoré sa týkajú predovšetkým otázky správneho časového manažmentu.

Určitú úroveň rizika, ktorého podcenenie by mohlo viesť ku vzniku ďalších možných problémov, vidíme aj v rámci ďalšej skupiny lietadlovej techniky, ktorá v poslednom roku fungovala iba v obmedzenom režime používania. Riziko v tomto prípade spočíva najmä v tom, že tieto stroje nemohli byť vyťažované do takej miery, ako by tomu malo byť za optimálnych okolností a preto si myslíme, že v záujme bezpečnosti bude nevyhnutné vykonať ich dôkladnú kontrolu.

Ukazuje sa, že najdôležitejšiu úlohu v oblasti riadenia procesov pri zabezpečení prevádzky lietadlovej techniky budú zohrávať predovšetkým schopnosti vedúcich pracovníkov v jednotlivých leteckých spoločnostiach, zamerané na správne načasovanie a manažovanie jednotlivých procesov. Nesmierne dôležité bude aj neustále monitorovanie vývoja situácie vo svete a všetkých zmien, ktoré sa tejto oblasti priamo dotýkajú.

Jednu z kľúčových úloh však bude predstavovať aj pripravenosť a schopnosť leteckých spoločností na všetky prípadné zmeny adekvátnym spôsobom reagovať. Nezanedbateľný vplyv na úspešnosť bude mať aj ich schopnosť v správnom čase alokovať dostatočné zdroje a následne aj ochota dostatočný počet týchto zdrojov vynaložiť. Súčasne však bude potrebné zabezpečiť, aby nedochádzalo k tomu, že spoločnosť nebude schopná v adekvátnom rozsahu pokrývať všetky potreby trhu.

Dostatočná miera pochopenia dôležitosti aktuálnej situácie, v kombinácii s dostatočnou predprípravou, môžu jednotlivým leteckým spoločnostiam významným spôsobom napomôcť k tomu, aby boli schopné zabezpečiť realizáciu všetkých potrebných procesov v správnom čase, v požadovanej kvalite a v neposlednom rade aj v potrebnom rozsahu.

Zhrnutie týchto oblastí, ako aj najdôležitejších procesov, na ktoré sa v rámci jednotlivých oblastí bude predovšetkým potrebné zamerať, prezentujeme v nasledujúcej schéme.



Obrázok 2: Prehľad vybraných procesov nevyhnutných v procese zabezpečenia prevádzky lietadlovej techniky. Zdroj: Autori.

7. Záver

Poznanie a dodržiavanie všetkých procesov nutných pre zabezpečenie prevádzky lietadlovej techniky, predstavuje pre letecké spoločnosti jeden z nevyhnutných predpokladov k tomu, aby mohli svoju činnosť vôbec vykonávať. V rámci snahy o to, aby lietadlá absolvovali čo najviac letových hodín, ktoré generujú hlavnú časť zisku, sa jedná o oblasť, v ktorej je rýchla a správna orientácia nevyhnutnosťou.

Dôležitosť tejto problematiky zvlášť vyniká práve v tomto období, kedy sa očakáva, že obmedzenia, vyplývajúce zo snahy o zabránenie šírenia ochorenia Covid-19 vo svete, sa postupne začnú uvoľňovať. Nakoľko mnohé z týchto opatrení boli zamerané práve na cestovanie a teda sa priamo týkali využívania leteckej techniky, dá sa s vysokou mierou pravdepodobnosti predpokladať, že po ich zrušení nastane v tejto oblasti prudký pohyb.

Včasná zvládnutie všetkých procesov zameraných na to, aby bola lietadlová technika k dispozícii hneď, ako ju bude možné opätovne vo veľkom rozsahu využívať, sa stáva nevyhnutným predpokladom k tomu, aby mohli letecké spoločnosti opäť poskytovať služby a pomaly začať znižovať finančné straty, ktoré im v priebehu posledného roka vznikli.

Nakoľko sa jedná o pomerne širokú oblasť a mnohé z procesov na seba nadväzujú, ich správne naplánovanie, zosúladenie a realizácia môže zabezpečiť v danom okamihu nezanedbateľnú konkurenčnú výhodu. Od správneho manažovania týchto činností sa bude odvíjať úspech mnohých spoločností, ktoré tak môžu získať množstvo nových zákazníkov a posilniť svoju pozíciu na trhu. V prípade nezvládnutia, resp. nesprávneho zareagovania na meniace sa podmienky, je možné očakávať významné problémy a negatívne ekonomické dopady, ktoré len prehĺbia deficit, v ktorom sa už dnes pomerne veľké množstvo týchto spoločností nachádza.

Referencie

- [1] ÚRADNÝ VESTNÍK EURÓPSKEJ ÚNIE, 2014. Nariadenie komisie (EÚ) č. 1321/2014. [online]. [cit. 2021.02.01]. Dostupné na internete: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1321&from=RO>>
- [2] ICAO.INT, 2017. ANNEX 6 - Operation of Aircraft Part II - International General Aviation. [online]. [cit. 2021.02.01]. Dostupné na internete: <<https://www.icao.int/SAM/Documents/2008/RPEO03/Anexo%206%20Partell%20Just%20Cambios.pdf>>
- [3] JETAGE.SK, 2021. CAMO - sledovanie letovej spôsobilosti. [online]. [cit. 2021.03.08]. Dostupné na internete: <<https://jetage.sk/sk/sluzby/manazment-lietadiel/camo-sledovanie-letovej-sposobilosti/>>
- [4] DOPRAVNÝ ÚRAD, 2021. Organizácie riadiace zachovanie letovej spôsobilosti. [online]. [cit. 2021.03.08]. Dostupné na internete: <<http://letectvo.nsat.sk/letova-sposobilost/organizacie-riadiace-zachovanie-letovej-sposobilosti/>>
- [5] DOPRAVNÝ ÚRAD, 2021. Letová spôsobilosť lietadiel. [online]. [cit. 2021.03.08]. Dostupné na internete: <<http://letectvo.nsat.sk/letova-sposobilost/letova-sposobilost-lietadiel/>>
- [6] LPS.SK. 2018. História. [online]. [cit. 2020.12.11]. Dostupné na internete: <<https://www.lps.sk/sk/profil/historia>>
- [7] NOVÁK, A, - ŽILKA, Z. 2001. Zabezpečovacia letecká technika. Bratislava: EDIS, 2001, 124 s. ISBN 80-7100-894-X.
- [8] AVIATION SAFETY NETWORK, 2012. Slov-Air. [online]. [cit. 2021.01.15]. Dostupné na internete: <<http://aviation-safety.net/database/operator/airline.php?var=7714>>
- [9] STN EN 13306 (950101), 2018. Údržba. Terminológia údržby.
- [10] PENTZ, A. C. 2015. A Service Life Extension (SLEP) Approach to Operating Aging Aircraft Beyond Their Original Design Lives. [Dizertačná práca]. Washington: George Washington University. [online]. [cit. 2021.01.31]. Dostupné na internete: <<http://pqdopen.proquest.com/doc/1671782046.html?FMT=AI>>
- [11] STERKENBURG, R. – KROES, M. 2019. Aircraft Maintenance & Repair. 8th Edition. London: McGraw Hill Professional. ISBN 978-1260441055.
- [12] KONTOGIANNIS, T, - MALAKIS, S. 2017. Cognitive Engineering and Safety Organization in Air Traffic Management. Boca Raton: CRC Press, 2017, 458 s. ISBN 978-1-138-04972-7.
- [13] KOBLEN, I. – SZABO, S. 2017. Manažment životného cyklu leteckej techniky II. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Letecká fakulta. ISBN 978-80-553-2829-4.
- [14] PAŘÍZEK, J. 2004. Diagnostika letadlových systémů a prostředky objektivní kontroly. Brno: Vojenská akademie v Brně.
- [15] VALEŇČÍK, Š. 2011. Spôľahlivostné a diagnostické metódy prevádzkyschopnosti strojov. In: Transfer inovácií. Roč. 13, č. 19. s. 56-60. Košice: Strojnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach. ISSN 1337-7094.

- [16] TRONAIR.COM. 2021. What Is Ground Support Equipment? [online]. [cit. 2021.02.02]. Dostupné na internete: <<https://www.tronair.com/support/ground-support-equipment-glossary/>>
- [17] ACPR REPORT 78. 2012. Airport Ground Support Equipment (GSE): Emission Reduction Strategies, Inventory, and Tutorial. Washington: Federal Aviation Administration. ISBN 978-0-309-25862-3.
- [18] BS EN 12312. 2017. Aircraft ground support equipment. Specific requirements.
- [19] FERENC J, STRAKOVÁ E. 2011. Prostriedky na pozemnú obsluhu lietadiel. Košice: Letecká fakulta Technickej univerzity v Košiciach.
- [20] SHARPE, M. – SHAW, R. 2001. Boeing 737-100 and 200. Shrewbury: MBI Publishing Company. ISBN 0-7603-0991-4.
- [21] MARÉ, J. CH. 2017. Aerospace Actuators 2: Signal-by-Wire and Power-by-Wire. London: ISTE Ltd. ISBN 978-1-84821-942-7.
- [22] NOVÁK, A., NOVÁK SEDLACKOVÁ, A., KANDERA, B. and LUSIAK, T., 2020. Flight inspection with unmanned aircraft, Transport Means - Proceedings of the International Conference 2020, pp. 589-593.
- [23] NOVÁK, A., SEDLÁCKOVÁ, A.N., BUGAJ, M., KANDERA, B. and LUSIAK, T., 2020. Use of unmanned aerial vehicles in aircraft maintenance, Transportation Research Procedia 2020, pp. 160-170.

MAINTENANCE AND RELIABILITY OF AIRCRAFT TECHNOLOGY

ÚDRŽBA A SPOLAHLIVOSŤ LIETADLOVEJ TECHNIKY

Dušan Rýzek
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
dusan.ryzek@gmail.com

Martin Bugaj
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
martin.bugaj@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper deals with the maintenance and influencing the human factor in aircraft maintenance. The work is divided into three basic parts. In the first part of the paper, the aim was to describe the maintenance from a historical point of view, to describe the individual stages of maintenance and to summarize how to maintain the years of development. We also have specified individual types of maintenance, maintenance intervals. The most extensive part in the theory are the laws and regulations that must comply with when performing maintenance in the Slovak Republic. This part is indeed included, but we consider it important to mention it in the work. The second part of the paper is the analysis of accidents of commercial aircraft in commercial aviation for the last 3 years. The analysis contains 43 accidents, from which we came to a conclusion. In the first part of the analysis, we selected those accidents that occurred due to maintenance, and then from these accidents, we further determined which accidents occurred due to human error in maintenance. The aim was to determine whether the number of accidents in commercial aviation in civil aviation due to maintenance should increase or decrease, and subsequently, whether the number of accidents in terms of human factor in maintenance would increase or decrease. The last part so the conclusion is of course focused on the evaluation of the results of the analytical part and the declaration of whether we managed to meet the goal of the paper.

Keywords

Maintenance, reliability, human factor in maintenance

1. Úvod

Letecká doprava je štatisticky jednoznačne najbezpečnejšia doprava na svete. Aby sa dopracovalo letectvo k takýmto výsledkom prechádzalo dlhým vývojom, komplikovanými procesmi a veľmi dôležitá vec je, že sa letecké katastrofy dopodrobna vyšetrujú a na základe zisteného zlyhania, či už lietadla, alebo ľudského faktoru sa vyhodnotí záver a vieme tak predchádzať chybám, ktoré zapríčinili katastrofu. Približne 70% leteckých katastrof je zapríčinených ľudským faktorom a vo väčšine prípadov zo strany pilotov alebo dispečerov, nás však bude zaujímať výskyt pochybenia ľudského faktoru zo strany údržby. Takisto nás bude zaujímať aj vývoj všetkých nehôd spôsobených údržbou za posledné 3 roky v komerčnom letectve.

V súčasnej dobe je údržba lietadiel celá veda, ktorá obsahuje obrovské množstvo zákonov a nariadení, ktoré sa musia dodržiavať. Nebolo tomu vždy tak a preto je v diplomovej práci opísaný aj vývoj a jednotlivé etapy údržby. Legislatívna časť je pomerne obsiorna, avšak veľmi dôležitá.

Údržba lietadiel je veľmi podstatnou časťou letectva. Pilot si vždy pred letom vykoná predletovú kontrolu lietadla a skontroluje všetky potrebné náležitosti na vykonanie bezpečného letu, avšak stále sa musí spoliehať na to, že mechanici odvedli svoju prácu zodpovedne a lietadlo je plne schopné vykonať bezpečný let.

Dôvod, prečo som si vybral tému údržba a spoľahlivosť lietadlovej techniky je to, že údržba lietadiel je jednou z najdôležitejších častí v letectve. V teoretickej časti diplomovej práce si najprv vysvetlíme čo je údržba, aké typy údržby poznáme, v akých intervaloch sa údržba vykonáva, aké zákony a nariadenia sa musia dodržiavať pri vykonávaní údržby. Opíšeme, čo musí obsahovať program údržby a takisto aj čo musí spĺňať personál, aby mohol vykonávať údržbu lietadiel. Praktická časť práce je zameraná na analýzu a vyvodenie záveru, či má ľudský faktor v údržbe vplyv na spoľahlivosť lietadiel. Vyhodnotíme, či má počet leteckých katastrof zapríčinených ľudským faktorom v údržbe rastúcu alebo stúpajúcu tendenciu.

Ďalším dôvodom, prečo som si vybral písanie diplomovej práce na túto tému je, že sa zaujímam aj o technickú stránku lietadiel a myslím si že, je veľmi dôležité aby piloti poznali svoje lietadlo aj po technickej stránke. Prínosom diplomovej práce je to, že zistíme, či má ľudský faktor v údržbe vplyv na spoľahlivosť lietadiel, či je opodstatnené, že pri vykonávaní údržby na lietadlách je potrebné dodržiavať skutočne obrovské množstvo zákonov a nariadení, ktoré sa neustále menia a inovujú. Je samozrejme, že správna údržba s dodržiavaním všetkých nariadení vo veľkej miere prispieva k spoľahlivosti lietadiel. Nás však bude zaujímať, či sa s vývojom údržby mení počet nehôd spôsobených údržbou a hlavným cieľom je zistiť vplyv ľudského faktora v údržbe.

2. Definícia údržby

Žiadne lietadlo nie je také tolerantné k zanedbávaniu, aby bolo bezpečné prevádzkovať ho pri absencii efektívneho programu inšpekcií a údržby.

Procesy, ktoré ovplyvňujú lietadlo, sú rastúce s vekom (napr. únava, opotrebenie a korózia), ako aj náhodné poruchy (napr. prasknutie pneumatiky, nadmerné zaťaženie konštrukcie).

Údržbu lietadla je možné definovať niekoľkými spôsobmi a nasledujúce informácie môžu pomôcť pochopiť rôzne aspekty: „Činnosti potrebné na obnovenie alebo údržbu položky v prevádzkyschopnom stave vrátane servisu, opravy, úpravy, generálnej opravy, kontroly a určenia stavu.“ [Slovník technických operácií World Airlines]

3. Vývoj údržby

Vývoj údržby má od samotných začiatkov rovnaké ciele ako súčasné ciele modernej údržby:

- Maximalizovať bezpečnosť letu = zaručiť vysokú kvalitu kompletnej výbavy lietadla
- Dodržiavať bezpečnostné predpisy a predchádzať ich porušovaniu. Súčasne optimalizovať disponibilitu lietadla = poskytovať čo najviac platených letových hodín s ohľadom na ich hospodárnosť
- Minimalizovať náklady na údržbu, primeraná úspora nákladov na mzdy, materiál a samotnú réžiu [1]

4. Generácie údržby

I. Generácia (1940-1960)

Oprav, keď sa pokazí. Najjednoduchší a najpoužívanější spôsob hlavne v začiatkoch letectva. Oprava nastala po pokazení danej súčiastky, alebo systému.

II. Generácia (1960-1990)

Plánovaná preventívna údržba – presne plánované údržby v časových intervaloch, alebo po určitom hodinovom nálete. Čím viac sa letectvo vyvíjalo, tým viac sa musela vyvíjať aj údržba lietadiel a boli na ňu kladené vyššie a vyššie požiadavky.

- Vyššia pohotovosť
- Väčšia životnosť
- Nižšie náklady

III. Generácia (1990 až po súčasnosť)

- Vyššia spoľahlivosť a pohotovosť
- Vysoká bezpečnosť
- Lepšia kvalita produkcie
- Nepoškodzovanie životného prostredia
- Dlhšia životnosť zariadení
- Vyššia efektívnosť nákladov

[1]

5. Čo je program údržby?

Program údržby je dokument obsahujúci požiadavky / úlohy údržby, ktoré je potrebné vykonať v lietadle, aby sa zabezpečilo zachovanie letovej spôsobilosti.

- a) Údržba sa organizuje v súlade s programom údržby lietadla.
- b) Program údržby lietadla a všetky jeho následné zmeny a doplnenia musí schváliť príslušný orgán.
- c) zmeny programu údržby lietadiel možno schváliť prostredníctvom postupu nepriameho schválenia. (nepriame schválenie ustanoví CAME a následne ho schváli úrad [1])

6. Filozofia údržby

- Cieľom je zachovávať a/alebo obnovovať funkčnosti systémov a konštrukcie lietadla
- Zachovanie funkčnosti systémov na základe bezpečnostných štandardov
- Požiadavky sú vždy stanovené výrobcom konkrétneho typu lietadla vzhľadom na zvolenú koncepciu údržby
- Koncepcia údržby obsahuje pravidlá, ako musí byť lietadlo udržiavané aby boli úplne splnené prevádzkové predpisy [1]

7. Predpisy a zákony, ktoré musia byť dodržiavané pri vykonávaní údržby v Slovenskej republike

1. Vychádzajú z medzinárodných zmlúv, ktoré sú súčasťou právneho poriadku SR

Dohoda o medzinárodnom civilnom letectve (Chicago Convention 07DEC1947)

Cyperská dohoda o vzniku JAA

2. Predpisy uverejňované Ministerstvom dopravy SR prostredníctvom Leteckej informačnej služby (LIS)

3. Predpisy rady "L"

Aplikácia medzinárodných štandardov a doporučených postupov ICAO

Štandardy a doporučené postupy (SARP's) sú uvedené v prílohách k DMCL (ICAO ANNEX 1-18)

4. Spoločné letecké predpisy (JAR)

Zavádzanie a uplatňovanie predpisov JAR bolo v krajinách EHS (EU) harmonizované nariadením Rady ES č. 3922/91 [3,4,6]

8. Vplyv údržby na spoľahlivosť lietadiel

Spoľahlivosť nie je možné podľa definície vyjadriť ako funkciu alebo číselnú hodnotu.

Definícia spoľahlivosti popisuje spoľahlivosť ako všeobecnú vlastnosť s ďalšími dielčimi vlastnosťami, pre ktoré sú definované číselné ukazovatele.

K numerickým výsledkom sa dá dopracovať až prostredníctvom výpočtu ukazovateľov, ktoré sú presne definované ku všetkým dielčím vlastnostiam spoľahlivosti výrobku.

Vlastnosťami spoľahlivosti sú napríklad: bezporuchovosť, životnosť, udržiavateľnosť, pohotovosť, diagnostikovateľnosť, skladovateľnosť, opraviteľnosť a pod.

Pre každú z dielčích vlastností sú definované charakteristické ukazovatele, ktoré majú vypovedajúcu číselnú hodnotu. [1]

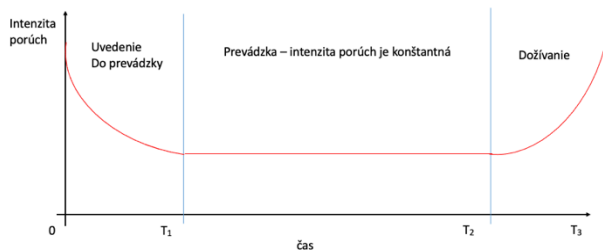
9. Spoľahlivosť a životný cyklus systémov

Manažment leteckých spoločností musí posudzovať prevádzku lietadiel (technických systémov z dlhodobého hľadiska).

Posudzujú sa hlavne náklady spojené:

- s obstaraním lietadla
- s prevádzkou lietadla
- s opravami, údržbou a aj likvidáciou

Takýto pohľad nazývame pojmom Náklady životného cyklu (Life Cycle Cost) – LCC [2]



Graf 1: Životný cyklus. Zdroj: [2].

Interval [0, T₁]

je obdobím častých porúch (zábehu), intenzita porúch však postupne klesá a spoľahlivosť technického systému sa zlepšuje.

V tejto fáze života sa prejavujú nedostatky spôsobené chybami v konštrukcii a pri výrobe.

Tieto skryté nedostatky sa pri prevádzkovom zaťažení rýchlo prejavujú vznikom porúch. U vyzretých konštrukcií (sériovo alebo hromadne vyrábaných) táto fáza takmer zaniká. [2]

Interval [T₁, T₂]

je obdobím normálneho života (prevádzka), intenzita porúch sa ustáli na približne konštantnej hodnote, využíva sa inherentná spoľahlivosť lietadla, poruchy vznikajú pôsobením náhodných udalostí.

Táto etapa je najdlhšia a uplatnením vhodného systému údržby ponúka možnosť značných úspor. [2]

Interval [T₂, T₃]

je obdobím dožívania a likvidácie.

Vplyvom opotrebenia a ďalších faktorov, ako je napríklad korózia a únavevé javy začne intenzita porúch narastať, lietadlo vykazuje častejší vznik porúch.

V určitom okamihu z ekonomického i technického hľadiska ďalšia prevádzka neúnosná a technický systém je zlikvidovaný. [2] [7]

10. Ľudský faktor v údržbe lietadiel

Ľudský faktor je jednou z bezpečnostných bariér, ktorá sa používa na prevenciu nehôd lietadla. Preto je otázkou, do akej miery je chyba spôsobená ľudským faktorom zahrnutá do podielu chýb, ku ktorým dôjde počas údržby lietadla.

V organizácii s povolením na údržbu EASA, ktorá do svojho pracovného systému zahŕňa aj ľudský faktor, je tendenciou uplatňovať tento prístup nepretržitým monitorovaním a analýzou chýb v údržbe lietadiel. Takýmto prístupom sa dosahuje predchádzaniu, alebo znižovaniu výskytu neželaných udalostí, ako sú nehody, úrazy, a v širšom zmysle aj škody súvisiace s prevádzkou a údržbou lietadla. Výskum uvedený v tejto práci je výsledkom analýzy z pochybenie údržby za posledné tri roky. Spolu 41 jednotlivých nehôd a poskytuje prehľad o hlavných faktoroch chýb.

Neúmyselné chyby človeka pri údržbe lietadiel sa vyskytujú neustále. Odvetvie zaoberajúce sa touto problematikou sa nazýva Human Factor. Podľa definície je ľudským faktorom neúmyselná chyba v práci, ktorá vedie k okamžitému poškodeniu systému, alebo môže ísť o skrytú chybu, ktorá predstavuje potenciálne nebezpečenstvo pre technickú letovú spôsobilosť lietadla.

S ľudským faktorom sa dlho zaobchádzalo ako s odvetvím ergonometrie a výlučne ako s časťou lekárskeho výskumu. Podrobnejšie analýzy viedli k poznaniu, že je potrebné študovať vzájomný vzťah ľudí, strojov, prostredia a výrobného procesu. Človek je kľúčovým faktorom vo výrobnom procese a v procese prevádzky technických prostriedkov, pretože dodáva objektu práce novú hodnotu. Ľudský faktor nie je dokonalý a zavádza do systému neúmyselné chyby. Je dôležité vyvinúť systém identifikácie chýb a neustále pracovať na prevencii chýb.

Zistilo sa, že takmer polovica nehôd bola spôsobená poruchou zariadenia, väčšina z nich bola výsledkom nedostatočnej údržby alebo monitorovacích programov.

Vyhlasenie o bezpečnostnej politike je definované v organizácii údržby a je podpísané zodpovednou osobou za riadenie organizácie (zodpovedný manažér).

Bezpečnostná politika sa plne uplatňuje v súlade s dokumentom ICAO „Pokyny pre ľudský faktor pre príručku údržby lietadiel“ (Doc 9859-AN / 474). Vrcholom politiky bezpečnosti pri údržbe v leteckej je netrestný systém hlásenia, čo znamená, že nebudú podniknuté žiadne kroky proti zamestnancovi, ktorý prostredníctvom systému hlásenia nebezpečenstva odhalí obavy o bezpečnosť, pokiaľ takéto sa nezistia zodpovedné pochybnosti, nezákonné činy, hrubá nedbanlivosť, alebo úmyselné nerešpektovanie predpisov alebo postupov.

11. Letecké nehody dopravných lietadiel od roku 2017 – 2020, ktoré sa stali na základe údržby

Z leteckých nehôd za posledné 3 roky sme analýzou zozbieraných informácií a preštudovaní dostupných oficiálnych záverečných správ vybrali tie nehody, ktoré sa stali na základe zlyhania údržby. Každú nehodu sme osobitne analyzovali a zo

záverečných správ sme vybrali tie nehody, ktoré sa stali na základe pochybenia alebo zlyhania údržby.

Za zlyhanie údržby považujeme:

- ak sa katastrofa stala na základe poškodenia súčiastky alebo časti lietadla, ktorú mala zabezpečiť údržba lietadla.
- nesprávna inštalácia komponentov
- nesprávne osadenie častí
- pochybenie v elektrickom zapojení
- zabudnuté náradie alebo súčiastka
- zlyhanie mazania
- nesprávne zabezpečenie kapotáží alebo krytov.
- nesprávne zabezpečenie palivových alebo olejových sústav

Za zlyhanie údržby nepovažujeme:

- systémové zlyhanie zariadení.

Takisto však zlyhanie údržby obsahuje aj ľudský faktor v údržbe. V prvej analýze sú teda nehody, ktoré sa stali kvôli zlyhaniu údržby. Následne z tejto analýzy pochybení údržby prejdeme na druhú analýzu a budeme posudzovať nehody z hľadiska ľudského faktora v údržbe. Zistíme tak, či stúpa počet leteckých nehôd spôsobených údržbou a následne či stúpa podiel ľudského faktora v údržbe k leteckým katastrofám. Domnievame sa však, že analýzy nehôd z roku 2020 budú značne ovplyvnené celosvetovou korona krízou keďže sa vykonalo podstatne menšie množstvo letov.

Zo 41 nehôd, ktoré sa stali za posledné 3 roky v komerčnom letectve sme analýzou zo záverečných správ nehôd zistili, ktoré nehody sa stali na základe zlyhania údržby a teda spĺňajú vyššie uvedené podmienky. V tejto časti práce rozdelíme vybrané nehody na 2 skupiny.

1.skupina: Nehody, ktoré sa stali zlyhaním napr. súčiastky (nehody, ktoré nezapríčinil ľudský faktor v údržbe)

2.skupina: Nehody, ktoré zapríčinil ľudský faktor v údržbe

12. Vyhodnotenie výsledkov analýz

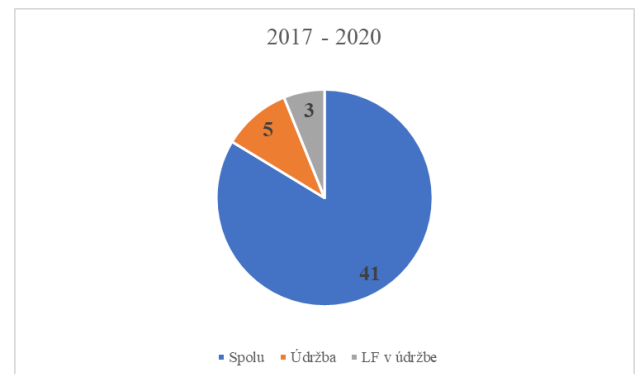
Z analýz leteckých nehôd dopravných lietadiel v komerčnom letectve za posledné 3 roky (2017-2020) sme zistili nasledovné:

Z celkového počtu nehôd (41) rozoberaných v našej analýze, sa 5 stalo na základe pochybenia údržby, resp. zlyhania súčiastky a 3 nehody sa stali pochybením ľudského faktora v údržbe. Na základe získaných informácií z overených a dostupných zdrojov môžeme konštatovať, že počet leteckých nehôd zapríčinených údržbou je minimálny, avšak stále sa vyskytujú, takisto ako podiel ľudského faktora v údržbe. Takisto musíme konštatovať, že prísne bezpečnostné normy, zákony a nariadenia, ktoré sa neustále inovujú a rozširujú a môžeme tvrdiť, že aj sprísňujú, majú svoje opodstatnenie. Jednotlivé zákony a nariadenia sme priblížili v teoretickej časti práce. Z leteckých nehôd, ktoré sa stali môžeme vidieť, že je veľmi dôležité dodržiavať všetky potrebné náležitosti a to sa týka letectva ako celku, nie len údržby. Nedodržiavanie, alebo porušovanie predpisov

úmyselne, alebo neúmyselne vie spôsobiť veľmi vážne následky, ktorým sa snažíme vyvarovať a úplne minimalizovať, aby sa letectvo mohlo naďalej pýšiť titulom najbezpečnejšej dopravy na svete.

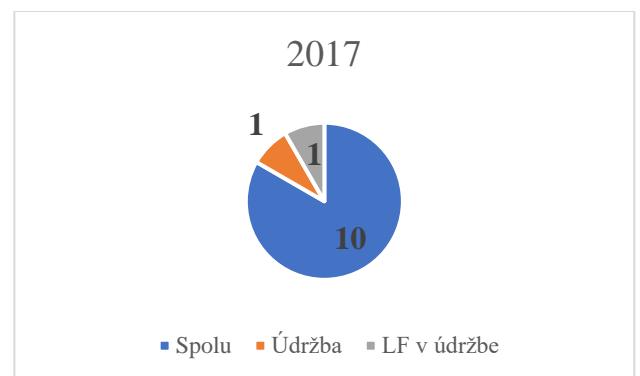
V grafoch môžeme vidieť graficky znázornené výsledky nášho výskumu, ktorý sme vykonali na základe 2 analýz.

V prvom grafe vidíme štatistiku leteckých nehôd dopravných lietadiel v komerčnom letectve. Analyzovali sme 41 nehôd a zistili sme, že 5 nehôd bolo zapríčinených zlyhaním údržby resp. súčiastky a 3 nehody boli spôsobené ľudským faktorom v údržbe.



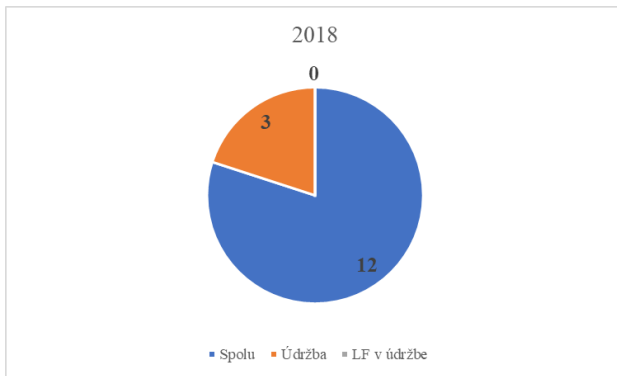
Graf 1: 2017-2020. Zdroj: Autori.

V druhom grafe máme znázornené nehody v roku 2017, z celkového počtu 10 sme analýzou zistili, že 1 nehoda bola zapríčinená údržbou resp. zlyhaním súčiastky a 1 nehoda sa stala zlyhaním ľudského faktora v údržbe.



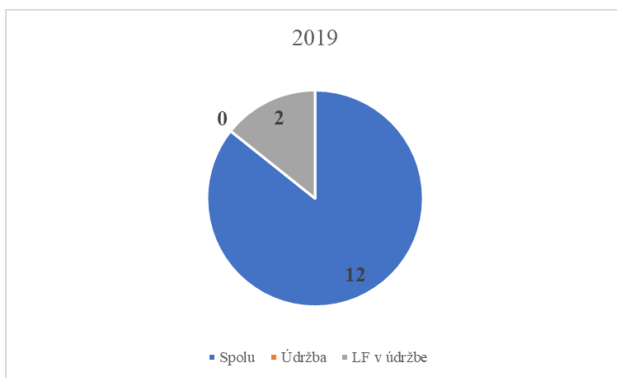
Graf 2: 2017. Zdroj: Autori.

V treťom grafe máme znázornené nehody, ktoré sa stali v roku 2018. Z celkového počtu 12 nehôd sa 3 stali na základe zlyhania údržby, resp. súčiastky a ani jedna nehoda nebola spôsobená ľudským faktorom čo je veľmi pozitívny aspekt.



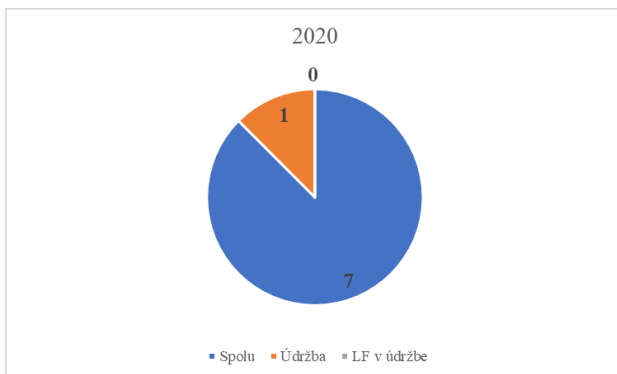
Graf 3: 2018. Zdroj: Autori.

V štvrtom grafe máme znázornený rok 2019, z celkového počtu 12 nehôd, sa 2 nehody stali na základe zlyhania ľudského faktora v údržbe.



Graf 4: 2019. Zdroj: Autori.

V poslednom grafe môžeme vidieť nehody v roku 2020, ako sme spomínali tento rok bol ovplyvnený korona krízou a zaznamenali sme rapidný pokles letov, no napriek tomu sme analýzou zistili, že z celkového počtu 7 nehôd sa iba jedna stala na základe pochybenia údržby, resp. zlyhania súčiastky a ani jedna nehoda nebola spôsobená ľudským faktorom v údržbe. Nehoda, ktorá sa stala v roku 2020 bola špecifická keďže zlyhalo palivové čerpadlo, tak sme túto nehodu zaradili do zlyhania údržby. Avšak ako sme spomínali v analýze, ak by pilot vypúšťal palivo podľa postupov mohlo sa predísť vzniknutým škodám. Spúšťacím aspektom v tejto nehode však bolo zlyhanie súčiastky a preto sme túto nehodu zaradili do zlyhania údržby.



Graf 5: 2020. Zdroj: Autori.

13. Záver

Údržba lietadiel je neoddeliteľnou súčasťou letectva a dovolíme si tvrdiť, že patrí k jednej z najdôležitejších častí. Čiastkových cieľov diplomovej práce bolo niekoľko: opísať údržbu z historického hľadiska a popísať jednotlivé etapy údržby, čo sme vykonali v teoretickej časti. Následne bolo cieľom opísať zákony, nariadenia, bezpečnostné normy, čo všetko musí spĺňať personál na vykonávanie údržby, čo sme takisto vykonali v teoretickej časti. Následne sme sa oboznámili s metódami, ktoré sme využívali pri písaní práce a túto časť sme vykonali v druhej časti práce a teda v metodike. Potom sme prešli na najdôležitejšiu časť a teda výskum, kde sme primárne využili analýzy a z overených a oficiálnych zdrojov, vo väčšine prípadov zo záverečných správ sme sa dopracovali k hlavnému cieľu a tým je zistiť, či má ľudský faktor v údržbe vplyv na spoľahlivosť lietadiel a zároveň, akú tendenciu má výskyt nehôd spôsobených údržbou. Zvolili sme si interval posledné 3 ukončené roky, avšak posledný rok a teda rok 2020 bol značne poznačený korona krízou. Z výsledkov vyplýva, že z 41 nehôd sa 5 stalo na základe zlyhania údržby a 3 pochybením ľudského faktora v údržbe. Hodnotíme, že tieto čísla sú veľmi pozitívne, avšak samozrejme ideálne by to bolo, keby je údržba v 100% stave, avšak tento stav nie je reálne dosiahnuť, keďže minimálne výskyt pochybenia ľudského faktora bude vždy. Všetky pochybenia sa snažia minimalizovať, aby sa dosiahla čo najvyššia spoľahlivosť. V diplomovej práci sa nám podarilo splniť všetky určené ciele a veríme, že si nájde svoje uplatnenie najmä v ľudskom faktore v údržbe, ale takisto aj celkovo v údržbe, keďže v teoretickej časti sme sa venovali údržbe ako celku. Do budúcnosti sa určite budú stále inovovať a dopĺňať zákony a nariadenia, lebo po každej nehode sa vyvodzuje záver, aby sa predchádzalo katastrofám, čo je veľmi pozitívny aspekt a preto veríme, že čísla sa budú znižovať na minimálne hodnoty. Takisto aj technológie postupujú milovými krokmi a to je ďalším pozitívom na znižovanie nehôd spôsobených zlyhaním údržby.

Referencie

- [1] Technická údržba lietadiel 1, 2, Ing. Ján Rostaš, PhD.
- [2] Úvod do priemyselného inžinierstva, 2016, doc. Ing. Miroslav Rakyta, PhD. a Ing. Miroslav Fusko
- [3] https://aim.lps.sk/eAIP/eAIP_SR/AIP_SR_valid/html/LZ1-GEN-1.6-sk-SK.html
- [4] <http://letectvo.nsat.sk/letova-sposobilost/udrzbove-organizacie/udrzba-pre-annex-ii-lietadla/>
- [5] <http://letectvo.nsat.sk/wp-content/uploads/sites/2/2014/07/L-8-Letová-sposobilosť-lietadiel1.pdf>
- [6] <http://web.tuke.sk/lf-klp/Vagner%20Juraj/LP%20I/Sposobilost%20personalu/L1.pdf>
- [7] NOVÁK, A., NOVÁK SEDLACKOVÁ, A., KANDERA, B. and LUSIAK, T., 2020. Flight inspection with unmanned aircraft, Transport Means - Proceedings of the International Conference 2020, pp. 589-593.

DESIGN OPTIMIZATION OF A COMPRESSOR STAGE WITH COUNTER-ROTATING ROTORS

DIZAJNOVÁ OPTIMALIZÁCIA STUPŇA KOMPRESORA S PROTIBEŽNÝMI ROTORMI

Kristína Šajbanová

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
kristina.sajbanova@gmail.com

Jozef Čerňan

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jozef.cernan@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper deals with the design optimization of the compressor stage with counter-rotating rotors, especially in order to create a model which, due to its parameters in real operation, would achieve the maximum possible values of efficiency. The primary goal of this work is to create a design of a compressor stage with counter-rotating rotors from a theoretical point of view. The compressor stage model is created using Inventor modelling software and the subsequent design evaluation and optimization is based on airflow analysis of the compressor stage using Ansys Discovery Live software. The secondary goal is to point out the existence and application of innovative and progressive technology of rapid prototyping in the world of aircraft component production and at the same time to emphasize its benefits in comparison with conventional production techniques applied in the initial stages of aircraft component production.

Keywords

stator, rotor, airflow, design

1. Úvod

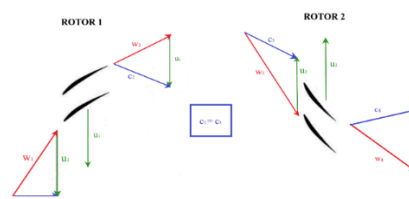
Cieľom všetkých dizajnérov je predstaviť inovatívny koncept leteckého motora, ktorý by zabezpečil bezpečnú prevádzku, maximálne hodnoty účinnosti na jednej strane a na strane druhej dosahoval minimálne možné hodnoty hmotnosti, spotreby a škodlivých emisií. Vývoj v dizajne kompresorov pokračuje od ich vynájdenia. Aktuálne trendy v oblasti vývoja efektívnych leteckých motorov z hľadiska špecifickej spotreby paliva, emisií hluku či environmentálneho pohľadu smerujú primárne na výrobu motorov s vysokým či ultravysokým obtokovým pomerom. V posledných rokoch bol však zaznamenaný značný záujem o výskum v oblasti aerodynamiky protibežných rotačných komponentov leteckých pohonných jednotiek (vrtuľa, kompresor, turbína), a to najmä kvôli ich uplatneniu v leteckých motoroch budúcej generácie. Konceptie protibežných rotorov kompresora poskytujú priaznivú voľbu z hľadiska zníženia hmotnosti a dĺžky motora pri zachovaní tlakového pomeru v porovnaní s konvenčnými axiálnymi kompresormi.

Napriek detailnému prieskumu trhu a sledovaniu diania sveta evolúcie leteckých motorov zostáva fakt, že v súčasnosti neexistuje mnohostupňový protibežný kompresor koncepcie stupňa definovaného ako dvojica rotorových mreží, ktoré sa voči sebe otáčajú opačným smerom, ktorý by spĺňal požiadavky na možnú aplikáciu ako súčasť turbínových leteckých pohonných jednotiek. Práve dokonale navrhnutý stupeň protibežného kompresora je základným predpokladom možnosti vývoja viacstupňového protibežného kompresora. Nasledujúce kapitoly preto predstavujú a popisujú komplexný a detailný experimentálny návrh stupňa protibežného axiálneho

kompresora ako aj návrh celého mnohostupňového protibežného axiálneho kompresora.

2. Princíp stlačovania vzduchu v stupni protibežného axiálneho kompresora a jeho konštrukcia

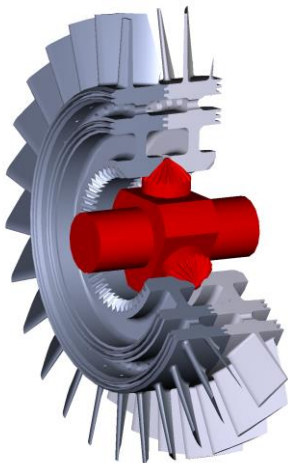
Konštrukcia tradičného stupňa axiálneho kompresora pozostáva zo statorov pripevnených k plášťu kompresora a rotorov pripevnených k hriadeľu z čoho vyplýva ich jednotný smer otáčania. V koncepte protibežného rotora stupeň pozostáva z dvoch rotorov pohybujúcich sa voči sebe v opačných smeroch, čím vylučujú nevyhnutnosť prítomnosti statorových lopatiek. Možno teda dosiahnuť vytvorenie vyššieho tlaku za súčasného poklesu hmotnosti motora a redukcie jeho dĺžky. [1-4] Základné prúdenie možno vyjadriť rýchlostným trojuholníkom. Ak by sme v jednoduchosti porovnali rýchlostný trojuholník tradičného stupňa kompresora a protibežný stupeň, možno pozorovať signifikantný nárast relatívnej rýchlosti na vstupe do druhého rotora $w_3 > w_2$. Následne možno predpokladať úmerne vyšší difúzny účinok druhého rotora, čo v konečnom dôsledku znamená dosiahnutie oveľa vyššieho stlačenia v stupni. [7-9]



Obrázok 56: Rýchlostné trojuholníky stupňa protibežného kompresora.
Zdroj: Autori.

3. Experimentálny návrh dizajnu stupňa axiálneho kompresora s protibežnými rotormi

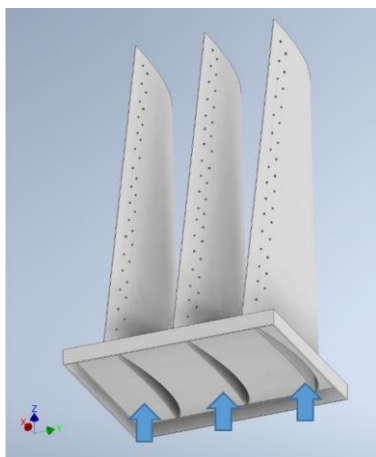
Experimentálne riešenie návrhu dizajnu axiálneho kompresora s protibežnými rotormi spočíva v zjednotení dizajnu dutej rotorovej lopatky (koncept podobný ako v prípade dutých turbínových lopatiek za účelom ich chladenia) a dizajnu disku rotora axiálneho kompresora- integrálne lopatkovaného disku (BLISK – Bladed disk) pričom stupeň kompresora je definovaný ako dvojica rotorových mreží, ktoré sa voči sebe otáčajú opačným smerom pomocou ozubeného mechanizmu.



Obrázok 57: Experimentálny návrh stupňa axiálneho kompresora s protibežnými rotormi. Zdroj: Autori.

3.1. Návrh celkového dizajnu rotorovej lopatky

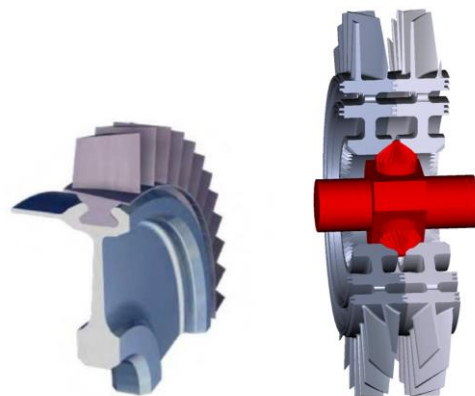
Stanovený experimentálny dizajn lopatky rotora ako takej spočíva v jej dutom, inými slovami škrupinovom, prevedení. Podstata takto vytvorenej dutej rotorovej lopatky axiálneho kompresora spočíva v možnosti prívodu už stlačeného vzduchu o vysokom tlaku z oblasti zadnej časti kompresora za účelom jeho následného využitia na „vyfukovanie“ skrz otvory na chrbte prípadne koryte lopatky za účelom „laminarizovania“ prúdu v oblastiach s najčastejším výskytom vírov. Na Obrázku 3 možno vidieť konkrétny návrh dutej rotorovej lopatky a rovnako smer prívodu vzduchu o vysokom tlaku pričom detailný systém prívodu vzduchu z posledných stupňov kompresora je popísaný v kapitole 5. Systém prívodu vzduchu s vysokým tlakom za účelom ofukovania lopatiek.



Obrázok 58: Experimentálny návrh lopatky rotora. Zdroj: Autori.

3.2. Výrobná technológia integrálne lopatkovaného disku (BLISK)

Tradičné kompresory a turbíny leteckých motorov využívali zväčša pre uchytenie lopatiek k drážkam disku valcový, rybinový, stromčekový alebo vidlicový záves. Za účelom dosiahnutia vyššej úrovne technologickej životaschopnosti a poklesu výrobných nákladov ako základných faktorov predpokladu vývoja inovatívnych komponentov leteckých pohonných jednotiek vznikla technológia integrovaných lopatkovaných diskov (IBR alebo BLISK- Bladed disk). V súčasnosti už neodmysliteľná technológia výroby leteckých motorov spočíva vo výrobe disku a lopatiek ako jedného samostatného komponentu vyrobeného z pevného materiálu, akými sú ťažko rezateľné titánové zliatiny alebo zliatiny na báze niklu. [10] [11]



Obrázok 59: Komparácia tradičného uchytenia lopatky pomocou závesu vľavo a technológie BLISK vpravo. Zdroj: Autori.

3.2.1. Benefity dizajnu integrálne lopatkovaného disku

BLISK ako jeden z najoriginálnejších komponentov leteckých motorov predstavuje radu výhod pre ktoré sa stal pre dizajnérov voľbou číslo jedna:

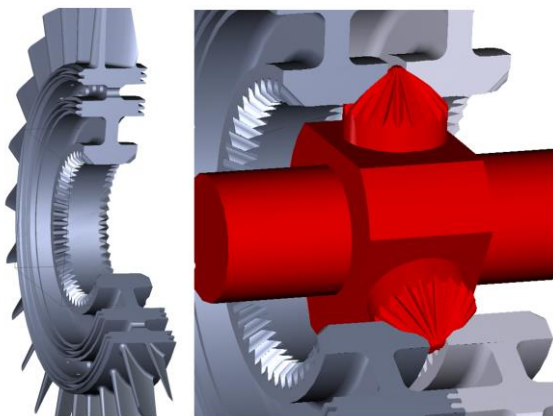
- úspora hmotnosti- zvyčajne až 20 – 30%
- úspora materiálu- v prípade využitia aditívnej manufaktúry AM (3D tlač) ako technológie výroby je možné značne redukovať straty materiálu a množstvo odpadu vznikajúceho pri použití tradičnej výrobnéj techniky (frézovanie) v opačnom prípade možno vznikajúci odpad pri výrobe vnímať ako negatívny aspekt výroby dizajnu BLISK
- vysoká aerodynamická účinnosť
- zvýšenie spoľahlivosti a životnosti - eliminácia únavových javov a poškodení závesov
- redukcia počtu komponentov- redukcia počtu komponentov, nakoľko lopatka a disk tvoria samo o sebe jeden komponent
- úspora paliva- BLISK môže dokázateľne pri výkonných motoroch spôsobiť v konečnom dôsledku pokles špecifickej spotreby paliva až o 8% [10]

3.2.2. *Aditívna výroba integrálne lopatkovaného disku*

Inovatívny a zároveň efektívnejší spôsob výroby integrálne lopatkovaného disku predstavuje možnosť využitia technológie kovovej 3D tlače. Na rozdiel od tradičného výrobného postupu, ktoré často vedie k deformácií či odštiepeniu je využitím priemyselnej 3D tlače možné zachovať funkčnosť kompaktnosť ako aj spoľahlivosť lopatkovaného disku. V leteckom priemysle sa pre účely výroby Blisk využívajú prioritne metódy tavenia elektrónovým lúčom (EBM- Electron Beam Melting), priameho laserového spekania kovov (DMLS- Direct Laser Sintering) ako aj metóda selektívneho laserového spekania (SLS- Selective Laser Sintering).

4. Ozubené súkolesie ako mechanizmus otáčania protibežných rotorov stupňa axiálneho kompresora

Experimentálny systém protichodného otáčania rotorov, a teda funkcionality stupňa axiálneho kompresora je zabezpečená pomocou mechanizmu kuželového ozubeného kolesa, zabezpečujúceho zhodné otáčky rotorov ($n_1 = n_2$), len v opačnom zmysle. Pre účely vysvetlenia ozubeného súkolesia ako mechanizmu protibežného otáčania rotorov je v modeloch uvádzané kuželové ozubené koleso s priamymi zubmi. To sa predovšetkým používa pre menej náročné prevody a nižšie obvodové rýchlosti. Rotory axiálneho kompresora predstavujú pomerne zložitejšiu aplikáciu, preto možno uvažovať aj nad prevedením kuželového súkolesia s šikmými resp. zakrivenými zubmi, ktoré je vhodnejšie pre vyššie rýchlosti. Dôvodom výberu ozubeného súkolesia ako mechanizmu otáčania protibežných rotorov je fakt, že ozubené prevody ako také pracujú s pomerne vysokou účinnosťou vo veľkom rozsahu otáčok. Dôležitým faktorom je rovnako ich vysoká životnosť a spoľahlivosť. Vnútročné ozubenie ako súčasť integrálne lopatkovaného disku vytvára dostatočný priestor pre umiestnenie hriadeľa motora a systém mazania. V takto koncipovanom systéme je mazanie veľmi dôležitým faktorom. Prvým a najdôležitejším dôvodom prečo mazať je zníženie trenia v oblasti medzi bokmi zubov. Sekundárnym a rovnako podstatným je odvod tepla z miesta záberu, pričom výber maziva sa odvíja od prevádzkovej teploty ako aj obvodovej rýchlosti a materiálu zubov.

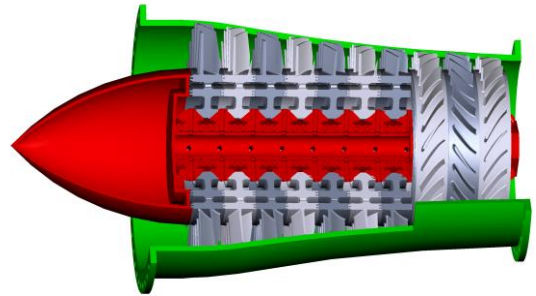


Obrázok 60: Detailný pohľad návrhu mechanizmu otáčania protibežných rotorov pomocou ozubeného prevodu. Zdroj: Autori.

4.1. Experimentálny návrh pohonu mnohostupňového protibežného axiálneho kompresora

Takmer všetky turbínové motory pracujú na systéme generátora plynu za ktorým je umiestnená turbína, ktorá

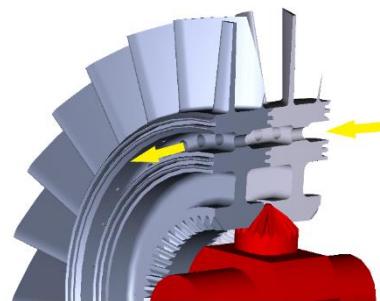
odoberá časť vzniknutej energie, mení ju na energiu mechanickú a skrz hriadeľ poháňa kompresor. Rovnaká teória je uplatnená aj v prípade tohto experimentálneho modelu až na jednu výnimku. V tomto prípade je hriadeľ statická časť konštrukcie a pohon kompresora od turbíny je zabezpečený prostredníctvom pohonu výhradne posledného stupňa, ktorý skrz ozubené prevody uvedie do pohybu každý predchádzajúci stupeň.



Obrázok 61: Experimentálny návrh mnohostupňového axiálneho kompresora. Zdroj: Autori.

5. Systém prívodu vzduchu s vysokým tlakom za účelom ofukovania lopatiek

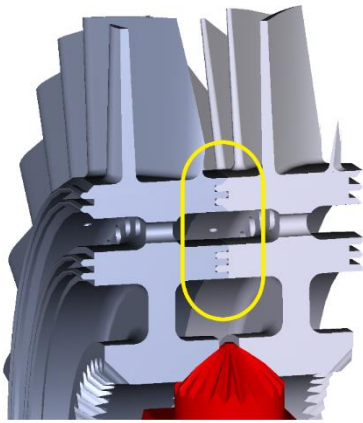
Prívod vzduchu s vysokým tlakom zo zadnej časti kompresora do oblasti prvých stupňov je zabezpečený pomocou otvorov vytvorených v oblasti disku rotora (viď Obrázok 7). Takto vytvorené otvory v systéme mnohostupňového axiálneho kompresora tvoria pomyselný kanál prívodu vzduchu s vysokým tlakom.



Obrázok 62: Detailný pohľad na systém eliminácie turbulentného prúdenia. Zdroj: Autori.

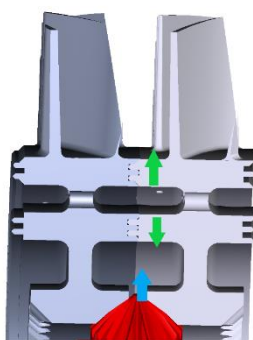
5.1. Labyrintové tesnenie

V systéme prívodu vzduchu s vysokým tlakom z oblastí posledných stupňov kompresora je nevyhnutné zabezpečiť minimálne tlakové straty počas prechodu skrz jednotlivé stupne. Preto bolo nevyhnutné zabezpečiť kanál medzi rotujúcimi diskami tesnením tak, aby vzduchu o vysokom tlaku neunikal resp. únik bol minimálny. Sekundárnou no rovnako podstatnou je tesniaca funkcia, ktorej úlohou je zabezpečiť obmedzenie prietoku oleja z oblasti ozubeného mechanizmu rotorov do priestoru medzilopatkového kanálu kompresora.



Obrázok 63: Systém tesnenia medzilopatkového priestoru. Zdroj: Autori.

Systém tesnenia je založený na relatívnom pohybe dvoch rotorov medzi ktorými sa nachádza v tvare labyrintu zložitá drážka s rozmermi uvádzanými do niekoľkých μm . Nakoľko sa jedná o bezkontaktné tesnenie s určitou možnosťou vylúčiť riziko opotrebenia trením. Nedokonalosť systému je však, že tesnenie nezabezpečí dokonalú tesnosť priestorov s rozdielnymi tlakmi média v nich. Tlakový gradient v oblasti kanála prívodu vzduchu s vysokým tlakom a oblasti lopatiek rotora môže spôsobiť mierny únik as tým spojené tlakové straty a najmä v prípadoch, kedy nastáva pokles tlaku v skrini kompresora napr. pri nízkotlakovom režime keď je kompresor v nečinnosti. Týka sa to režimov kedy je motor v nízkych otáčkach alebo voľnobehu. Rovnako v uvedených režimoch možno predpokladať únik maziva od ozubeného mechanizmu rotorov smerom ku kanálu prívodu vzduchu o vysokom tlaku a následne do oblasti medzilopatkového priestoru kde nastáva stlačovanie. Práve systém kanála prívodu vzduchu o vysokom tlaku predstavuje riešenie. V konečnom dôsledku aj v nízkootáčkových režimoch, aj keď na úkor úniku vzduchu s vysokým tlakom, zamedzíme alebo aspoň eliminujeme prenikanie maziva smerom k lopatkám. Následne s rozbehom motora vzduch s vysokým tlakom aj pri absencii kanála oleja vytlačí.



↑ - možný únik vzduchu s vysokým tlakom

↑ - možný únik maziva z oblasti ozubeného mechanizmu rotácie protibežných rotorov

Obrázok 64: Možný únik vzduchu s vysokým tlakom a únik oleja. Zdroj: Autori.

Problematiku prenikania tlakového vzduchu do priestorov, kde olej zabezpečuje mazanie ozubených prevodov a ložísk rieši, ako je bežnou praxou, odstredivý odlučovač vzduchu a plynov z oleja, ktorý v mazacom systéme na základe vplyvu odstredivej sily separuje olej od vzduchu a plynov. Olej je potom opäť

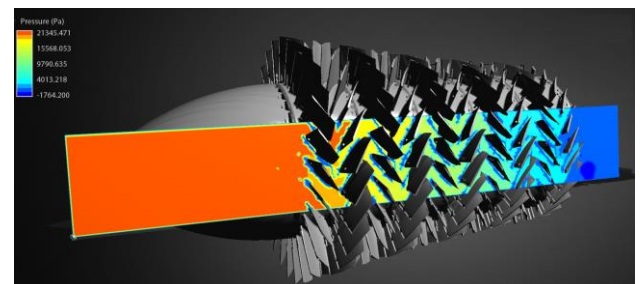
použiteľný na ďalšie mazanie a separované plyny unikajú ventiláčnym otvorom do atmosféry.

6. Výsledky analýz optimálneho prúdenia

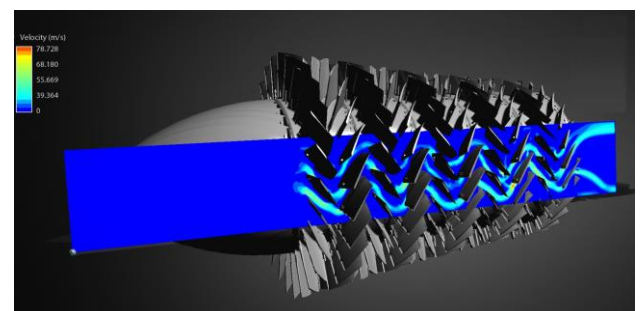
Všeobecne platí, že v každom stupni postupne prebieha premena mechanickej energie dodanej od turbíny, ktorá je pomocou hriadeľa prepojená s rotorom kompresora. Zatiaľ čo rotorová časť zodpovedá za premenu dodanej mechanickej energie na energiu kinetickú, úlohou statorových lopatiek je jej následná premena na energiu tlakovú. Preto bolo cieľom analýzy sledovať a verifikovať predpokladané teoretické zmeny parametrov rýchlosti prúdenia ale najmä parametru celkového tlaku v oblasti pred a za experimentálnym stupňom kompresora, v ktorom absentujú lopatky statora a je tvorený výhradne rotujúcimi časťami. Prúdenie bolo možné pozorovať a zobraziť prostredníctvom prúdnic, častíc, vektorov prípadne pozorovaním izoplochy, pričom výsledné hodnoty sú rozdelené do viacerých oblastí a každej z uvedených oblastí je priradená farba z farebnej legendy pomocou ktorej je možné rýchle a jednoduché farebné rozlíšenie a vyhodnotenie výsledkov.

6.1. Statické simulácie

Prvým krokom bol vytvorenie jednoduchých statických simulácií softvérom Ansys Discovery Live a Autodesk Flow, kde sa časti kompresora vôbec nepohybovali. Terčom pozorovania bol výhradne charakter prúdenia vzduchu počas obtekania takýchto stojatých lopatiek. Keďže sa stupne (rotory) neotáčajú, voči prúdiacemu vzduchu vzniká len odpor, ktorý spôsobuje postupný pokles tlaku smerom k zadným stupňom kompresora.

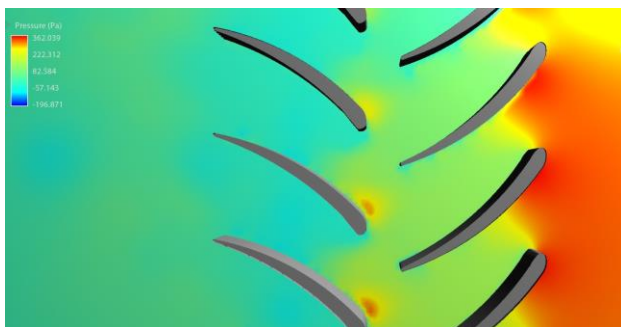


Obrázok 65: Priebeh zmeny parametra tlaku prechodom stupňami protibežného kompresora. Zdroj: Autori.



Obrázok 66: Priebeh zmeny parametra rýchlosti prechodom stupňami protibežného kompresora. Zdroj: Autori.

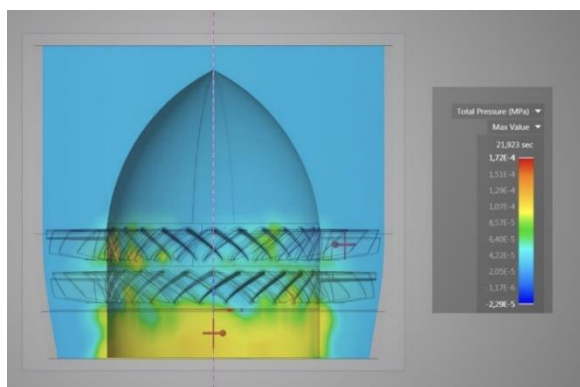
Podobne tomu bolo aj v prípade samostatného stupňa, zloženého z dvojice nepohyblivých mreží:



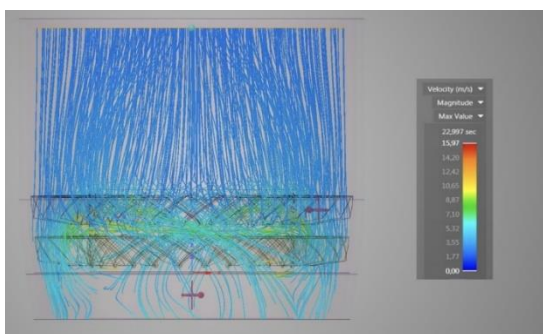
Obrázok 67: Detailný pohľad na priebeh zmeny parametra tlaku prechodom stupňa experimentálneho axiálneho protibežného kompresora. Zdroj: Autori.

6.2. Dynamické simulácie

Pre účely overenia prúdenia zmien parametrov vzduchu v kompresore počas jeho prevádzky, konkrétne zistenie funkcionality stlačovania bolo, nevyhnutné vytvoriť simulácie dynamické, teda s otáčajúcimi sa rotormi. Vzhľadom na obmedzenia softvérového vybavenia a obmedzenia licencie bolo možné vytvoriť simuláciu maximálne jedného stupňa, zloženého z dvojice protibežných rotorových mreží. Výsledky analýz protibežného rotujúceho stupňa axiálneho kompresora sú zobrazené na Obrázku 13. Na vyhodnotenie výkonu navrhnutých rotorov sa uskutočnili simulácie celkového tlaku, pozorované oblasti boli najmä oblasť vstupu do rotora 1 a výstup z rotora 2, pričom otáčky rotorov 1 a 2 sú zhodné. Na vykonanej analýze farebného spektra simulácie, možno jasne pozorovať už pri jedinom stupni pomerne vysoký nárast celkového tlaku vzduchu čo poukazuje na úspešný návrh dizajnu.



Obrázok 68: Nárast parametra tlaku prechodom stupňa axiálneho kompresora s protibežnými rotormi. Zdroj: Autori.



Obrázok 69: Simulácia rozvírenia prúdu vzduchu pomocou prúdnic. Zdroj: Autori.

Problém značného rozvírenia vzduchu rotormi je v konečnom dôsledku eliminovaný systémom vyfukovania vzduchu s vysokou hodnotou tlaku privádzaného z oblasti posledných stupňov kompresora, čím súčasne je súčasne zabezpečená dostatočná kompresná účinnosť navrhnutého experimentálneho kompresora a zhodnotená jeho reálna funkčnosť v prípade aplikácie ako komponentov leteckých motorov.

7. Benefity konštrukcie axiálneho kompresora s protibežnými rotormi

7.1. Účinnosť a celkové stlačenie v stupni kompresora

Podstatou zvýšenia účinnosti stupňa protibežného kompresora je systém dvoch rotorov, vďaka ktorým je stupeň schopný dosiahnuť vyšší kompresný pomer, teda pomer statického tlaku na výstupe z druhého rotora k hodnote statického tlaku na vstupe do rotora prvého. Treba si uvedomiť jeden zásadný fakt. V prípade klasického usporiadania stupňa kompresora (typu stator-rotor) máme rotor, ktorého úlohou je urýchliť prúd vzduchu a stator, ktorý zodpovedá za jeho spomalenie a ďalší nárast hodnoty tlaku. Takže ak máme v klasickom stupni kompresora rotor s otáčkami cca 10 000 ot./min a stator, ktorého otáčky sú nulové, takýto stupeň dosahuje porovnateľne menšie stlačenie a teda účinnosť ako stupeň, ktorého druhý rotor taktiež dosahuje určité otáčky. V jednoduchosti vysvetlené, dodatočné otáčanie protibežných rotorov môže znamenať vyššie hodnoty hmotnostného toku. Kompresor môže potom dosahovať vyšší stupeň stlačenia v jednom stupni, ak budeme definovať stupeň ako sústavu dvojice rotorových mreží, ktoré sa navzájom otáčajú opačným smerom. Pri správnom nastavení lopatiek oboch rotorových stupňov je možné predpokladať aj dostatočne vysokú kompresnú účinnosť takéhoto stupňa. No tá by zodpovedala iba tzv. výpočtovému režimu práce kompresora. Vo všetkých ostatných režimoch práce bude pravdepodobne dosahovať nižšie kompresné účinnosti.

7.2. Redukcia hmotnosti a dĺžky

Väčšina súčasných kompresorov sa za účelom dosiahnutia požadovaného stlačenia a účinnosti skladá z niekoľkých stupňov statorových a rotorových lopatiek radených za sebou. Každý ďalší stupeň na úkor dosahovania požadovaných parametrov znamená vyššiu hmotnosť, náklady, dĺžku a celkové rozmery kompresora, ktoré sú z komplexného hľadiska pre výkon lietadla negatívne. V protibežnom usporiadaní je možné elimináciu statorových lopatiek rapídne redukovať hmotnosť samotného stupňa, a teda aj hmotnosť celého kompresora. Skonstruovaním viacstupňového vysokorýchlostného protibežného kompresora je možné redukovať hmotnosť kompresora a motora ako celku pri zachovaní požadovaných vysokých hodnôt parametrov stlačenia a účinnosti, čím v konečnom dôsledku nepriamo znižujeme hodnoty špecifickej spotreby paliva.

8. Záver

Technologická životaschopnosť a výrobné náklady sú kľúčovými faktormi úspešného vývoja nových motorov. Realizovateľnosť vylepšených leteckých motorov preto závisí od výsledkov výskumných a vývojových činností, najmä tých, ktoré sa týkajú zlepšenia materiálov, štruktúr avšak predovšetkým samotného dizajnu. Rovnako ako všetky špičkové výrobky zahrňujúce vo svojej výrobe inovatívne techniky aj letecké motory čelia potrebe neustáleho zdokonaľovania svojich technických možností, pokiaľ ide o dosahovanie vyššej efektivity, nižšej spotreby paliva, vyššej spoľahlivosti a bezpečnosti a súčasne nevyhnutnosti splniť reštriktívne právne predpisy v oblasti životného prostredia.

Experimentálny model, ktorý vyniká elimináciou statorových lopatiek, spolu s navrhovaným „dutým“ dizajnom lopatiek rotorov predstavuje rapidný pokles hmotnosti nielen samotného stupňa kompresora ale komplexne celého kompresora. Pridanú hodnotu dizajnu lopatiek predstavuje možnosť privádzania vzduchu s vysokým tlakom z oblasti posledných stupňov kompresora za účelom „laminarizácie“ prúdu ako prevencie proti odtrhnutia prúdu vzduchu na lopatke a následného javu pumpáže. Záujem a myšlienka kontra-rotácie rotorov stupňa axiálneho sa objavili s cieľom dosiahnuť značný vysoký nárast tlaku a redukciu hmotnosti v každom stupni axiálneho kompresora. Skonstruovaním viacstupňového protibežného kompresora je možné redukovať hmotnosť kompresora a motora ako celku pri zachovaní požadovaných vysokých hodnôt parametrov stlačenia a účinnosti, čím v konečnom dôsledku nepriamo znižujeme hodnoty špecifickej spotreby paliva.

Je nevyhnutné poznamenať, že experimentálny návrh si do budúcnosti za účelom aplikácie v reálnej prevádzke vyžaduje mnohé detailnejšie a odbornejšie analýzy týkajúce sa 3D analýz prúdenia mezilopatkovým priestorom rovnako pevnostné analýzy a skúmanie spoľahlivosti a životnosti samotného ozubeného mechanizmu kontra-rotácie. Avšak už v súčasnosti môžeme s istotou predpokladať, že prípadne priaznivých výsledkov odborných analýz by navrhovaný protibežný kompresor predstavoval radu benefitov ako napríklad: redukcia hmotnosti leteckých turbokompresorových motorov, zmenšenie rozmerov, vyššie hodnoty stlačenia kompresora, vyššia účinnosť kompresora, a teda celého motora s finálnym dôsledkom na parameter špecifickej spotreby paliva, pričom reálne použitie by bolo možné pre aplikácie budúcich leteckých motorov s axiálnym prietokom.

Podakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky KEGA 048ŽU-4/2020 s názvom "Zvyšovanie kľúčových kompetencií v oblasti technológie údržby lietadiel prostredníctvom transferu progresívnych metód do vzdelávacieho procesu".

Referencie

- [1] KRÍŽ, J. 2004. Lietadlové pohonné jednotky, Žilina: Žilinská univerzita, 2004. 264 s.
- [2] ČERŇAN, J. – HOCKO, M. 2020. Turbínový motor I.: Teória a konštrukcia, Žilina: EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2020. 335 s. ISBN 978-80-554-1673-1

- [3] OTT, A. Základy teorie a konstrukce leteckých lopatkových motorů, část I., VA AZ Brno
- [4] BASKHARONE, Erian. 2006. Principles of Turbomachinery in Air-Breathing Engines : Overview of Turbomachinery Nomenclature Overview7, [online]. Dostupné na internete: <https://www.globalspec.com/reference/74123/203279/c-hapter-two-overview-of-turbomachinery-nomenclature> (cit. 21.02.2021)
- [5] Turbine Engines: Turbine section, [online]. Dostupné na internete: <http://www.aviationchief.com/turbine-engines.html#> (cit. 22.02.2021)
- [6] ADAMEC, J.- KOCÁB, J. Letadlové motory. Praha: KANT, 2000, 176 s. ISBN 80-902-9140-6.
- [7] PUNDIR, D – SHARMA, P. 1992. A Study of Aerodynamic Performance of a Contra-Rotating Axial Compressor Stage. In Defence Science Journal [online]. 1992, Vol. 42, No. 3, p. 191-199, Dostupné na internete: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.967.3281&rep=rep1&type=pdf> (cit. 10.03.2021)
- [8] KUMAR, B. a kol. 2016. Single Shaft Contra Rotating Axial Compressor. In International Journal of Applied Engineering Research [online]. 2016, Vol. 11, No. 11, p. 7592-7596, Dostupné na internete: <https://studylib.net/doc/18845473/single-shaft-contra-rotating-axial-compressor> ISSN 0973-4562 (cit. 10.03.2021)
- [9] TIWARI, M. 2014. Axial Compressor Design with Counter-Rotation and Variable RPM for Stall Mitigation: dizertačná práca. Daytona Beach: Embry-Riddle Aeronautical University, 2014. 64 s.
- [10] KUMAR, R. 2013. A review on BLISK technology. In International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. India: Department of Mechanical Engineering, VNR Vignana Jyothi Institute of Engineering & Technology, [online]. 2013. ISSN: 2319-8753, p. 1353- 1358. Dostupné na internete: http://www.ijirset.com/upload/may/9_%20A%20REVIEW.pdf (cit. 5.05.2021)
- [11] Bugaj, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.

UNMANNED AERIAL VEHICLE PILOT TRAINING

VÝCVIK PILOTOV BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV

Nikola Sklaličanová

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
nikolaskalicanova@gmail.com

Branislav Kandra

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
branislav.kandra@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper titled "Unmanned aerial vehicle pilot training" is focused on the analysis of unmanned aerial vehicle pilot training and the importance of using an unmanned flight simulator during the practical training of unmanned aerial vehicle pilots. For the realization of the paper, we used a device that served to measure the mental workload of unmanned aerial vehicle pilots during simulated and practical flight. Our experiment involved 5 unmanned aerial vehicle pilots in training who had zero or minimal flying experience. The aim of this work was to investigate to what extent mental workload acts on UAV pilots during simulated and practical flights. The measurements and their analysis showed that a much greater load is exerted on the pilots of unmanned aerial vehicles during practical flight. Through a primary experiment of already experienced pilots, we concluded that the majority of respondents would welcome the opportunity to use an unmanned flight simulator during their training. The paper concludes with a summary of the individual measurement results, graphical representations of the respondents' answers, as well as an implementation design that could be applied to the training of UAV pilots.

Keywords

unmanned aerial vehicles, pilot training, mental load, unmanned simulator

1. Úvod

V teoretických častiach sú vysvetlené základne charakteristiky danej problematiky, venujeme sa analýze výcviku pilotov bezpilotných prostriedkov v rámci Slovenskej republiky a porovnávame ho s výcvikom pilotov bezpilotných prostriedkov, ktorý je v súlade s novou Európskou legislatívou. Dôležitú časť práce zastupuje práve mentálna záťaž, ktorá pôsobí na pilotov bezpilotných prostriedkov počas praktického výcviku. Prostredníctvom praktickej časti poukazujeme na dôležitosť využitia bezpilotného letového simulátora pri výcviku pilotov bezpilotných prostriedkov, ktorý by mohol eliminovať mentálnu záťaž pilotov bezpilotných prostriedkov počas ich výcviku.

Hlavným cieľom je vytvorenie návrhu, ktorý by pomohol zlepšiť kvalitu letového výcviku pilotov bezpilotných prostriedkov na Katedre leteckej dopravy na Žilinskej univerzite v Žiline a bol by užitočným materiálom pre predmet prevádzka bezpilotných prostriedkov.

2. Zjednotenie Európskych pravidiel pre bezpilotné lietadlá

Nová Európska legislatíva je s účinnosťou od januára 2021. Avšak Slovensko nespĺnilo 2 základné úlohy. Delegované nariadenie komisie (EÚ) 2019/945 „Hovorí o stanovení požiadaviek na projektovanie a výrobu bezpilotných leteckých systémov, ktoré sú určené na prevádzku podľa pravidiel a podmienok, ktoré sú vysvetlené vo vykonávacom nariadení (EÚ) 2019/947 a modulov na diaľkovú identifikáciu. Vymedzuje sa v ňom typ bezpilotných leteckých systémov, ktorých výroba, projektovanie a údržba budú predmetom osvedčovania.

Prostredníctvom nariadenia sa stanovujú aj pravidla pre prevádzkovateľov UAS z tretích krajín, keď prevádzkujú UAS podľa vykonávacieho nariadenia (EÚ) 2019/947 vo vzdušnom priestore jednotného európskeho neba“ [1]. Od 01.01.2021 Slovensko začalo uplatňovať vykonávacie nariadenie Komisie EÚ č. 2019/947. Nariadenie zjednocuje pravidlá používania bezpilotných leteckých prostriedkov v krajinách Európskej únie. Pre niektoré členské štáty EÚ existujú výnimky, ktoré si môžu samostatne upraviť. Jednou z výnimiek, ktoré si členské štáty uplatňujú, je minimálny vek pre lietanie bezpilotných leteckých prostriedkov alebo pravidiel lietania v riadenom vzdušnom priestore s bezpilotným lietadlom. V súlade s nariadením, je možné vykonávať lety nad 120 metrov, prepravu nákladu za pomoci bezpilotného lietadla, ako aj lety, ktoré sú mimo priamej vzdialenosti bezpilotného lietadla a pilota. Pokiaľ budú zjednotené pravidla pre používanie bezpilotných leteckých prostriedkov v rámci Európskej únie, môže to ovplyvniť a rozšíriť trh so službami poskytovanými pomocou bezpilotných lietadiel [1] [2].

2.1. Teoretický a praktický výcvik v súlade s Európskou legislatívou

Skúška teoretických vedomostí pilota pre STS-01, STS-02 sa skladá minimálne zo 40 testových otázok, kde budú mať uchádzači na výber z viacerých možností, pričom je len jedna možnosť správna. K úspešnému absolvovaniu testu je potreba 30 správnych odpovedí. Časový limit na test je 60 minút, avšak podľa skúseností, Úrad pro civilní letectví informuje, že by samotné vypracovanie testu malo trvať približne polovicu času, záleží od skúseností a prípravy každého pilota. Hlavným cieľom teoretických skúšok je posúdenie technických vedomostí pilota,

ktorý ovláda bezpilotné lietadlo, ako aj prevádzkové spôsoby zmiernenia rizika. Pre úspešné absolvovanie skúšky je potrebné, aby uchádzači dosiahli vo všetkých predmetoch minimálne 75%. Skúšky sa skladajú z nasledujúcich predmetov:

- letecké predpisy,
- obmedzenia ľudskej výkonnosti,
- prevádzkové postupy,
- technické a prevádzkové spôsoby rizika na zemi,
- všeobecné vedomosti o bezpilotných prostriedkoch,
- meteorológia,
- letové charakteristiky bezpilotných prostriedkov,
- technické a prevádzkové spôsoby zmiernenia rizika vo vzduchu [3].

Praktický výcvik, ako aj jeho hodnotenie sa skladá z nasledujúcich predmetov:

- predletová príprava,
- letové postupy,
- poletové činnosti [3].

2.2. Teoretický a praktický výcvik v rámci Slovenskej republiky

Teoretické vedomosti sú hlavnou časťou pre získanie preukazu pilota UAV. Skúšky sa vykonávajú vo vopred stanovených termínoch na Dopravnom úrade. Skúšku je možné absolvovať v slovenskom jazyku, ktorá sa podľa rozhodnutia č.2/2019 skladá z nasledujúcich predmetov:

- letecké právo a postupy riadenia letovej prevádzky,
- všeobecné vedomosti o lietadle,
- letové výkony lietadla a plánovanie letov,
- meteorológia,
- prevádzkové postupy,
- základy letu,
- komunikácia [4].

Preskúšanie sa skladá zo 100 testových otázok, pričom v každej otázke sú uvedené tri odpovede, z ktorých je iba jedna možnosť správna. Celkový čas na vyplnenie testu je 90 minút. Pre úspešné absolvovanie skúšky je potrebné, aby uchádzači dosiahli vo všetkých predmetoch minimálne 75%. V prípade, ak uchádzač nedosiahne z jedného alebo viacerých predmetov minimálne považované percento, bude hodnotený ako nepospel. Z predmetov, z ktorých uchádzač nedosiahol minimálne považované percento, je potrebné opakovanie teoretickej skúšky. Nasledujúci pokus je možné uskutočniť po doručení záväznej prihlášky (F182-B) v termínoch, ktoré budú následne zverejnené [4].

Po úspešnom absolvovaní skúšok na Dopravnom úrade, je potrebné absolvovať aj praktickú časť skúšky, ktorá je vykonávaná s inšpektorom Dopravného úradu. Praktická skúška sa vykonáva podľa pokynov inšpektora na dohodnutom mieste a čase. Skúška sa zameriava na orientáciu vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky, praktickú znalosť pravidiel lietania v konkrétnej lokalite s používaním leteckej mapy ICAO a ovládania bezpilotného lietadla počas letu. Na praktickej skúške je potrebný doklad o evidencii lietadla v prípade, ak účastník nie je vlastníkom lietadla, je potrebný doklad preukazujúci užívacie právo k lietadlu, to znamená zmluvu o prenájme, pôžičke alebo inú zmluvu, ktorá bola v takomto prípade uzatvorená. Praktické skúšky sa konajú na Letisku Štefana Baniča v Boleráze alebo na Letisku Nitra Janíkovce [4].

3. Mentálna záťaž a stres

Termín stres vo všeobecnosti znamená zmenu psychickej záťaže a vznikne pri pôsobení rušivého faktora na daného človeka. Môžeme povedať, že organizmus vyvoláva reakciu, ktorú nie je možné špecifikovať na akúkoľvek záťaž. Taktiež stresom môžeme nazvať situácie, pri ktorých cítime napätie, rôzne emočné situácie alebo psychické reakcie. Veľmi zaujímavé je pozorovať, ako jednotlivci reagujú na rôzne stresové situácie. Zatiaľ čo sa niektorí ľudia dostanú veľmi rýchlo do stavu stresu, iní ľudia stres nebudú pociťovať rovnako, čo znamená, že budú voči stresu odolnejší. Pokiaľ bude človek vystavený takej istej stresovej podmienke, avšak pôjde o rozličné okolnosti, nemusí sa dostať do stresového stavu, tu môžeme poukázať na to, že ľudia budú reagovať na stres rôzne a bude to predchádzať aj situáciám, v ktorých sa momentálne nachádzajú. Správanie, ktoré napokon stres vyvolá, môže byť rôzne závisí a to najmä od situácie, v ktorej sa práve človek nachádza. Prejavom stresu môže byť úzkosť, tréma, strach dokonca aj hnev. Stresom môžeme taktiež rozumieť záťaž, ktorá pochádza z vonkajšieho alebo vnútorného prostredia a môže narúšať rovnováhu organizmu a prostredia [5].

3.1. Yerkes – Dodsonov zákon

Yerkes-Dodsonov model vyjadruje vzťah medzi stresom a úlohou, ktorú momentálne vykonávame. Je všeobecne dokázané, že ak chceme dosiahnuť maximálnu úroveň výkonu, je potrebná stredná úroveň stresu. Pokiaľ by bol stres príliš nízky a naopak príliš vysoký, môže to zapríčiniť horší výkon jednotlivca. Najlepším príkladom spomínaného zákona je stres, ktorému sme vystavený počas skúšky. Ak je úroveň stresu v optimálnej rovnováhe, zapamätaním si správnych odpovedí na otázku zistíme, že sme výkonnejší. Ak však prežívame nadmerný stres, namiesto toho pociťme nadmernú úzkosť, ktorá môže sťažiť schopnosť zapamätať si informácie. Yerkes-Dodsonovu krivku možno znázorniť ako obrátené písmeno U [6].

Nízka úroveň stresu

V počiatočnej fáze U krivky je nízka úroveň stresu, resp. motivácie, čo môže byť spojené najmä s nedostatkom spánku, nedostatkom motivácie, únavou, nižšou telesnou teplotou a pod. Vtedy sa telo nachádza v stave, kedy neočakávame, že budeme vykonávať nejaké zložité úlohy alebo máme nízku motiváciu niečo robiť. Naše mechanizmy pozornosti nie sú skutočne aktívne. Môžeme povedať, že nízka úroveň stresu nastáva vtedy, keď vykonávame tú istú prácu stále dookola a rovnako, po určitom čase sa z toho stane rutina a nebude

existovať stres a ani motivácia. Nebudeme mať motiváciu robiť niečo nad rámec a prekonávať samého seba, v podstate budeme vykonávať minimum, ktoré sa vyžaduje [6].

Optimálna úroveň stresu

Optimálna úroveň stresu je podmienkou dokonalej rovnováhy, človek sa nachádza v stave, kedy nie je príliš v strese ani motivovaný, a preto je výkon optimálny aj pre jednoduché a zložité úlohy. Optimálna úroveň stresu sa nachádza na vrchole U krivky. Úroveň výkonu sa postupne zvyšuje, keď krivka smeruje k optimálnej úrovni od úrovne nízkeho stresu, ako je znázornené na Obrázku 1. V jednoduchosti môžeme povedať, že optimálnu úroveň stresu dosiahneme vtedy, ak je naše telo vystavené primeranému množstvu stresu, avšak máme určité znalosti a motiváciu splniť danú úlohu, vtedy sa dá povedať, že fungujeme najefektívnejšie [6].

Vysoká úroveň stresu

Jedná sa o stav, keď je úroveň jednotlivca nad optimálnou rovnováhou. Spravidla sa táto úroveň spája s úzkosťou, nižšou koncentráciou, fyzickým napätím a neschopnosťou rozhodovať sa. Schopnosť jednotlivca sústrediť sa na všetko, čo sa deje v jeho okolí, sa znižuje so zvyšovaním úrovne napätia, čo spôsobuje znižovanie výkonu. Táto úroveň môže súvisieť s „psychickým rozpadom pod tlakom“, kedy sa jednotlivec nachádza v situácii, kedy sa stres a úzkosť povýšia na nevládnuteľnú úroveň [6].

3.2. Variabilita srdcového rytmu HRV

Variabilita srdcového rytmu (HRV) meria špecifické zmeny v čase (alebo variabilitu) medzi po sebe nasledujúcimi srdcovými rytmi. Čas medzi údermi sa meria v milisekundách (ms) a nazýva sa RR interval – po sebe nasledujúce intervaly medzi rytmi alebo *inter-beat* interval (IBI). Zatiaľ čo srdcová frekvencia (HR) zameriava na priemerné tepy za minútu, nevyžaduje presné časy, ale iba priemer úderov v danom časovom období. Napríklad 60 úderov za minútu HR môže znamenať 1 úder za sekundu alebo to môže znamenať priemerne 1 úder za každých 0,5 s, 1,5 s a pod. Všeobecne platí, že nízke HRV (alebo menšia variabilita srdcových rytmov) naznačuje, že telo je vystavené stresu z cvičenia, psychologických udalostí alebo iných vnútorných alebo vonkajších stresových faktorov. Vyššia HRV (alebo väčšia variabilita medzi srdcovými rytmi) zvyčajne znamená, že telo má silnú schopnosť tolerovať stres alebo sa silne zotavuje z predchádzajúceho nahromadeného stresu [7].

3.3. Elite HRV CorSense

Prístroj Elite HRV CorSense je predovšetkým navrhnutý pre presnosť. Meria presnú variabilitu srdcového rytmu prostredníctvom detekcie impulzov pomocou viac vlnným senzorom 500 Hz, ktorý sa pripevní na prst. Ide o presné neinvazívne meranie autonómneho nervového systému (ANS). Na rozdiel od základnej srdcovej frekvencie (HR), ktorá počíta počet srdcových úderov za minútu, sa HRV pozerá bližšie na presné zmeny času medzi po sebe nasledujúcimi srdcovými rytmi (nazývané tiež ako intervaly medzi rytmi, intervaly RR, intervaly NN a pod.) Pomocou prístroja Elite HRV CorSense sa dá ľahšie pochopiť zvládanie stresu a záťažových situácií, keďže zvyšuje odolnosť a vyrovnáva nervový systém. Vďaka HRV

sa dozvieme, ako vyzerajú naše normálne vzorce autonómneho nervového systému. Používaním prístroja sa dá znížiť stres, zlepšiť nálada, znížiť depresie a úzkosti. Namerané dáta sú zaznamenávané prostredníctvom bezdrôtového pripojenia s mobilným telefónom [8].

3.4. Parasympatický nervový systém (PNS)

Parasympatický nervový systém (PNS, parasympatikum) kontroluje telo a je spojený so zotavením, šetrí energiu, sťahuje zrenice, stimuluje trávenie, spomaľuje srdcovú frekvenciu a znižuje krvný tlak. Parasympatická srdcová aktivita znižuje srdcovú frekvenciu, čo znamená, že predlžuje časový interval medzi po sebe nasledujúcimi rytmi, zvyšuje variabilitu srdcového rytmu prostredníctvom zložky zosilnenej respiračnej sínusovej arytmie (RSA), čo znamená, že zvyšuje rýchle zmeny v RR intervale spojené s dýchaním – skrátenie intervalov RR počas inhalácie a predĺženie intervalov RR počas výdychu a znižuje pomer medzi nízkofrekvenčnými a vysokofrekvenčnými osciláciami v časových radoch HRV. Tento nervový systém kontroluje proces tela počas bežných situácií. PNS je zodpovedný za rast a regeneráciu. Má v sebe zahrnutých väčšinu automatických procesov, ktoré boli uvedené. Je potrebný pri regenerácii alebo pri tvorbe telových rezerv. Je zodpovedný za pokoj alebo oddych človeka. Na základe vyššie uvedeného sa index parasympatického nervového systému počíta v softvéri Kubios HRV na základe nasledujúcich troch parametrov: Mean RR interval, RMSSD (Root mean square of successive RR interval differences), D1 (Poincaré plot index SD1 in normalized units) [9]

3.5. Sympatický nervový systém (SNS)

Sympatický nervový systém (SNS, symatikum) riadi reakcie nášho tela „na boj alebo útek“ v reakcii na vnútorné alebo vonkajšie stresové faktory. Pomocou SNS sa zvyšuje výkon organizmu a aktivuje sa počas útočenia, pri únikovom správaní alebo počas námahy. Sympatický nervový systém stimuluje glukózu v krvi, rozširuje zreničky, stimuluje trávenie, zvyšuje srdcovú frekvenciu a rozširuje dýchacie cesty, aby sa zlepšila plynulosť dýchania. Spôsobuje, že telo uvoľňuje uloženú energiu, čím sa zvyšuje svalová sila. Sympatická srdcová aktivita zvyšuje srdcovú frekvenciu a znižuje variabilitu srdcového rytmu. SNS je ideálny na prekonanie krátkodobých stresových situácií. Môžeme povedať, že slúži ako „alarm“ a jeho úlohou je chrániť naše životy za každých okolností. V konečnom dôsledku spomaľuje procesy tela, ktoré sú v prípade núdze menej dôležité, napríklad trávenie Index sympatického nervového systému (SNS index) sa počíta v softvéri Kubios HRV na základe nasledujúcich troch parametrov: Mean HR interval, Baeovsky's stress index (SI), Poincaré plot index SD2 in normalized units [9].

4. Metodika práce a metódy skúmania

Predmetom metodiky práce je meranie záťaže nami vybraných pilotov vo výcviku počas letu na simulátore a počas praktického letu bezpilotným prostriedkom. V práci sa snažíme poukázať hlavne na dôležitosť využitia simulátora počas výcviku a nie len na teoretické vedomosti a praktické lety. K tomu, aby sme naplnili ciele, ktoré sme si vopred položili, bolo potrebné naštudovanie literatúry, ktorá sa týkala našej problematiky. Po podrobnom štúdiu literatúry sme prešli k analýze výcviku pilotov bezpilotných prostriedkov na Slovensku a v zahraničí. Následne

po teoretickej časti sme prešli na praktickú časť, ktorá sa venovala meraniu záťaže pilotov bezpilotných prostriedkov. V práci sme sa rozhodli pre kvantitatívny výskum, ktorého základom bolo meranie záťaže pilotov s využitím letového simulátora a počas praktického letu. Prostredníctvom kvantitatívneho výskumu sme získali presné namerané údaje. Vykonalenie meraní pilotov bolo pomocou experimentu, ktorého sa zúčastnili 5 účastníci.

Počas merania záťaže pilotov sme pracovali s prístrojom Elite HRV CorSense, ktorý zaznamenáva variabilitu srdcovej frekvencie a prostredníctvom nameraných parametrov vieme určiť záťaž pilota počas praktického letu a počas letu na simulátore.

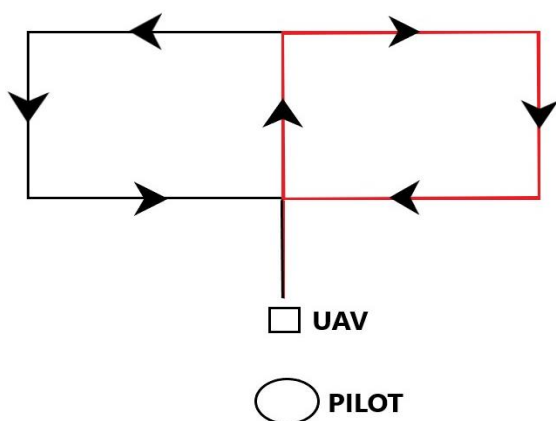
4.1. Priebeh merania letu

Na daný experiment sa účastníci nemohli vopred pripraviť, keďže inštruktor tesne pred vykonaním letu za pomoci simulátora navrhol trajektóriu letu, čo znamenalo, že účastníci museli tesne po vzlete preletieť bezpilotným prostriedkom daný obrazec. Celý priebeh experimentu pozostával z nasledujúcich cvičení:

Cvičenie 1 zoznámenie sa s bezpilotným prostriedkom DJI Mavic 2 PRO.

Cvičenie 2 podrobné vysvetlenie inštruktora o ovládaní bezpilotného prostriedku od štartu až po pristátie.

Cvičenie 3 let na simulátore Phoenix 5.5. Počas letu bolo na prste pilota pripojené zariadenie Elite HRV CorSense, ktoré bolo potrebné na meranie variability srdcového rytmu. Pilot bezpilotného prostriedku musel zaletieť obrazec, ktorý je znázornený na Obrázku 3. Po štarte bolo potrebné vyletieť do výšky dopredu určenej a následne zaletieť obrazec znázornený čiernou farbou. Otáčanie bezpilotného prostriedku bolo za pomoci smerovky v uhle 90 stupňov. Po zaletení vopred stanoveného obrazca musel pilot bezpilotného prostriedku pristáť a následne vzlietnuť vyššie a zaletieť obrazec, ktorý je znázornený červenou farbou.



Obrázok 1: Trajektória letu zostavená na praktický výcvik pilotov bezpilotných prostriedkov. Zdroj: Autori.

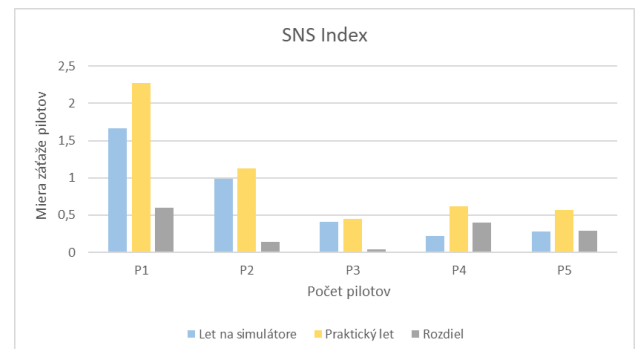
Cvičenie 4 praktický let bezpilotným prostriedkom. Počas letu bolo na prste pilota pripojené zariadenie Elite HRV CorSense tak, ako v prípade simulátora bolo potrebné zaletieť rovnaký obrazec, ktorý je znázornený na Obrázku 3.

Cvičenie 5 spracovanie nameraných dát pomocou softvéru Kubios HRV.

4.2. Kubios HRV

Kubios HRV je pokročilý a ľahko použiteľný softvér na analýzu HRV. Softvér podporuje niekoľko formátov vstupných údajov, napríklad údaje RR intervalu medzi rytmi. Softvér počíta všetky bežne používané parametre HRV v časovej a frekvenčnej oblasti a niekoľko nelineárnych parametrov. Existuje niekoľko nastavení, pomocou ktorých možno analytické metódy optimalizovať pre rôzne údaje. Za pomoci Softvéru sa taktiež vypočíta frekvencia dýchania odvodená z elektrokardiogramu (EKG), ktorá je dôležitá pre spoľahlivú interpretáciu výsledkov analýzy. Analýza je možné vykonávať za určité časové obdobie alebo je možné celý záznam spracovať pomocou časovo premennej analýzy. Keďže softvér poskytuje analýzu aktivity autonómneho nervového systému, analyzačné funkcie dostupné vo verzii Standard umožňujú vyhodnotiť úroveň stresu alebo sledovať zotavenie z denných meraní HR, napr. sledovaním zmien v indexe PNS. Výsledky analýzy je možné uložiť ako textový súbor, ktorý sa ľahko importuje do programu MS Excel, SPSS alebo ako PDF. Okrem aplikácie Kubios HRV a Kubios HRV Standard je možné zakúpiť si aj verziu Kubios HRV Premium. Avšak na naše merania sme zvolili možnosť využitia softvéru Kubios HRV Standard [10].

5. Zhodnotenie analýzy a návrh efektívnej prípravy výcviku uav

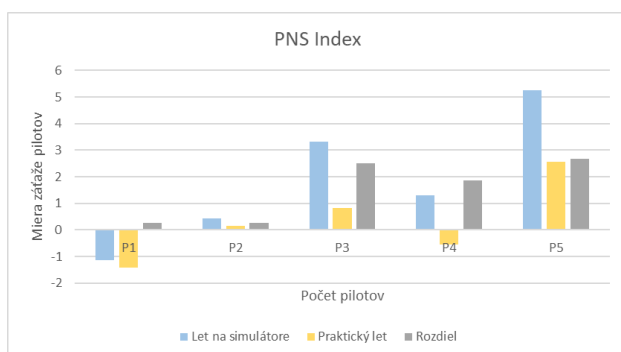


Graf 1: SNS index. Zdroj: Autori.

Z uvedeného Grafu 2 vyplýva, že index sympatického nervového systému sa zväčšujúcou záťažou zvyšuje, tak ako to bolo v prípade pilotov 1 až 5 (P1-P5).

Hodnoty sympatického a parasympatického indexu sú veľmi individuálne, nakoľko každý človek má pokojové HRV rozličné, niektoré hodnoty môžu byť prekvapivo nízke a iné zas vysoké. Najväčšiu hodnotu indexu sympatického nervového systému dosiahol pilot bezpilotného prostriedku 1 (P1) počas praktického letu. Jeho presná hodnota indexu bola 2,27. U prvého pilota bezpilotného prostriedku (P1) bol vypočítaný aj najväčší rozdiel medzi indexom SNS počas simulovaného letu a praktického letu a taktiež najvyšší SNS index počas letu na bezpilotnom simulátore. Naopak, najnižší rozdiel medzi letmi bol v prípade pilota bezpilotného prostriedku 3 (P3). Rozdiel indexu sympatického nervového systému medzi letmi predstavoval hodnotu 0,04. U pilota 3 (P3) bol nameraný najmenší SNS Index počas praktického letu s hodnotou 0,45. Najnižší index sympatického nervového systému bol nameraný pilotovi

bezpilotného prostriedku 4 (P4) počas simulovaného letu. Hodnota indexu predstavovala 0,22.



Graf 2: PNS Index. Zdroj: Autori.

Index parasympatického nervového systému sa so zvyšujúcou záťažou znižuje, čo znázorňujú hore uvedené grafické zobrazenia. U pilotov bezpilotného prostriedku 1 až 5 (P1-P5) sa PNS Index znižoval, čím sa potvrdilo toto tvrdenie. Najväčší rozdiel PNS Indexu medzi simulovaným a praktickým letom bol vypočítaný pri pilotovi 5 (P5), rozdiel indexu predstavoval hodnotu 2,68. U pilota 5 (P5) bola taktiež nameraná najväčšia hodnota PNS Indexu na bezpilotnom simulátore 5,25 a najväčšia hodnota PNS Indexu počas praktického letu 2,57. Najmenší rozdiel PNS Indexu bol vypočítaný u pilota 2 (P2). Rozdiel predstavoval hodnotu 0,26. U pilota 1 (P1) bola nameraná najmenšia hodnota PNS Indexu počas praktického letu -1,42 a najmenšia hodnota PNS Indexu počas simulovaného letu -1,15.

Praktické lietanie bezpilotným prostriedkom predstavovalo pre pilotov, ktorí sa zúčastnili nášho experimentu väčšiu záťaž. Grafické zobrazenie poukazuje na to, že praktický let pôsobí pre všetkých pilotov ako väčší stresor, a to v prípade sympatického aj parasympatického nervového systému.

5.1. Implementačný návrh

V nasledujúcej podkapitole na základe získaných dát z nášho experimentu a odpovedí od respondentov prichádzame s návrhom zlepšenia efektívnosti praktického výcviku pilotov bezpilotných prostriedkov na Katedre leteckej dopravy v Žiline. Myslíme si, že nami vytvorený implementačný návrh by mohol byť užitočný počas letového výcviku na Katedre leteckej dopravy a na predmete prevádzky bezpilotných prostriedkov. Prostredníctvom vykonaného experimentu sme zistili, že piloti bezpilotných prostriedkov vo výcviku sú vystavení väčšej mentálnej záťaži ako pri simulovanom lete. Keďže sme chceli zistiť spätnú väzbu už existujúcich pilotov bezpilotných prostriedkov, vytvorili sme dotazník, prostredníctvom ktorého sme získali názor na danú problematiku. Na základe získaných odpovedí sa naše predpoklady potvrdili a z konečnej vzorky 99 respondentov by až 92 pilotov bezpilotných prostriedkov využilo možnosť bezpilotného letového simulátora, pokiaľ by ho mohli absolvovať počas ich výcviku. Keďže väčšia polovica z respondentov pociťovala stres počas výcviku, myslíme si, že nami vytvorený implementačný návrh môže byť pre Katedru leteckej dopravy a pilotov prospešný. Sme názoru, že zaradenie bezpilotného letového simulátora by mohlo pozitívne ovplyvniť celkový výcvik pilotov bezpilotných prostriedkov, avšak dôležité je nastaviť ho správne.

Dôležité je podotknúť, že nami vytvorený návrh zaradenia bezpilotného letového simulátora do výcviku sa vzťahuje len na pilotov bezpilotných prostriedkov, ktorí majú minimálne, resp. žiadne skúsenosti s bezpilotným letovým simulátorom alebo praktickým letom. Pokiaľ by sa v skupine pilotov vo výcviku nachádzal účastník, ktorý má predchádzajúce skúsenosti s lietaním alebo bezpilotným letovým simulátorom a napriek tomu chce možnosť využitia bezpilotného letového simulátora absolvovať, je možné jeho začlenenie medzi ostatných pilotov bezpilotných prostriedkov, ktorí sa zúčastnia hodín simulovaného lietania.

Návrh zaradenia bezpilotného letového simulátora do výcviku:

1. Časť

15-30 minút potrebných na zoznámenie sa s ovládaním bezpilotného prostriedku. Piloti si osvoja teoretické poznatky a budú sa ich snažiť aplikovať počas simulovaného letu. Inštruktor pilotov bezpilotných prostriedkov oboznámi s ovládaním a podrobne vysvetlí priebeh letu. Po vykonaní bezpečného vzletu a pristátia, piloti bezpilotných prostriedkov môžu pokračovať na 2 časť.

2. Časť

Pokiaľ budú piloti bezpilotných prostriedkov vedieť vykonať bezpečný vzlet a pristátie, budú nasledovať 2 hodiny, ktoré sú venované obrazcom počas vykonávania letu. Piloti sa tak naučia vykonať manévry, ktoré stanoví inštruktor, ako napr.: obdĺžnik alebo kružnica. Budú sa riadiť pokynmi inštruktora a plniť jednoduché úlohy, ktoré inštruktor určí. Taktiež sa budú snažiť osvojiť si rôzne krízové situácie, ktoré môžu počas letu bezpilotným prostriedkom nastať.

3. Časť

Posledná časť výcviku prostredníctvom bezpilotného letového simulátora bude venovaná preskúšaniu pilotov bezpilotných prostriedkov. Inštruktor navrhne trajektóriu letu, ktorú bude musieť pilot bezpilotného prostriedku zaletieť spolu s krízovou situáciou, ktorá by potencionálne mohla nastať pri praktickom lete. 3 časť bude trvať 30 minút. Ak by existovali nejaké nejasnosti, prípadne otázky, pilot bezpilotného prostriedku ich môže prekonzultovať s inštruktorom a zopakovať si ich.

Celkový výcvik na bezpilotnom letovom simulátore by tak mohol trvať dokopy 3 hodiny. Myslíme si, že zavedenie bezpilotného letového simulátora do výcviku pilotov bezpilotných prostriedkov v podobe 3 hodín by malo potenciál a prínos ich výcvik.

6. Záver

Za pomoci experimentu sme dokázali, že samotný let bezpilotným prostriedkom pôsobí ako väčší stresor pre jeho pilota v porovnaní so simulovaným letom. Preto sme navrhli, že jeho zaradenie do výcviku pilotov bezpilotných prostriedkov by pomohlo eliminovať stres, a tým aj možné hrozby, ktoré sa môžu vyskytnúť počas samotného letu. Naše stanovisko o väčšej mentálnej záťaži počas praktického letu sme overovali aj prostredníctvom odpovedí, ktoré sme získali od respondentov prostredníctvom primárneho výskumu.

Na základe získaných odpovedí z primárneho výskumu sme sa utvrdili v tom, že so zaradením bezpilotného letového

simulátora do výcviku súhlasí aj väčšina pilotov bezpilotných prostriedkov, ktorí už výcvik absolvovali. Prostredníctvom implementačného návrhu sme vytvorili jednotlivé časti, ktoré podrobne opisujú, ako by prebiehalo zaradenie letového simulátora do výcviku pilotov bezpilotných prostriedkov.

Na záver môžeme zhodnotiť, že nami vytvorený implementačný návrh by mohol pozitívne ovplyvniť výcvik pilotov bezpilotných prostriedkov na Katedre leteckej dopravy, ako aj predmet prevádzka bezpilotných prostriedkov. Piloti by si mohli osvojiť citlivosť ovládania, taktiež aj základné ovládacie prvky, a tým predchádzať možným komplikáciám počas samotného letu.

PodĎakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky KEGA 046ŽU-4/2019 s názvom „Inovácia vzdelávania v oblasti prevádzky lietadiel spôsobilých lietať bez pilota“.

Referencie

- [1] Delegované nariadenie komisie (EÚ) 2019/945 z 12. marca 2019 o bezpilotných leteckých systémoch a o prevádzkovateľoch bezpilotných leteckých systémov z tretích krajín [online]. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&from=RO> (citované 2021-02-15)
- [2] Pravidlá lietania s dronmi na Slovensku 2021 [online]. Dostupné na internete: <https://www.aprop.sk/clanok/legislativa-pravidla-lietanie-drony?fbclid=IwAR1wvyhe05CyzbOfPiRpBUySOR5tdlLwyYAEtM9rdYDNuzOjvMirWeWl5m4> (citované 2021-02-08)
- [3] Vykonávacie nariadenie komisie (EÚ) 2019/947 z 24. mája 2019 o pravidlách a postupoch prevádzky bezpilotných lietadiel [online]. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:02019R0947-20200606&from=EN> (citované 2021-02-19)
- [4] Lietadlá spôsobilé lietať bez pilota Civilné letectvo [online]. Dostupné na internete: <http://letectvo.nsat.sk/letova-prevadzka/lietadla-sposobile-lietat-bez-pilota/> (citované 2021-02-10)
- [5] Prohuman. Stres a záťaž u ľudského jedinca [online]. Dostupné na internete: <https://www.prohuman.sk/psychologia/stres-a-zataz-u-ludskeho-jedinca> (citované 2021-03-10)
- [6] Yerkes-Dodson Law – Psychestudy [online]. Dostupné na internete: <https://www.psychestudy.com/general/motivation-emotion/yerkes-dodson-law> (citované 2021-03-26)
- [7] Heart Rate Variability vs. Heart Rate, Elite HRV [online]. Dostupné na internete: <https://elitehrv.com/heart-rate-variability-vs-heart-rate> (citované 2021-03-27)
- [8] What is Heart Rate Variability? Elite HRV [online]. Dostupné na internete: <https://elitehrv.com/what-is-heart-rate-variability> (citované 2021-04-05)
- [9] HRV in evaluating ANS function, Kubios [online]. Dostupné na internete: <https://www.kubios.com/hrv-ans-function/> (citované 2021-04-15)
- [10] Tarvainen, M. P. a kol. 2014. Kubios HRV heart rate variability analysis software. In *Comput Methods Programs Biomed* [online] 2014 roč. 113, č. 1, s. 210–220 [cit. 2021-05-08]. PMID 2405-4542.

DESIGN OF A BLADELESS ENGINE COMPRESSOR BASED ON MAGNETOHYDRODYNAMICS

NÁVRH BEZLOPATKOVÉHO KOMPRESORU MOTORU NA BÁZI MAGNETOHYDRODYNAMIKY

Jana Stachová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
stachova5@stud.uniza.sk

Jozef Čerňan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jozef.cernan@fpedas.uniza.sk

Abstract

This article is a technical analysis focusing on the design of a bladeless compressor based on magnetohydrodynamics and the possibilities of its use. The aim of this work is to design new solutions in the field of aircraft compressors and to provide a comprehensive overview of scientific information on the topic. Emphasis is also placed on acquainting the reader with the basic principles of magnetohydrodynamics and the possibilities of its application in the field of aircraft propulsion units. The work is a combination of professional research of scientific information in the field of plasma and magnetohydrodynamics and a practical part whose goal is to create new design of a bladeless compressor using scientific observation and modelling methods. This design was also examined in the work using the method of comparison, which aimed to examine the design and its behaviour in different configurations. The main goal was to combine essential and key information from the researched area and apply it in a completely new way in designing new solutions in issued area.

Keywords

magnetohydrodynamics, bladeless compressor, plasma, magnetohydrodynamic accelerator, magnetohydrodynamic drive

1. Úvod do problematiky

V současné době bereme leteckou dopravu jako samozřejmost. Letecká přeprava nákladů či osob se stala součástí běžného života, bez které si náš současný život již nedokážeme představit. Stejně tak si nedokážeme představit život bez pohonných hmot z fosilních zdrojů, které tyto dopravní prostředky pohánějí. Důležité je si ovšem uvědomit, že ani tyto zdroje nejsou nevyčerpatelné. Zásoby fosilních zdrojů se zmenšují a doba, ve které jejich množství bude velice omezené je neodvratná. Problémem fosilních paliv není ovšem pouze jejich neobnovitelnost, ale také produkce emisí, které vznikají při spalování těchto paliv. Vzniklé emise následně negativně ovlivňují životní prostředí a v konečném důsledku přispívají také ke globálnímu oteplování. Problém týkající se dalšího využívání fosilních paliv v dopravě, a nejen v letecké, bude tedy nezbytné do budoucna vyřešit.

Letecká doprava bude do budoucna čelit nemalým výzvám. Jednou z největších výzev bude bezesporu přechod na nefosilní zdroje pohonných hmot. Velkou nevýhodou těchto nefosilních paliv je kromě omezené dostupnosti také vysoká cena, která mimo jiné souvisí s technicky i cenově náročnými výrobními procesy. Zvýšení cen pohonných hmot se samozřejmě promítne i do finální ceny letecké dopravy, a pokud nebudeme hledat nová řešení, je zcela možné, že letecká doprava se stane cenově nedostupnou. Právě z toho důvodu je nezbytné se zaměřit na hledání nových řešení právě v oblasti pohonných jednotek. A nadále hledat nové technologie, které do budoucna přinesou co nejvyšší ekonomickou úsporu a zajistí tak budoucnost letecké dopravy.

Z následujícího důvodu vznikl tento vědecký článek, který se zaměřuje na hledání nových konstrukčních řešení v oblasti leteckých pohonných jednotek, konkrétně v oblasti leteckých kompresorů. Hlavním cílem je prozkoumat nové oblasti a zaměřit se na návrh vhodného řešení, které by našlo v oblasti letecké dopravy své budoucí uplatnění.

2. Současný stav dané problematiky

Letecké pohonné jednotky si bezesporu prošly dlouhou cestu vývoje. Neustále se zlepšující technologie, inovované výrobní procesy a nové materiály velkým dílem přispěly k současnému vzhledu leteckých motorů. Nezbytnou součástí proudových motorů jsou lopatkové části motoru, konkrétně lopatkový kompresor a lopatková turbína.

Současné konstrukční řešení proudových motorů lze bezesporu považovat za vrchol vědeckého pokroku. Ovšem nastává důležitá otázka, zda prostor, posouvat se neustále vpřed, nebyl již v tomto směru vyčerpán. Samozřejmě další nová inovace, vylepšený povrch lopatek, či nový odolnější materiál může přispět k větší efektivitě, výraznější odolnosti či delší životnosti motoru. Je ovšem otázkou, zda tato již malá vylepšení budou do budoucna stačit. Bohužel ani sebelepší inovace nedokážou zcela odstranit určité problémové charakteristiky proudových motorů, které vyplývají z jejich podstaty.

Jedná se především o hydraulické ztráty, které souvisejí s prouděním vzduchu uvnitř kompresoru, konkrétně s prouděním vzduchu při obtékání lopatek. Tyto ztráty lze samozřejmě eliminovat, ale nikdy je nelze naprosto odstranit.

Je důležité si uvědomit, že jakékoli ztráty, které vznikají v kompresoru přispívají ke snížení jeho celkové účinnosti. Nižší účinnost u kompresoru vede k tomu, že kompresor na stlačení vzduchu vyžaduje více práce, než by teoreticky vyžadoval. Pokud porovnáme dva kompresory, jeden axiální a druhý radiální, které budou mít stejné parametry. Zjistíme, že účinnější kompresor, tedy kompresor axiální spotřebuje na stlačení stejného množství vzduchu méně práce. Účinnost axiálního kompresoru se deklaruje v rozmezí $\eta_{kc} = 0,88$ až $0,91$ u podzvukových stupňů. I přesto, že tato účinnost u axiálního kompresoru je poměrně vysoká, stále existuje prostor pro zlepšení a případné zvýšení účinnosti. Už jen fakt, že by se odstranily lopatky z kompresoru by vedlo k odstranění ztrát spojených s obtékáním lopatek.

V případě tedy vhodného návrhu a správného zhotovení mohou bezlopatkové kompresory dosahovat vyšší účinnosti než lze v současnosti považovat za maximálně dosažitelné. Zvýšení účinnosti znamená snížení práce potřebné ke kompresi vzduchu, a tedy ušetření paliva. Také odstranění veškerých lopatek by vedlo ke snížení hmotnosti nejen motoru, ale v konečném důsledku také palivových nádrží. Jelikož zvýšení účinnosti vede k redukci spotřeby paliva, můžeme tedy vzít v potaz i redukci velikosti a hmotnosti nádrží, což povede ve finále k redukci hmotnosti celé konstrukce letadla.

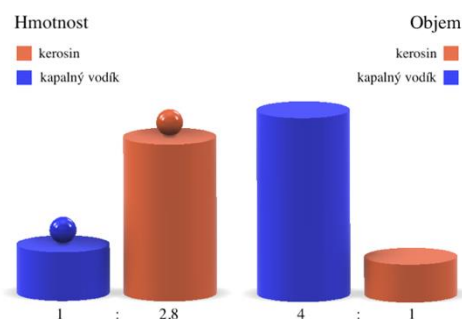
Snížení spotřeby paliva je jistě výhodným benefitem, jak z hlediska finančního, tak i z hlediska ekologického zatížení. Ovšem benefit související se zmenšením palivových nádrží se může zdát v dnešní době poměrně diskutabilní. Pokud především vezmeme do úvahy časovou, technologickou a finanční náročnost související se zavedením nové technologie jako je bezlopatkový kompresor. Ovšem důležité je si také uvědomit, že v rozmezí několika let může být řešení, jak snížit co nejvíce spotřebu paliva, a dokonce i velikost palivových nádrží zásadní pro budoucnost leteckého odvětví. A to hlavně z důvodu snižování emisí a postupného přechodu na ekologická nefosilní paliva. Téma dekarbonizace v letecké dopravě je více než aktuální vzhledem k Zelené dohodě pro Evropu vydanou Evropskou komisí, která si dává za cíl dekarbonizaci a klimatickou neutralitu do roku 2050.

Velice vhodným palivem pro leteckou dopravu se jeví kapalný vodík. Přechod na vodík, jakožto letecké palivo s sebou ovšem přináší hned několik úskalí. Pokud pomineme jeho technologicky náročné uskladnění a složitý transport narazíme na několik dalších výzev. Dalším výrazným problémem je v současné době také omezená produkce vodíku, která je zároveň ekologicky příznivá. V současné době produkce vodíku dosahuje 55 milionů tun za rok, z čehož 96 % celkové produkce je získáno pomocí parního reformování zemního plynu. Při tomto procesu je vyprodukovaný vodík poměrně levný ovšem vzniká z fosilních zdrojů a při jeho výrobě dochází ke značné produkci nežádoucího oxidu uhličitého. Následně zbylé 4 % připadají na výrobu pomocí elektrolýzy vody. Tento způsob je sice ekologicky šetrný, ovšem také velice energeticky náročný, což se ve finále odráží na vysoké ceně finálního produktu. Právě získávání vodíku z obnovitelných zdrojů je naprosto klíčové, pokud chceme docílit snížení emisí a zlepšení životního prostředí. Dalším důležitým aspektem je také cena. Vodík, jakožto nefosilní palivo, které je možné získávat výhradně výrobním procesem, je cenově daleko méně výhodné než současný letecký kerosin. Odhaduje se, že při využití současných technologií turbínových motorů při jejich adaptaci na vodík, by

cena na osobový kilometr vzrostla o 30 až 40 % u letů na střední vzdálenost a o 40 až 50 % u letů na dlouhou vzdálenost.

I přesto, že se bude produkce vodíku v následujících letech navyšovat, musíme vzít v potaz, že ekologicky šetrný vodík bude stále v následujících letech nedostatkovou surovinou. Pokud navíc zohledníme i jeho vysokou cenu oproti fosilním palivům, je kladení vysokého důrazu na co nejvyšší palivovou efektivitu budoucích pohonných jednotek více než žádoucí.

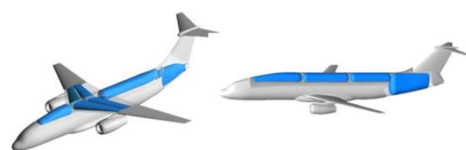
Kromě údaje o navýšení celkové ceny za osobový kilometr můžeme také pozorovat nežádoucí nárůst maximální vzletové hmotnosti (MTOW). Tento nárůst je ovlivněn především palivovými nádržemi specifickými pro vodík. Tvar i velikost nádrží jsou přímo ovlivněny vlastnostmi vodíku. Jak lze vidět na grafu pod tímto odstavcem (Obr. 1), vodík v kapalné fázi (LH₂) disponuje 2,8krát větším energetickým obsahem na jednotku hmotnosti než letecký kerosin. Ovšem jakožto nejlehčí chemický prvek s velice nízkou hustotou je kapalný vodík čtyřnásobně objemnější v porovnání s leteckým kerosinem.



Obrázek 1: Srovnání kapalného vodíku a petroleje z hlediska hmotnosti a objemu. Zdroj: Autori.

Podle provedených studií, pro ekvivalentní množství hustoty energie při využití kapalného vodíku, je tedy zapotřebí čtyřnásobek objemu paliva oproti konvenčnímu kerosinu. Tento požadavek se samozřejmě promítne také na velikosti nádrží, které musí dosahovat čtyřnásobně většího objemu, což bude mít za následek zvětšení jejich hmotnosti.

I přesto, že je vodík v kapalné fázi čtyřikrát objemnější než letecký kerosin, jeví se kapalné skupenství stále jako nejvhodnější pro využití v letectví, jelikož dosahuje stále menšího objemu než v plynném stavu. Abychom vodík udrželi v kapalné fázi je nutné teplotu udržovat mezi jeho bodem mrazu a bodem varu, tedy v rozmezí -259 °C až -253 °C. Rozdíl teplot mezi tepelnými podmínkami v nádrži a okolním prostředím může dosahovat až 300 °C. Jedná se tedy o kryogenní pohonnou hmotu. Z tohoto důvodu se jeví jako nejvhodnější způsob skladování kapalného vodíku válcová nebo sférická konstrukce s dvojitou stěnou s izolačním systémem na bázi vakua. Výsledkem jsou neintegrální palivové nádrže s nekonvenční konfigurací, které musí být implementovány do konvenční konstrukce letadla (Obr. 2).



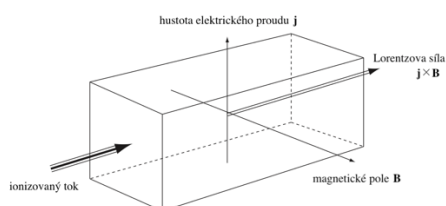
Obrázek 2: Jednotlivé konfigurace vodíkových nádrží. Zdroj: [2.]

I přesto, že se tato práce primárně zaměřuje na návrh bezlopatkového kompresoru. Komplexní pochopení dané problematiky je naprosto zásadní pro návrh budoucích řešení, jak tyto výzvy související s přechodem na vodíkový pohon do budoucna eliminovat. Právě komplexní pohled a inovativní přístup se zaměřením na zefektivnění pohonných jednotek, například ve formě návrhu zcela nového efektivnějšího kompresoru využívající bezlopatkové technologie, může být v budoucnosti jedním z řešení. [1]

3. Návrh řešení dané problematiky

Jedním z možných inovativních řešení je uplatnění principů magnetohydrodynamiky. U bezlopatkového kompresoru založeném na tomto principu by docházelo k postupnému stlačení vzduchu pomocí speciálně tvarovaného kanálu s působením magnetických a elektrických polí přímo uvnitř kompresoru. Vzájemné působení těchto polí v kombinaci s Lorenzovou silou, která bude vzduch stáčet do spalovací komory. Zapříčiní, že schopnost efektivní komprese vzduchu nebude podmíněna žádnou počáteční rychlostí. Motor tedy bude schopen efektivně pracovat během všech fází letu.

Výsledkem zkoumání byl tedy návrh bezlopatkového kompresoru na bázi magnetohydrodynamického akcelérátoru (Obr. 3).



Obrázek 3: Princip funkce magnetohydrodynamického akcelérátoru. Zdroj: [3].

Konstrukční návrh bezlopatkového kompresoru musel splňovat určité podmínky. První a zároveň nejdůležitější podmínkou bylo splnění požadavků na funkčnost konstrukčního řešení daného kompresoru z hlediska fyzikálních principů. Tato funkčnost byla ověřena především uplatněním fyzikálních zákonů, v určitých případech také zavedených vzorců, které vysvětlují určité vztahy a principy funkčnosti. Dalším důležitým aspektem podporující realizovatelnost daného návrhu řešení je také využití principů již existující technologie magnetohydrodynamického akcelérátoru.

Nevýhodou těchto zařízení je ovšem obdélníkový tvar průřezu pracovního kanálu. Pokud by došlo k použití obdélníkového tvaru pracovního kanálu i v případě tohoto návrhu, řešení by velice dobře splňovalo podmínku kolmosti elektrických a magnetických polí. Ovšem v případě náporu vstupujícího vzduchu do motoru, by takový kanál mohl při určitých náběžných úhlech narušovat plynulé proudění vzduchu a přispívat ke vzniku turbulencí v oblasti vnitřních hran kanálu. Z tohoto důvodu bylo nutné zachovat kruhový průřez kanálu, čemuž bylo nutné přizpůsobit celkovou konstrukci kompresoru. Především tedy rozložení elektrod a umístění supravodivých magnetů, tak aby bylo zachováno správné působení elektrického a magnetického pole na vstupující částice vzduchu.

Další stanovenou podmínkou bylo zajistit možnost regulace úrovně stlačení kompresoru. Tato podmínka byla stanovena, aby byla zajištěna co nejefektivnější funkčnost kompresoru během všech fází letu. Poslední vytyčenou podmínkou bylo splnění požadavků z hlediska aerodynamiky. Návrh bezlopatkového kompresoru musel splňovat stejné aerodynamické požadavky, které jsou kladeny na konstrukci současných proudových podzvukových motorů používaných v civilním letectví. Tento požadavek musel být splněn z důvodu, aby konstrukce kompresoru, z hlediska aerodynamiky, nebránila případné reálné aplikaci do oblasti civilního letectví. Bylo tedy nutné zachovat kruhový tvar průřezu kanálu kompresoru, tedy stejný tvar, který se využívá v současných lopatkových kompresorech.

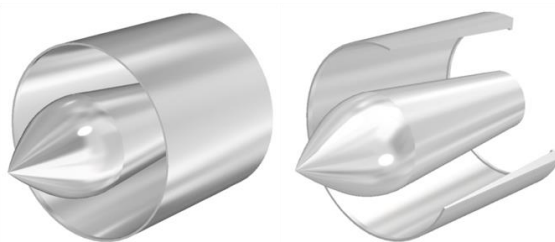
Kruhovému průřezu pracovního kanálu kompresoru bylo taktéž přizpůsobeno vstupní ústrojí (Obr. 4). Tvar vstupního ústrojí vycházel z konvenčního tvaru podzvukového vstupního ústrojí proudových motorů. Vstupní ústrojí je tedy navrženo jako pevné podzvukové, bez přítomnosti regulačních částí s kruhovým průřezem. Kanál vstupního ústrojí je navrženo jako divergentní. Tento tvar kanálu umožňuje snížit rychlost proudu a se zvyšující se rychlostí letu zvýšit tlak na vstupu do kompresoru.



Obrázek 4: Schématické zobrazení vstupního ústrojí: v plném zobrazení (vlevo), v průřezu (vpravo). Zdroj: Autori.

Uvnitř pracovního kanálu kompresoru se dále nachází dvě elektrody, které vytváří elektrostatické pole. Tyto elektrody byly navrženy v souladu s kruhovou geometrií průřezu pracovního kanálu, tak aby jejich tvar negativně neovlivňoval celkové aerodynamické vlastnosti kompresoru. Jak lze vidět na obrázku pod tímto odstavcem, vnitřní elektroda je navržena ve formě centrálního kužele a druhá elektroda ve formě vnějšího válce (Obr. 5).

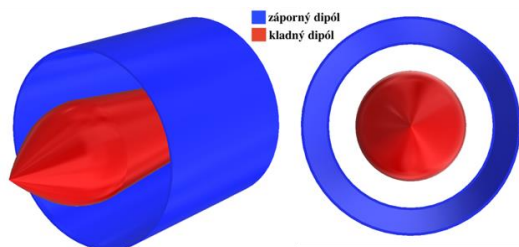
Obě elektrody jsou umístěny v podélné ose pracovního kanálu, který se směrem ke spalovací komoře zužuje. Na vstupu do kompresoru je zvolen větší průměr pracovního kanálu, z důvodu vysokého objemu vstupujícího vzduchu. Tento objem se následně při průchodu pracovním kanálem zmenšuje vlivem postupné komprese. Stlačený vzduch tedy zabírá daleko menší objem, čemuž odpovídá i postupné zúžení kanálu. Toto zúžení je úměrné po celé délce kanálu.



Obrázek 5: Schématické zobrazení elektrod: v plném zobrazení (vlevo), v průřezu (vpravo). Zdroj: Autori.

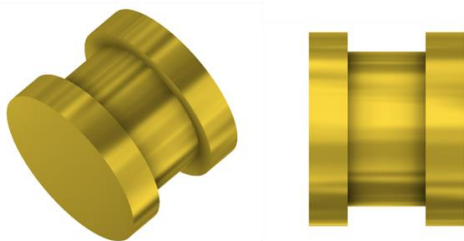
Elektrody tedy mají mezi sebou neustále konstantní vzdálenost. Zachování konstantní vzdálenosti mezi elektrodami je důležité hlavně z důvodu rovnoměrného rozložení elektrostatického pole. Neúměrným přiblížením nebo naopak oddálením elektrod od sebe by vznikaly výkyvy intenzity tohoto pole, což by mohlo ve finále ohrozit stabilní činnost kompresoru.

K vytvoření elektrostatického pole, musí být soustava připojena na zdroj elektrického napětí. Dále je také nezbytné zajistit, aby soustava disponovala opačnými dipóly. Vnitřní elektroda tedy disponuje kladným dipólem a vnější elektroda dipólem záporným (Obr. 6). Také je samozřejmě nutné zvolit vhodný materiál elektrod, tento materiál musí být dobře vodivý a také odolný, aby se zabezpečila vysoká vodivost a zároveň vysoká bezpečnost během provozu. Jako vhodný materiál se jeví například slitiny wolframu či iridia. Oba tyto materiály disponují vysokou odolností a zároveň dobrou vodivostí. Jejich nevýhodou je ovšem vysoká hmotnost. Tento problém by se dal snadno vyřešit nanášením nezbytně nutné vrstvy na povrch elektrody, aby se co nejvíce eliminovala její hmotnost.

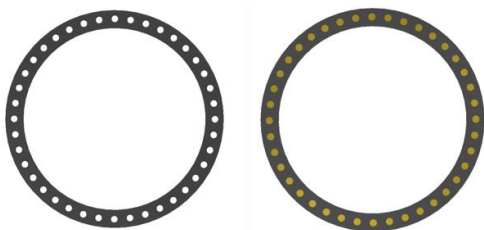


Obrázek 6: Schematické zobrazení kladného a záporného dipólu elektrod. Zdroj: Autori.

Vzhledem k tomu, že kompresor je navržen na principu magnetohydrodynamického akcelérátoru, další nezbytnou součástí je zařízení, které zabezpečí generaci silného a zároveň stabilního magnetického pole. Pro tyto účely byl navržen supravodivý elektromagnet ve tvaru válce, který se skládá ze supravodivých cívek (Obr. 7) a keramických disků (Obr. 8.).



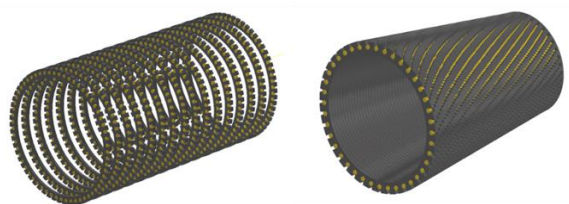
Obrázek 7: Supravodivý element cívky. Zdroj: Autori.



Obrázek 8: Keramický disk: bez supravodivých elementů (vlevo), se supravodivými elementy (vpravo). Zdroj: Autori.

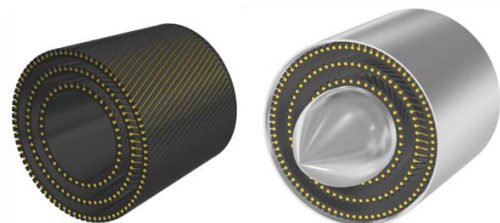
Supravodivý materiál u cívek byl zvolen z důvodu své schopnosti vytvářet silná magnetická pole. Cívka ze supravodiče, při průchodu elektrického proudu, dokáže vytvořit podstatně silnější magnetické pole než běžný nesupravodivý vodič. Supravodivá cívka byla navržena ve formě malých elementů zasazených do keramického disku. Disky slouží jako izolační prvek mezi cívkami a pracovním kanálem. Materiál byl tedy zvolen podle své schopnosti izolace a odolnosti vůči vysokým teplotám. Další výhodou keramiky je také její nízká hmotnost.

Jak již bylo zmíněné dříve, supravodivý element cívky je vložen do keramického disku. Spojením těchto disků do jednoho celku vznikne supravodivý elektromagnet ve tvaru válce (Obr. 9). Keramické disk, stejně jako elektrody jsou navrženy způsobem, aby kopírovali konvergentní tvar pracovního kanálu. Průměr jednotlivých disků se tedy postupně zmenšuje směrem ke spalovací komoře.



Obrázek 9: Zobrazení jednotlivých disků před spojením (vlevo), vzhled finálního válce (vpravo). Zdroj: Autori.

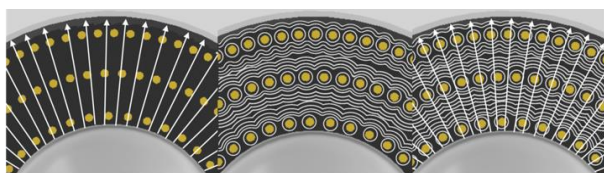
Aby došlo k rovnoměrnému a zároveň silnému působení magnetického pole na částice vstupujícího vzduchu, byl finální návrh kompresoru navržen jako kombinace třech elektromagnetických supravodivých válců vsazených do sebe (Obr. 10). V této konfiguraci docílíme rovnoměrného a zároveň silného magnetického pole během celého procesu komprese. Intenzita magnetického pole bude mít výsledný efekt na Lorentzovu sílu, a tedy i na výslednou kompresi proudu vzduchu. Jak lze vidět na obrázku pod tímto odstavcem, prostor mezi prostředním a vnitřním válcem tvoří první kanál pro vstup vzduchu, druhý kanál je následně tvořen meziprostorem mezi prostředním a vnějším válcem. Kompresor je tedy navržen jako dvou Proudový. Ovšem s tím rozdílem, že oproti dvou Proudovému konvenčnímu motoru se na procesu komprese podílí oba vzduchové kanály. Umístění všech válců je v podélné ose kompresoru mezi elektrodami. Také v tomto případě byl kladen důraz na to, aby vzdálenost mezi jednotlivými válci byla konstantní v celém pracovním kanálu kompresoru, a to především z důvodu rovnoměrného rozložení magnetického pole.



Obrázek 10: Schematické zobrazení třech elektromagnetických válců (vlevo) a kombinace válců s elektrodami (vpravo). Zdroj: Autori.

Pokud tedy dojde ke spojení supravodivých elektromagnetických válců s elektrodami, vznikne zařízení, které je schopno generovat ve stejný okamžik magnetické

i elektrostatické pole (Obr. 11). Mezi opačnými dipóly elektrod dochází ke vzniku pole elektrostatického. Elektrostatické pole má schopnost působit na částice ionizovaného vzduchu. Pokud ionizovaná částice vejde do tohoto pole, začne být tímto polem ovlivňována. Následně na základě svého náboje, bude přitahována k opačně nabitému dipólu elektrody. Pokud tedy náboj částice bude kladný, částice bude přitahována k zápornému dipólu, v tomto případě vnějšímu válci elektrody. Ovšem ve stejný okamžik bude na nabitou částici vzduchu působit také pole magnetické, generováno cívkami. V tomto případě je důležité zajistit, aby směr proudu procházející supravodičem byl ve všech vodičích identický, aby nedocházelo ke vzájemnému odpuzování magnetického pole. Podle Lorentzova silového zákona bude tedy výsledný směr částice kolmý vůči vzájemné rovině elektrického a magnetického pole. Částice bude tedy vytlačována kanálem směrem ke spalovací komoře.



Obrázek 11: Schematické zobrazení siločar uvnitř kompresoru: elektrostatického pole (vlevo), magnetického pole (uprostřed), výsledné působení elektrostatického a magnetického pole. Zdroj: Autori.

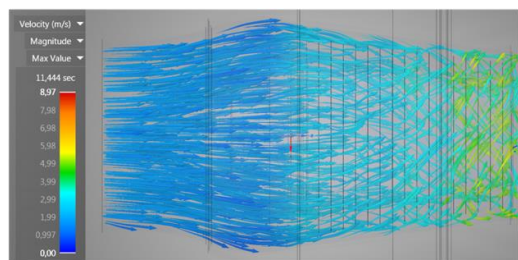
Nyní se již dostáváme k procesu samotné komprese vstupujícího proudu vzduchu. Jak již bylo zmíněno dříve, částice vzduchu budou urychleny pomocí Lorentzovy síly a vytlačovány pracovním kanálem do spalovací komory. Důležitou úlohu během procesu komprese hrají speciálně navržené cívky. Cívky ve formě malých elementů lze pomocí otáčení jednotlivých disků regulovat a tím měnit i výsledný tvar magnetického pole (Obr. 12). Regulací tvaru magnetického pole zároveň docílíme i regulace trajektorie Lorentzovy síly. Pokud by vzduch proudil přímo do spalovací komory, nabíral by průchodem konvergentním kanálem pouze rychlost. Takto urychlený vzduch by následně mohl při svém vstupu do spalovací komory ohrozit stabilitu plamene. Hlavní podstatou je tedy natočit supravodiče cívkami pod určitým úhlem tak, aby tvořily spirálu. Spirálovitým pohybem zajistíme snížení rychlosti vzduchu a zároveň zvýšení tlaku. Úhlem natočení daných cívek můžeme tedy regulovat strmost spirály, a tedy i výsledné stlačení vzduchu. Na podobném principu pracují i lopátkové kompresory. Čím více stupňů lopátkového kompresoru do pracovního kanálu zařadíme, tím bude vzduch pomalejší a více stlačený. Vysoká strmost spirály bezlopatkového kompresoru tedy zajistí vysoký počet otáček, které částice vzduchu urazí při průchodu pracovním kanálem, vzduch se v osovém směru více zpomalí a zároveň se zvýší jeho tlak.



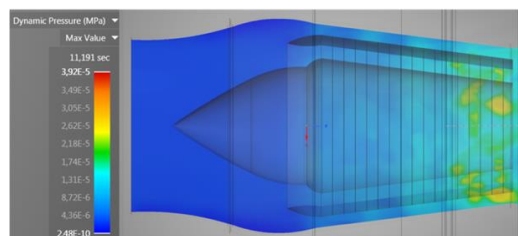
Obrázek 12: Variace supravodivých elementů v elektromagnetickém válci. Zdroj: Autori.

Následující simulace zobrazují změny parametrů vstupujícího proudu vzduchu při průchodu pracovním kanálem kompresoru. Simulace byly provedeny v programu Ansys Discovery, a jejich primárním účelem bylo zkoumat změny rychlosti a tlaku při průchodu vzduchu pracovním kanálem, kdy směr proudění byl nastaven do spirály kolem podélné osy kompresoru.

Na první simulaci (Obr. 13) jsou vzduchové částice vyobrazeny jako vektory rychlosti. Na této simulaci tedy lze pozorovat změny rychlosti procházejícího proudu vzduchu kompresorem. Při průchodu vzduchových částic pracovním kanálem dochází ke zrychlení proudu vzduchu. Důležité je ovšem dodat, že toto zrychlení je ve spirálovém pohybu, v přímém směru podél osy kompresoru ve skutečnosti dochází k výraznému zpomalení rychlosti. Prodloužením trajektorie vzduchových částic ve finále docílíme intenzivnějšího stlačení. Proces změny dynamického tlaku je zobrazen na druhé simulaci (Obr. 14) pod tímto odstavcem. Simulace potvrzuje zvýšení tlaku na výstupu z kompresoru. Důležité je také dodat, že uvedené hodnoty jsou orientační a slouží k názornému zobrazení charakteru proudění. Pokud by došlo k realizaci skutečného kompresoru, naměřené hodnoty by se samozřejmě mohly lišit. Princip zvýšení rychlosti i stlačení proudu vzduchu by ovšem zůstal zachován.



Obrázek 13: Simulace vektorů rychlosti při průchodu vzduchového proudu kompresorem. Zdroj: Autori.



Obrázek 14: Simulace změny dynamického tlaku proudu vzduchu při průchodu kompresorem. Zdroj: Autori.

Natáčení elementů tedy zajišťuje široké možnosti regulace kompresoru. Tato schopnost by se dala efektivně využít k regulaci kompresoru v celém rozsahu rychlostí letadla. V počátečních fázích, kdy je rychlost letu poměrně nízká, nedochází k náporovému stlačení ve vstupním ústrojí. V tomto případě je tedy zapotřebí, aby v pracovním kanálu kompresoru docházelo k maximální úrovni stlačení. Je tedy vhodné, aby v tomto případě byl úhel vzájemného natočení elementů co nevyšší. Naopak při dosažení určité rychlosti, během ustáleného letu, se na procesu komprese podílí také náporové stlačení ve vstupním ústrojí. V tomto případě, lze tedy kompresor nastavit do energeticky výhodnější konfigurace a úhel natočení mezi elementy snížit. Regulace kompresoru je tedy podstatně širší než u lopátkového kompresoru, v případě kterého je jakákoliv regulace poměrně obtížná.

Ke zvýšení výsledné komprese také přispívá dvouproudová konstrukce kompresoru. Kompresor je navržen se dvěma vstupními kanály, které se oba podílí na procesu komprese. Tato konfigurace také mimo jiné zvyšuje průtokové množství vzduchu, které je kompresor schopen zpracovat.

Nyní se již dostáváme k samotnému způsobu ionizace vzduchu. Aby na částice vzduchu mohla působit Lorentzova síla, musí být částice vzduchu ionizované. Ke způsobu tzv. preionizace lze využít několika způsobů. Mezi současné metody patří například mikrovlnné záření, korónové výboje na ostrých hrottech elektrod nebo očkování vzduchového toku materiálem s nízkým ionizačním potenciálem. Jak již bylo zmíněno dříve v této práci, přechod z plynného skupenství na plazmatické je kontinuální, plazma tedy může být i částečně ionizované. Podle toho, jaký stupeň ionizace je vyžadován, respektive jak koncentrované plazma je zapotřebí pro daný účel, tomu lze přizpůsobit volbu konkrétní metody ionizace. Pro účely této práce byla zvolena metoda odebírání elektronů ze vzduchových částic pomocí mřížky s kladným potenciálem (Obr. 15). Je dosti pravděpodobné, že tato metoda nezaručí vysoký stupeň ionizace a vznik běžného plazmatu. Ovšem měla by zajistit dostatečnou míru ionizace na to, aby částice vzduchu byly ovlivněny magnetickými a elektrickými poli. A působila na ně tedy Lorentzova síla.



Obrázek 15: Schematické zobrazení mřížky společně s izolantem .Zdroj: Autori.

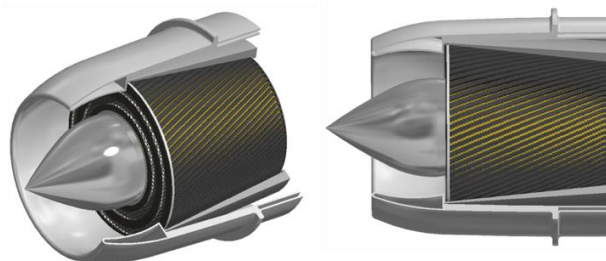
Mřížka je umístěna na vstupu do kompresoru, tak aby umožňovala průchod molekul vzduchu do pracovního kanálu kompresoru (Obr. 16). Důležité je také umístění izolačního materiálu mezi mřížku samotnou a elektrody uvnitř kompresoru, tak aby nedocházelo k jejich vzájemnému negativnímu ovlivnění. Mřížka je navržena z kovového materiálu z důvodu zajištění dobré vodivosti. Její připojení na kladný dipól zajistí vytvoření kladného potenciálu napětí. Mřížka s kladným potenciálem napětí bude mít potřebu svůj potenciál vyrovnat do rovnovážného stavu. Bude mít tedy tendenci odebírat záporně elektricky nabitě částice z prostředí, jinými slovy elektrony. Připojení na kladný dipól musí být aktivní po celou dobu provozu, jinak by brzy došlo k vyrovnání potenciálu přijímanými elektrony, mřížka by se stala neutrální a ztratila svou funkci. Pokud tedy takovým zařízením budou procházet atomy vzduchu, mřížka bude mít tendenci odebírat elektrony z jejich obalů. Pokud tedy odebereme z obalu atomu určité množství elektronů, u atomu začne převažovat kladný náboj v jádře, stává se tedy kladně nabitým kationtem. Z takto upraveného proudu vzduchu se stává ionizovaný plyn, který podléhá zákonům působení Lorentzovy síly. Na podobném principu ionizace vzduchu pracují například elektrostatické odlučovače, či ionizátory vzduchu. U obou těchto zařízení také dochází k ionizaci vzduchových částic na základě bipolárně nabitých vodičů. Samozřejmě účel ionizace a také její intenzita závisí na požadovaném účelu daného zařízení. Funkčnost těchto zařízení

ovšem dokazuje realizovatelnost řešení pracujícím na obdobném principu. Budoucí aplikace do oblasti leteckých pohonných jednotek je tedy rozhodně reálná.



Obrázek 16: Schematické zobrazení umístění mřížky s izolantem na vstupu do kompresoru. Zdroj: Autori.

Spojením veškerých výše zmíněných částí, vzniká komplexní konstrukční návrh bezlopatkového kompresoru na bázi magnetohydrodynamiky. Finální vzhled kompresoru je zobrazen (Obr. 17) pod tímto odstavcem. Pro účely zhotovení modelu bezlopatkového kompresoru byl využit primárně program Autodesk Inventor.



Obrázek 17: Schematické zobrazení finálního sestavy bezlopatkového kompresoru. Zdroj: Autori.

4. Závěr

Samozřejmě veškeré nové technologie, včetně tohoto řešení, vyžadují další výzkumy a rozsáhlá testování předtím, než se naplno projeví jejich finální efektivita, bezpečnost, a především vhodnost aplikace právě do oblasti civilního letectví. Nepřetržitý vědecký pokrok bezesporu povede k dalšímu vývoji a aplikaci nových řešení do oblasti leteckých pohonných jednotek. A je možné že do budoucna právě tento návrh bude jedním z nich. Určitě nás v tomto odvětví čeká ještě zajímavá budoucnost.

Reference

- [1] STACHOVÁ, Jana. Návrh bezlopatkového kompresoru motoru na bázi magnetohydrodynamiky. Žilina, 2021. Diplomová práce. Žilinská univerzita v Žilině. Vedoucí práce Jozef Čerňan, doc., Ing, PhD.
- [2] KHANDELWAL, Bhupendra a kol. Hydrogen powered aircraft: The future of air transport. *Progress in Aerospace Sciences*[online]. Progress in Aerospace Sciences, 2013. ISSN 03760421.
- [3] CARLTON, J.S. Propulsion Systems. *Marine Propellers and Propulsion* [online]. Elsevier, 2019. ISBN 9780081003664.

DESIGN OF THE REFERENCE MODEL OF THE AERO L-39 AIRCRAFT

NÁVRH A KONŠTRUKCIA REFERENČNÉHO MODELU LETÚNA AERO L-39

Ján Staňa
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
stana4@stud.uniza.sk

Filip Škultéty
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
skultety@fpedas.uniza.sk

Abstract

The object of the research of the paper is to design a reference model of an unmanned aircraft according to the model of the training jet Aero L-39. The work contains an analysis of the methods, procedures and typology used in the creation of reference models. Subsequently, the design of an unmanned vehicle was created using computer modelling, which was subjected to aerodynamic simulations and strength analysis. Aerodynamic performance was investigated on the airframe of the aircraft and strength analyses were determined on specific structural elements. After successful program tests, a functional model of the aircraft was built. The prerequisite was mainly aerodynamic analyses, which should determine with sufficient accuracy the basic structure of the model's flight. The result of solving the problem is a functional model of the aircraft, which is suitable for flight tests using appropriate hardware.

Keywords

airplane, construction, model, unmanned aerial vehicle, L-39

1. Úvod

Stav techniky v leteckom inžinierstve sa neustále urýchľuje vývojom pokročilých analytických a konštrukčných nástrojov. Metódy, ktoré sa používali v počiatočných fázach projektovania lietadiel, poskytli základné pochopenie fyzikálnych javov a umožnili konštruktérom predvídať a analyzovať kritické vlastnosti nových modelov vrátane schopnosti kontrolovať alebo upravovať neuspokojivé parametre. Relatívne nedávne používanie extrémne výkonného digitálneho počítačového hardvéru a softvéru malo zásadný vplyv na možnosti a postupy pri návrhu referenčných modelov. [1]

Diplomová práca sa zaoberá problematikou navrhnutia rádiom ovládaného referenčného modelu letúna. V modernej dobe sa rádiom ovládané modely čoraz častejšie používajú na rekreačné účely kvôli ich všeobecnej dostupnosti, vďaka čomu je dostupné aj množstvo stavebných materiálov a technologických postupov. Referenčné modely sa neustále využívajú pri navrhovaní a posudzovaní nových lietadiel na overenie ich letových vlastností. V praxi sa referenčné modely používajú na overenie prúdenia okolo letúna, správanie pri kritických uhloch nábehu, overenie uhlových rýchlostí okolo osí ale aj pri prvotných pevnostných výpočtoch. Modely sú zmenšené v ľubovoľnej mierke a podľa miery sa konvertujú výsledky letových skúšok na vyvíjaný letún.

Cieľom mojej diplomovej práce je navrhnuť referenčný model letúna Aero L-39 v mierke približne 1:6. Na vytvorenie modelu som používal analytické programy a s nimi spojené simulačné analýzy na vytvorenie vhodného aerodynamického tvaru a pevnostných komponentov.

V štruktúre diplomovej práce som rozoberal najprv súčasný stav riešenej problematiky. Išlo najmä o zadefinovanie referenčného modelu a jeho využitie, keďže finálnym produktom práce má byť práve funkčný model. Po zadefinovaní cieľov som sa venoval už konkrétnemu modelu a jeho konštrukčným prvkom. Navrhol som škrupinu modelu a tú následne podrobil aerodynamickým simuláciám. Podľa škrupiny letúna som vytvoril konštrukčné prvky trupu a krídla. Krídlo som podrobil pevnostnej analýze. Po adekvátnych výsledkoch som celý model skonštruoval z vopred zadefinovaných materiálov, konštrukčných prvkov a s použitím pohonnej a ovládacej sústavy.

2. Súčasný stav riešenej problematiky

Referenčný model letúna predstavuje zmenšený model letúna v ľubovoľnej mierke. Používa sa najmä na overenie správnosti aerodynamických výpočtov a pri skúškach v aerodynamických tuneloch.

Referenčné modely sú doplnkom mnohých nástrojov používaných v leteckom inžinierstve. Pri absencii nepriaznivých účinkov na mierku sa zistilo, že aerodynamické vlastnosti modelov veľmi dobre súhlasia s údajmi získanými z iných typov testov v aerodynamickom tuneli a teoretických analýz. Poskytnutím prehľadu o vplyve aerodynamiky a dynamiky letúnov, výsledky letov referenčných modelov pomáhajú budovať potrebné znalosti kritických aerodynamických parametrov a vplyvu úprav na riešenie problémov. Schopnosť vykonávať letové testy a aerodynamické merania s rovnakým modelom je veľkou výhodou testovacej techniky. V spojení so sofistikovanejšími statickými testami v aerodynamickom tuneli, výpočtovými metódami dynamiky tekutín a technológiou pilotovaného simulátora sú tieto testy mimoriadne

informatívne. Napokon sú vizuálne výsledky testovacieho letu pôsobivé a predstavujú možnosti ako uskutočniť radikálne a nekonvenčné návrhy, alebo identifikovať kritický problém letu pre novú konfiguráciu. [1]

Spôsob rozdelenia RFMD závisí taktiež na správcovi RFMD. U malých lietadiel a klzákov je najvhodnejšie rozdelenie RFMD podľa konštrukcie. Lietadla so zložitejšou konštrukciou napríklad L-39 je lepšie rozdeliť na viac úrovní. Čím je lietadlo väčšie a konštrukčne zložitejšie, tým ma celkový RFMD viac úrovní.

a) Rozdelenie podľa konštrukcie

Jednoduchšie delenie, používané pri malých a menej náročných konštrukčných koncepciách. RFMD celého lietadla sa skladá z RFMD trupu, krídla, vodorovných (VOP) a zvislých (SOP) chvostových plôch.

b) Rozdelenie podľa úrovne

Rozdelenie podľa úrovni znamená, že RFMD sa delí na definičný a konštrukčný RFMD. Definičný RFMD je model, ktorý predstavuje a definuje základnú teoretickú geometriu, napríklad celú plochu trupu. Konštrukčný RFMD je detailnejšie rozpracovaný a je viazaný na RFMD definičný. Pri konštrukčnom RFMD sú orezané plochy a rôzne priečky, rebrá, nosníky atď.

c) Rozdelenie podľa druhu

Podľa druhu sa delí na drakové, lokálne a pomocné RFMD. Drakový RFMD nám interpretuje konštrukčné riešenie a geometriu daného lietadla a delí sa podľa predchádzajúcich spomenutých spôsoboch v bode a) a b). Záleží na zložitosti a veľkosti lietadla. Lokálne RFMD vychádzajú z definície drakových RFMD a sú to takzvané systémové RFMD. Tieto RFMD sú úzko spojené z drakovým RFMD a definujú jednotlivé trasy systémov (napríklad hydraulický, pneumatický atď.) Lokálne RFMD môžu byť aj RFMD prechodových krytov, koncovej nádrže atď. Pri zložitých modeloch napríklad u zložitej kinematike viac štrbinovej klapky je využitý práve pomocný RFMD. [2]

3. Cieľ a metódy práce

Cieľom práce Návrh a konštrukcia referenčného modelu letúna Aero L-39 bolo vytvoriť funkčný model – maketu letúna, ktorý bude spĺňať ďalej špecifikované vlastnosti. Práca je rozdelená na niekoľko čiastkových cieľov.

Prvým cieľom práce bol výber alebo návrh vhodného profilu, jeho následné aerodynamické simulácie a určenie vztlačkových a odporových kriviek a veličín. Je dôležité vybrať vhodný profil nielen pre hlavnú nosnú plochu – krídlo, ale aj pre chvostové plochy kde sa vyžadujú odlišné požiadavky.

Po výbere vhodných profilov bolo mojím cieľom navrhnuť krídlo referenčného modelu. Krídlo bude mať geometricky zhodné parametre ako letún skutočnej veľkosti s malými úpravami. Pomocou aerodynamických simulácií v programe XFLR5 som zistil zvolené aerodynamické vlastnosti, ak by nevyhovovali krídlo by som upravil reverzným dizajnom. Následne som v programe Solidworks nakreslil drak modelu. Program XFLR5 síce umožňuje vytvorenie trupu lietadla vo svojom podprograme, no nie takého zložitého akým je trup letúna L-39, kvôli vstupnému ústrojenstvu do motora a následnému výstupnému ústrojenstvu. Posledným krokom tejto fázy bola simulácia letu

modelu a určenie pádovej rýchlosti, efektívneho uhla nábehu a množstva ďalších aerodynamických veličín.

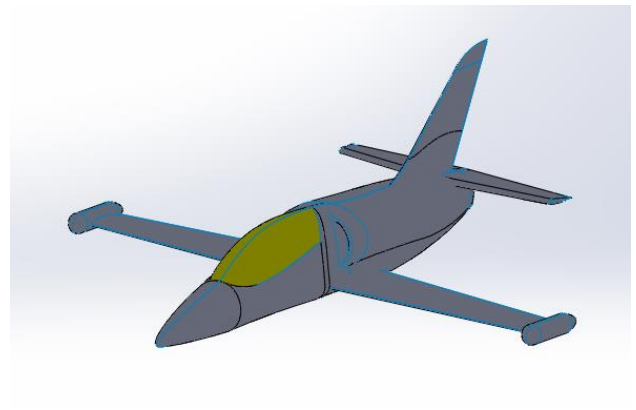
Ďalším cieľom práce bola výroba referenčného modelu. Po navrhnutí krídla v programe XFLR5 som krídlo navrhol v programe DevWing, ktorý je zameraný na tento účel a poskytuje platformu na presnú výrobu profilov krídla. Po výrobe krídla bolo mojím cieľom skonštruovať drak lietadla a chvostové plochy s následnou celkovou úpravou povrchu. Takto hotový model som následne osadil pohonnú a riadiacou sústavou.

Po vytvorení funkčného modelu boli mojím cieľom skúšky funkčnosti sústav na zemi a zmeranie maximálneho ťahu pohonnej jednotky, taktiež na zemi. Po tejto fáze boli mojím cieľom letové skúšky a porovnanie výsledkov s aerodynamickými simuláciami v programe XFLR5 a Solidworks.

4. Charakteristika a 3D návrh referenčného modelu letúna

Konštrukcia lietadla je rozsiahly proces, ktorý má tri hlavné fázy; prvá je fáza koncepčného návrhu. Táto fáza sa zaoberá usporiadaním konštrukčných prvkov lietadla a tým, aké hlavné charakteristiky musí mať, aby dosiahol svoje konštrukčné ciele. Ak má byť koncepčný návrh úspešný, nemali by sa na ňom v budúcich fázach implementovať zásadné zmeny. Koncepčný dizajn teda pohlcuje hlavnú charakteristiku lietadla a zároveň poskytuje usporiadanie jeho hlavných komponentov. [3]

Ako referenciu pre svoj dynamicky zmenšený model som si vybral letún Aero L-39. Je to dvojmiestny, cvičný, prúdový dolnoplošník s tandemovým usporiadaním posádky. Letún som si vybral najmä kvôli jeho letovým vlastnostiam a nadčasovému dizajnu. Vďaka svojim letovým výkonom nahradil viacero typov lietadiel používaných na výcvik vojenských pilotov a tým znížil celkové náklady výcviku. Do dnes sa tento typ letúna vyskytuje v armádach celého sveta na podporu pozemných vojsk, výcvik pilotov a v akrobatických skupinách akými sú: Baltic bees alebo Breitling, ale aj v súkromnom vlastníctve. [3] [4]

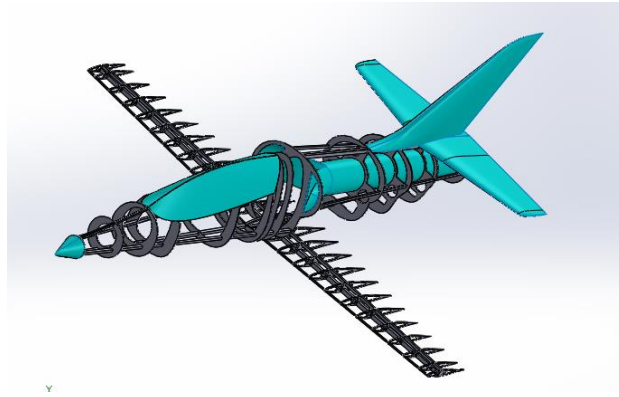


Obrázok 1: Škrupina referenčného modelu. Zdroj: Autori.

3D návrh referenčného modelu som začal návrhom v programe solidworks. V prvej fáze som navrhol škrupinu modelu. Táto škrupina je navrhnutá v skutočnej veľkosti a presne odzrkadľuje tvar budúceho modelu. Dôraz je kladený nielen na tvar trupu a nosných plôch ale aj na tvar vstupného a výstupného ústrojenstva. To zabezpečí presnú aerodynamickú analýzu nielen v oblasti prúdenia okolo letúna ale aj pri vstupe do motora a výstupe z neho. Škrupina je definovaná ako dokonale

pevná a nedeformuje sa, skladá sa z niekoľkých parciálnych častí spojených pevnou väzbou.

V druhej fáze som podľa prvotnej škrupiny navrhol pološkrupinovú konštrukciu trupu. Tá sa skladá z nosníkov, prekážok – trupu aj krídla, a nosného potáhu. Ako v prvej fáze, použil som program solidworks. Najprv som navrhol časť trupu a následne hlavnú nosnú plochu. Pomocou zostavy som obe časti presne spojil. Táto návrhová časť bude slúžiť na pevnostné analýzy a pomocou nej sa vyrobí a osadí referenčný model.

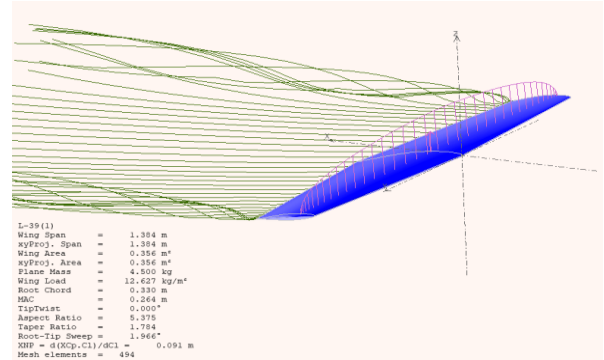


Obrázok 2: Návrh modelu L-39. Zdroj: Autori.

Prekážky trupu, profilové rebrá a všetky nosníky sú na obrázku znázornené sivou farbou, čo predstavuje drevenú časť konštrukcie. Všetky spoje drevenej konštrukcie sú navrhnuté ako lepené a takto sú aj simulované nasledujúce pevnostné výpočty. Tyrkysovou farbou je znázornená odoberateľná časť kabíny, vstupno-výstupné ústrojenstvo turbodúchadla, špička letúna, smerové a výškové kormidlo. Tieto časti budú vyrobené z kompozitných materiálov.

5. Aerodynamické simulácie a pevnostné výpočty

V tejto kapitole som sa zaoberal druhou a treťou fázou procesu návrhu; tieto fázy sa zaoberajú analýzou komponentov lietadla v hlavných aspektoch vzdušného priestoru, ako sú aerodynamické, pevnostné analýzy komponentov a ďalšie. Konceptný návrh použitý v tejto štúdii je založený na referencii. Metóda je vysoko štatistická na základe údajov letúna skutočnej veľkosti. Najskôr je nastavený súbor cieľov návrhu, ktorý poskytuje základnú ideu pre návrh. Potom sa vytvorí návrh konštrukcie s presnými profilovými priečkami. Na dosiahnutie odhadu hmotnosti letúna sa používa hrubá metóda odhadu hmotnosti na základe sčítania predpokladanej hmotnosti konštrukcie a komponentov osadenia. Na dosiahnutie presnejšieho odhadu hmotnosti sa odhaduje zaťaženie krídla a pomer ťahu k hmotnosti. Trojrozmerný model slúži na vytvorenie simulácie letu. Vykoná sa štruktúrna analýza krídla letúna, aby sa určila geometria nosníkov a nosného potáhu. Krídlková časť je navrhnutá tak, aby mala dva nosníky, približne v štvrtine MAC. Predpokladá sa, že profilové rebrá prenášajú iba priame napätia, zatiaľ čo potáh a nosníky aj šmykové napätia, čo umožňuje idealizáciu oblastí nosníkov do koncentrovanej oblasti s názvom jadro krídla. [3]



Obrázok 3: Prúdenie okolo krídla $\alpha=11^\circ$. Zdroj: Autori.

Na aerodynamickú analýzu som použil program XFLR5. Ako základnú podmienku pre vstup do analýzy som použil konštantný vztlak a predpokladanú hmotnosť 4,5 kg umiestnenú 0,11 m od nábežnej hrany krídla, (25% MAC). Program simuluje let (samotného krídla) pre špecifikované uhly nábehu od -5° po 15° . Týmto uhlom následne prideluje rýchlosti pre konštantný vztlak, ktorý sa rovná tiaži krídla, v našom prípade 45 N.

Uhly nábehu od -1° po -5° generujú negatívny vztlak, preto sú pre vodorovný let nevhodné. Kladný vztlak generujú uhly od $-0,5^\circ$ po 15° . Pri uhle nábehu $0,5^\circ$ by však krídlo muselo letieť rýchlosťou 103m/s. Pri optimálnom uhle nábehu 4° bude rýchlosť vodorovného letu 24m/s, čo je veľmi blízko prvotnému predpokladu. Pádová rýchlosť pre samotné krídlo je 15m/s. [5]

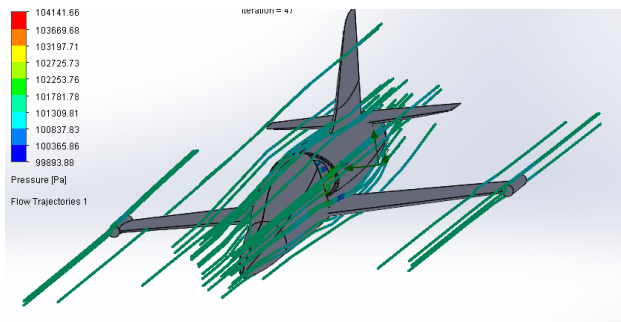
Tabuľka 1 znázorňuje vzťah medzi uhlom nábehu a rýchlosťou pri vodorovnom nezrýchlenom lete.

Tabuľka 4: Závislosť rýchlosti od uhla nábehu. Zdroj: Autori.

Uhol nábehu [°]	Rýchlosť [m/s]
0	59,96
1	39,42
2	31,49
3	26,99
4	24,00
5	21,83
6	20,17
7	18,84
8	17,75
9	16,84
10	16,05
11	15,38
12	14,78
13	14,26
14	13,79
15	13,37

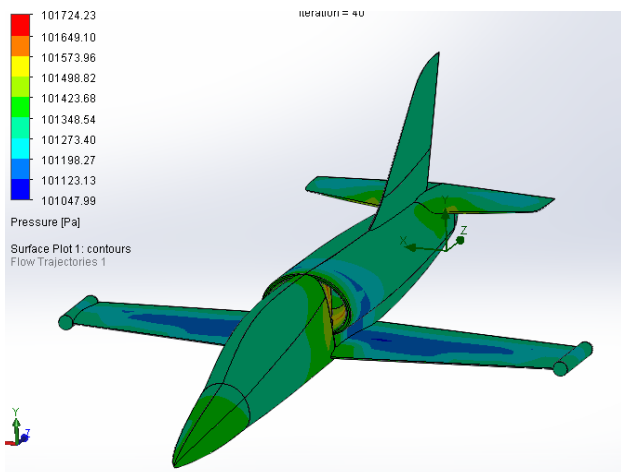
Po kompletnej analýze som pokračoval analýzou celého letúna s vopred vydefinovanými vstupnými parametrami a uhlami nábehu. Pre RFMD L-39 to boli tri uhly nábehu a to $\alpha=0,4,11^\circ$.

Prvým skúmaným uhlom nábehu je 0° , ktorý je zároveň pre krídlo prvým uhlom nábehu, ktorý generuje pozitívny vztlak a to pri rýchlosti 59,96 m/s. Toto sú základné údaje pre vstup do analýzy.



Obrázok 4: Aerodynamická simulácia RFMD $\alpha = 0^\circ$. Zdroj: Autori.

Uhol nábehu 4° je efektívny uhol nábehu a mal by byť využívaný čo najčastejšie pre čo najefektívnejší let. Analýzu uhla nábehu 4° som začal rýchlosťou 24 m/s. Z analýzy vyplýva, že vztlak vytváraný modelom je 45,7 N čo je veľmi blízko prvotnému predpokladu a postačuje na vyrovnanie tieže letúna – 45 N. Odporová sila je 8,9 N čo predstavuje 25% výkonu motora.



Obrázok 5: Pôsobenie tlaku na RFMD pri 4° uhle nábehu. Zdroj: Autori.

Uhol nábehu 11° predstavuje kritický uhol nábehu pri ktorom dochádza k odtrhaniu prúdnic a zároveň minimálnu rýchlosť letu bez motora. Po prekročení tohto uhla dochádza k pádu a pri nesprávaj pilotáži sa môže lietadlo dostať do vývrtky, ktorá môže mať za následok zničenie letúna. Analýzu uhla nábehu 11° som začal so vstupným parametrom rýchlosti 16 m/s.

Z analýzy vyplýva že pri rýchlosti 16 m/s a uhle nábehu 11° je vztlak generovaný letúnom iba 29 N pričom odporová sila je 5,3 N. Je preto potrebné zvýšiť rýchlosť aby sa model dostal na hodnotu 45 N pri 11° uhle nábehu.

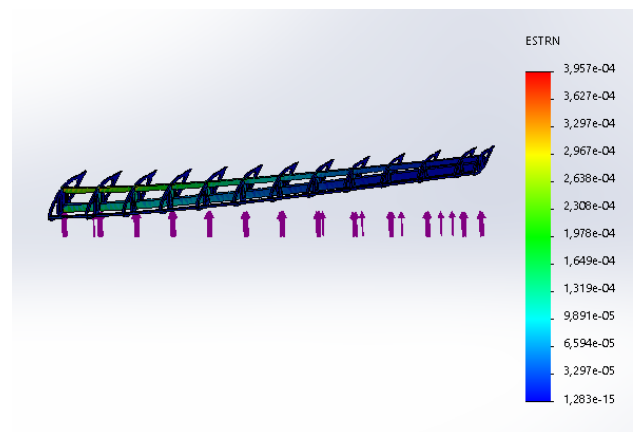
Model dosahuje vztakovú silu 45 N až pri rýchlosti 19,9 m/s, čo je o 4,5 m/s viac ako pre krídlo. Túto odchýlku spôsobuje komplexné prúdenie okolo RFMD. Taktiež je potrebné brať do úvahy, že časť krídla je prekrytá trupom letúna. Odporová sila pri tomto lete je 10 N čo je stále v limite ťahu pohonnej jednotky. [6]

6. Pevnostné charakteristiky krídla

Na analýzu a výpočet pevnostných charakteristík krídla som sa rozhodol použiť program Solidworks. Program dokáže simulovať sily, tlaky a ohybové momenty pôsobiace na konštrukciu krídla a po zadaní všetkých nutných hodnôt určí pevnostné zaťaženia na rôznych častiach krídla. Na základe týchto údajov je možné stanoviť, či sily pôsobiace na krídlo v nami určenej prevádzke predstavujú pre krídlo kritickú záťaž.

V prvej časti pevnostnej analýzy som skúmal správanie sa jadra krídla pri rôznych plošných zaťaženiach. V týchto analýzach pôjde o statické zaťaženie krídla a nie o pravidelne sa opakujúce sa dynamické zaťaženia, ktoré vznikajú pri pravidelnom používaní letúna.

Na úvod pevnostnej analýzy je dôležité zdefinovať použité materiály v konštrukcii. Program Solidworks disponuje rozsiahlou knižnicou materiálov z ktorej vychádzali analýzy. Následne som určil fixný bod, respektíve celú rovinu, ktorá predstavovala prvé profilové rebro, na ktoré boli napojené všetky tri nosníky.

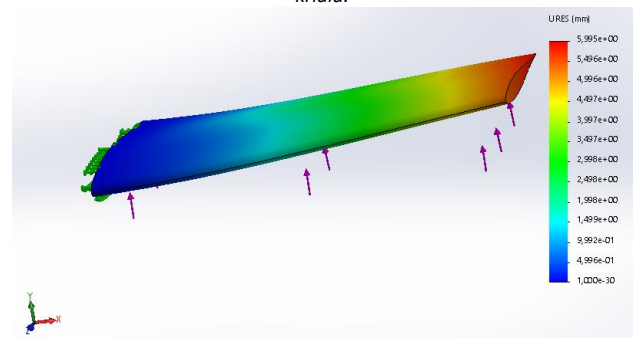


Obrázok 6: Zaťaženie krídla +7g. Zdroj: Autori.

Maximálne zaťaženie krídla bez poťahu predstavuje ekvivalent $\pm, -7g$.

Pevnostné analýzy krídla s poťahom som začal od násobku 7g čo predstavuje plošné zaťaženie krídla 315 N. Z výsledkov analýzy vyplýva, že krídlo odoláva tomuto zaťaženiu a krídlo sa prehlo na konci o 5 mm.

Ďalšou bola analýza predpokladaného maximálneho násobku čiže 8g. Po vykonaní analýzy sa krídlo prehlo o 6mm a nenarušila sa integrita krídla.



Obrázok 7: Vychýlenie krídla pri násobku 8g. Zdroj: Autori.

V poslednej analýze som zaťažoval krídlo až po maximálny možný násobok. Maximálne plošné zaťaženie pre krídlo RFMD je 900 N čo predstavuje násobok 20g. Dá sa teda predpokladať, že navrhnuté krídlo je predimenzované a postačoval by aj tenší a ľahší nosný poťah. Po prekročení sily 900 N sa krídlo nenávratne deformuje.

7. Konštrukcia referenčného modelu

Konštrukciu RFMD som začal výrezom profilových rebier krídla. Rebrá som vyrezával ručne a ako predlohu som používal plán vytvorený v programe Solidworks. Po vytvorení jadra krídla som pokračoval, vnútornou časťou pološkrupinovej konštrukcie trupu. Vyrezal som pričky trupu z topoľovej preglejky a na vodorovnej podložke som ich obdobne spojil s nosníkmi a vytvoril tak kostru trupu. Jadro krídla aj trupu som v ďalšom kroku vystužoval nosným poťahom z 3mm ľahkej balzy. Podľa možností som sa snažil používať čo najväčšie kusy aby som zachoval integritu dreva. Všetky spoje sú lepené špeciálnym lepidlom na drevo. Po kompletnom potiahnutí letúna nosným poťahom, som začal s jeho osadzovaným akčnými členmi a pohonnou sústavou. Na vopred vyvrtané otvory som vyrobil pevné uchytanie serva, ktoré som montoval do spodnej časti krídla, do nosného poťahu, výškového kormidla a ľavej časti smerového kormidla. Povrchová úprava RFMD má zabezpečiť efektívnosť aerodynamického tvaru, hladkosť povrchu a estetickú stránku modelu. Použil som čo najľahšie materiály, aby celková hmotnosť po úprave nepresiahla 4,5kg. V prvej fáze povrchových úprav som celý povrch modelu prebrúsil, klasickým brúsnym papierom aby som sa zbavil zbytkov lepidla a prečiahajúcich kusov povrchovej balzy. V druhej fáze som nanášal poťahový materiál. Ide o zmršťovanie fóliu bežne používanú modelármi.

8. Záver

V svojej diplomovej práci som skúmal súčasný stav riešenej problematiky v oblasti referenčných modelov na základe ktorého som nadviazal na koncepčný návrh referenčného modelu L-39. V úvodnej časti práce som popisoval konštrukciu a systémy použité pri dizajne RFMD. Pokračoval som 3D návrhom RFMD pomocou ktorého som skúmal jeho aerodynamické vlastnosti v počítačových simuláciách a pomocou 3D modelu vnútornej konštrukcie som skúmal pevnostné charakteristiky krídla. Po úspešných analýzach som model zostrojil pomocou vopred špecifikovaných materiálov a postupov.

Aerodynamické analýzy pre krídlo aj celkový RFMD predpokladajú cestovnú rýchlosť 24 m/s. Pri kritickom uhle nábehu sa výsledky pre krídlo aj model líšia preto je potrebné zvýšiť rýchlosť na 16 m/s aby model generoval dostatok vztlaku.

Kompletné krídlo vykazuje dostatočnú pevnosť a to hodnotu plošného zaťaženia 900 N, čo je ekvivalent + 20g. Z toho vyplýva že krídlo je predimenzované keďže by postačoval výsledok +8.

Vypočítané hodnoty je potrebné overiť leteckými skúškami alebo skúškami v aerodynamickom tuneli. Prácu by som navrhol na ďalšie skúmanie kde by sa overili predpokladané aerodynamické vlastnosti prípadne pevnostné charakteristiky.

Navrhnutý RFMD je vhodný pre použitie v priemysle ako zmenšený model letúna L-39 na skúmanie správania sa aerodynamiky počas letu. Jeho výhodou je lacné spracovanie použitím drevených častí a výkonná pohonná jednotka s použitím systému EDF. RFMD je taktiež vhodný na rekreačné použitie ako maketa cvičného letúna.

Referencie

- [1] CHAMBERS, J.R. 2010. *Modeling flight*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 2010. ISBN 978-0-16-084633-5.
- [2] SLAVĚTÍNSKY, D. 1988. *Výpočetní geometrie ve stavbě letadel*. Brno: VA AZ, 1988. 80-722-6021-9.
- [3] RAYMER, D. 1992. *Aircraft Design. A Conceptual Approach*, Washington D.C: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992.
- [4] HANČAR, M. 2005. „L-39.“ 2005. [online]. Dostupné na internete: http://l-39.cz/L-39_popis.html.
- [5] BUGAJ, M. 2020. *Aeromechanics 1*. Žilina: EDIS, 2020. ISBN 9788055416755.
- [6] BIRD, R.B. - STEWART, W.E. - LIGHTFOOT, E.N. 2006. *Transport Phenomena*. John Wiley & Sons, 2006. ISBN 978-0-470-11539-8.

DIFFERENCES IN APPROACHES TO CHARGING FOR AIR NAVIGATION SERVICES IN SELECTED COUNTRIES OF THE WORLD REGIONS

ROZDIELY V PRÍSTUPOCH K SPOPLATŇOVANIU LETECKÝCH NAVIGAČNÝCH SLUŽIEB VO VYBRANÝCH KRAJINÁCH SVETOVÝCH REGIÓNOV

Milan Vodzák

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
vodzak@uniza.stud.sk

Matúš Materna

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
matus.materna@fpedas.uniza.sk

Abstract

The work analyzes and finds out the difference in the charging systems of air navigation service providers in selected countries of the world regions, which is the main financial and economical factor to cover the costs of providing air navigation services. It deals with various charging systems in selected regions of the world by specific air navigation service providers of countries (China, Mexico and the Eurocontrol area), and identifies how individual differences in charging systems act in total amount of en-route charges. In general, the key factor for considering air navigation service providers is the price of services, but in our work we also deal with the influence of the distance factor on the total amount of the charge and the weight factor, which can be determined in different regions of the world by various approaches. These are two ways determining the number of providers' services which are subsequently subject to a price per unit of that service. The finding of the work is that charging systems for air navigation services which use categorization methods of maximum take-off weight (wingspan), which have the ability to influence the total amount of charges by two factors, first is a unit rate (price) of individual categories, and the second is a change in size of category. Unlike charging systems, where the uniform formula is used to calculate the weighting factor, only changes in the value of the unit rate can be used to change charges.

Keywords

Unit Rate, Weight, Costs, Charges, Air Navigation Service Providers, Services, En-Route Charges,

1. Úvod

Poskytovatelia leteckých navigačných služieb sú jedným z hlavných komponentov leteckého priemyslu a svojou činnosťou spájajú ďalšie dva komponenty, letecké spoločnosti a letiská. Ich Hlavnou úlohou je poskytovať letecké navigačné služby vo vzdušných priestoroch krajín za účelom plynulosti a bezpečnosti letovej prevádzky. Používateľom vzdušného priestoru môže poskytovateľ poskytovať niektoré alebo všetky služby leteckej navigácie, ako Manažment letovej prevádzky, Telekomunikačné služby, Meteorologické služby, Služby pátrania a záchranu a Letové informačné služby. Mnohý z poskytovateľov ponúkajú tiež oceánske letecké navigačné služby a služby poskytované civilnému letectvu poskytujú aj vojenskému letectvu. V riadení boli, z historického hľadiska, u poskytovateľov leteckých navigačných služieb hlavné prevádzkové aspekty a preto boli poskytovatelia považovaní za pasívnu zložku odvetvia leteckej dopravy. Na vývoj v odvetví leteckej dopravy ako aj spoločensko-ekonomický vývoj, sa prispôsobili aj poskytovanie leteckých navigačných služieb. V dnešnej dobe poskytovanie leteckých navigačných služieb slúži aj na generovanie finančných zdrojov [1], [9], [12].

Poskytovanie leteckých navigačných služieb je nákladný proces, keďže sú poskytovatelia považovaní za pasívnu zložku odvetvia, sú viazaní na aktívnu zložku leteckej dopravy s leteckými spoločnosťami, ktoré generujú príjmy predajom ich služieb verejnosti. Pretože poskytovatelia nemajú túto možnosť, z dôvodu ich špecifity, jediným zdrojom ich príjmov môže byť

letecká doprava (v určitých prípadoch financovanie štátom priamo zo štátneho rozpočtu). Poplatky za letecké navigačné služby tvoria podstatnú časť nákladov leteckých dopravcov, čo môže dosahovať výšky od 10% do 20% v závislosti od lokality aktivity, alebo rozsahu prevádzky leteckého dopravcu. Na tieto účely pokrytia nákladov poskytovateľov leteckých navigačných služieb boli vytvorené mechanizmy na ich pokrytie, a to navigačne poplatky po trati (en-route charges/fees) alebo aj terminálové poplatky (terminal charges) [10], [11].

2. Spoplatňovanie leteckých navigačných služieb

2.1. Traťové poplatky (en-route charges)

Traťové poplatky (en-route charges) sú fakturované používateľom vzdušného priestoru, ktorí vstúpili do vzdušného priestoru poskytovateľa leteckých navigačných služieb. Pre výpočet traťových poplatkov sa používa systém, v ktorom do výpočtov vstupujú premenne, ako množstvo ponúknutých služieb (Q) a cena (P), cena v poplatkoch leteckých navigačných služieb používa pojem jednotková sadzba (unit rate, UR). Traťový poplatok sa za let vo vzdušnom priestore poskytovateľa leteckých navigačných služieb stanovuje podľa vzorca:

$$Tra_{Pop} = Q \times UR$$

Množstvo ponúkaných služieb (Q) sa dá vyjadriť ako súčin faktora hmotnosti (h_i) a faktora vzdialenosti (v_i).

$$Tra_{pop} = h_f \times v_f \times UR$$

Faktor hmotnosti (h_f) sa vypočítava z maximálnej vzletovej hmotnosti podľa spôsobu zvolenia poskytovateľa leteckých navigačných služieb danej krajiny. Môže sa vypočítať ako druhá odmocnina päťdesiatiny maximálnej vzletovej hmotnosti (MTOW) v tonách, v niektorých oblastiach sveta (napr. Eurocontrol) podľa vzorca:

$$h_f = \sqrt{\frac{MTOW}{50}}$$

Faktor vzdialenosti (v_f) sa určoval ako podiel dĺžky letu (D) po ortodrome medzi vstupným a výstupným bodom traťovej zóny spoplatnenia na 100 km. Zároveň sa faktor vzdialenosti znižoval o 20 km za každý vzlet a každé pristátie na území štátu poskytovateľa leteckých navigačných služieb [1] [3] [4].

$$v_f = \frac{D(-20x)}{100}$$

2.2. Terminálové poplatky (terminal charges)

Terminálové poplatky (en-route charges) sú fakturované používateľom v oblastiach s terminálovými poplatkami (približovacie oblasti) poskytovateľmi leteckých navigačných služieb. Pre všeobecný výpočet terminálových poplatkov sa používa vzorec.

$$Ter_{pop} = h_f \times UR$$

Faktor hmotnosti (h_f), môže byť počítaný rôzne, s ohľadom na danú približovaciu oblasť [1][6].

Na rozdiel od traťových poplatkov, terminálové poplatky slúžia na pokrytie vlastnej nákladovej bázy, podľa čoho sa určuje aj ich výsledná hodnota, ktorú by mali dosahovať po výpočte. Poplatky za terminálové služby slúžia na pokrývanie nákladov týkajúcich sa:

- letiskových služieb riadenia letovej prevádzky, letiskových letových informačných služieb vrátane poradných služieb a pohotovostných služieb,
- letových prevádzkových služieb súvisiacich s priblížením a odletom lietadla v určitej vzdialenosti od letiska na základe prevádzkových požiadaviek,
- primeraného pridelenia všetkých ostatných častí ANS tak, aby odrážali pomerné rozdelenie (alokáciu) medzi traťové a terminálne služby [1].

3. Rozdiely v spoplatňovaní

3.1. Systém jednotnej jednotkovej sadzby

Do tejto kategórie zaraďujeme systém zavedený v oblasti Eurocontrolu, aj keď sa tento systém skladá z väčšieho množstva samostatných krajín s vlastnými poskytovateľmi leteckých navigačných služieb. Každý poskytovateľ používa vlastnú jednotkovú sadzbu na poplatky traťových, ale aj terminálových navigačných služieb na vlastnom území, s odvolávaním sa na pokrývanie svojich nákladov s poskytovaním leteckých navigačných služieb na svojom území, ktoré sa môžu výrazne líšiť

z dôvodu veľkosti daného regiónu a rozdielnej výšky nákladov (cena práce atď.).

Tabuľka 1: Tabuľka kategórií systému jednotnej jednotkovej sadzby. Zdroj: Autori podľa [5].

Kat.	Hmotnosť	Jednotková sadzba
(0,∞)	$\sqrt{\frac{MTOW}{50}}$	UR

Podľa Tabuľky 1 vidíme, že množstvo kategórií v systéme jednotnej jednotkovej sadzby závisí od množstva rozdielnosti maximálnych vzletových hmotností lietadiel užívateľov, ktoré sú ale všetky rovnako spoplatňované jednotnou jednotkovou sadzbou. Jednotná jednotková sadzba tak pôsobí ako nástroj trhovej súťaže cena za letecké navigačné služby, a odlišuje jednotlivých poskytovateľov leteckých navigačných služieb vo svojom geografickom území [5] [6].

3.2. Systém nejednotnej jednotkovej sadzby (systém jednotného faktora hmotnosti)

Do kategórie nejednotnej jednotkovej sadzby zaraďujeme poskytovateľov leteckých navigačných služieb Číny a Mexika. Na rozdiel od Mexika, predstaviteľa Číny môžeme zaradiť aj do kategórie s názvom jednotného faktora hmotnosti ako uvádza nasledovná tabuľka.

Tabuľka 2: Tabuľka nejednotnej jednotkovej sadzby (jednotného faktora hmotnosti) Číny. Zdroj: Autori podľa [7].

Kat.	(h_f)	MTOW (t)	Poplatok (UR v RMB)
1.	1	Do 25	1,5 UR1
2.		26-50	3 UR2
3.		51-100	3,4 UR3
4.		100-200	3,8 UR4
5.		Viac ako 200	$2,33 * \sqrt{\frac{MTOW}{50}}$ UR5+

Tabuľka 3: Tabuľka nejednotnej jednotkovej sadzby traťových poplatkov Mexika. Zdroj: Autori podľa [8].

Kat.	Rozpätie (m)	Sadzba (UR)
1. (A)	Do 16,7	0,2 UR1
2. (B)	16,7-25	1,61 UR2
3. (M)	25-38	4,65 UR3
4. (L)	Viac ako 38	6,97 UR4
($h_f = 1$)		

Neexistujúca jednotková sadzba znamená, že sa dané služby poskytovateľa nebudú od seba odlišovať na základe jednej ceny na danom trhu poskytovateľov, ale na základe jednotných

jednotkových sadzieb (cien) v jednotlivých kategóriách, to môže spôsobovať, že iné kategórie lietadiel užívateľov leteckých navigačných služieb budú hľadať alternatívne trasy podľa dostupnosti v danom regióne.

4. Metodika

4.1. Určenie faktora hmotnosti v systéme nejednotnej jednotkovej sadzby

Pre účely porovnania vplyvu faktora hmotnosti na celkovú výšku poplatku je potrebné určiť tento faktor v systémoch, ktoré používajú kategorizačné spôsoby a ich faktor hmotnosti je tak rovný 1. Tabuľka 4 poukazuje na transformovanie Čínskeho spôsobu.

Tabuľka 4: Tabuľka koeficientov faktora hmotnosti s jednotnou jednotkovou sadzbou. Zdroj: Autori

Kat.	MTOW (t)	h_f	UR (RMB)
1.	Do 25	1	
2.	26-50	2	
3.	51-100	2,27	1,5
4.	100-200	2,53	
5.	Viac ako 200	$1,55 * \sqrt{\frac{MTOW}{50}}$	

4.2. Spôsob úpravy čínskeho systému spoplatňovania na systém Eurocontrolu

Pri porovnaní dvoch systémov spoplatňovania sa počas určenia vplyvu faktora hmotnosti na celkovú výšku traťového poplatku stretávame s problémom rozličných počiatkových a koncových hodnôt. Preto pre porovnanie chceme zaviesť u čínskeho poskytovateľa leteckých navigačných služieb rovnaký systém nekategorizovania hmotnostných koeficientov a tak porovnať vplyv faktora hmotnosti na celkovú výšku poplatku. Ako základ si vezmeme transformovaný systém čínskeho poskytovateľa s jednotnou jednotkovou sadzbou podľa kategórie UR₁ (Tab. 4). Ďalej zmeníme jeho kategorizovaný systém od hodnôt MTOW = 1 t až po hodnoty MTOW = 200 t, keďže tieto hodnoty narastajú „skokovo“ podľa jednotlivých kategórií, v ktorých sú jednotlivé maximálne vzletové hmotnosti zaradené, na systém zvyšovania koeficienta faktora hmotnosti podľa podobnej úmery Eurocontrolu, $f(x) = \left(\frac{x}{50}\right)^{0,5} + B$. Kde x je MTOW, a B rovné 0, pretože v hodnote MTOW = 0 nadobúda hodnotu 0. Úmeru si určíme podľa funkcie $f(x) = \left(\frac{x}{A}\right)^{0,5} + B$. Kde x je rovnako MTOW. Hodnota A a hodnota B sú neznáme.

Nájdienie neznámej A a B:

Vieme, že počiatková hodnota (MTOW = 0 t) sa má rovnať 1 preto:

$$f(0) = \left(\frac{0}{A}\right)^{0,5} + 1 \Rightarrow B = 1,$$

a koncová hodnota (MTOW = 200 t) sa má rovnať hodnote, podľa vzorca $1,55 * \sqrt{\frac{MTOW}{50}}$, pretože táto hodnota bude predstavovať predchádzajúcu hodnotu (MTOW = 201 t), ktorá sa už nachádza v 5. kategórii a tak sa zabezpečí pokračujúca úmera, preto:

$$f(200) = \left(\frac{200}{A}\right)^{0,5} + 1 = f(200) = 1,55 * \left(\frac{200}{50}\right)^{0,5}$$

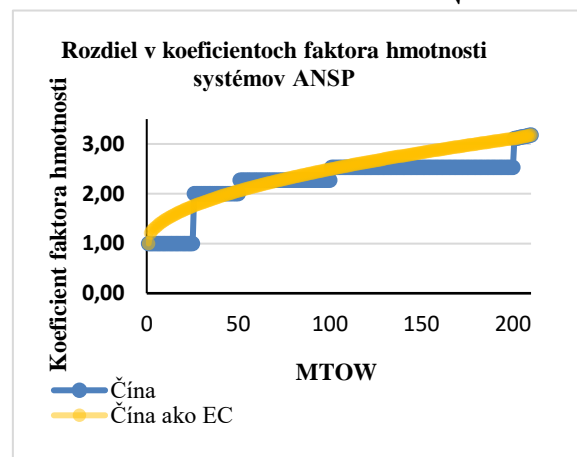
$$f(200) = f(200)$$

$$\left(\frac{200}{A}\right)^{0,5} + 1 = 1,55 * \left(\frac{200}{50}\right)^{0,5}$$

$$A = \frac{200}{\left(1,55 * \left(\frac{200}{50}\right)^{0,5} - 1\right)^2}$$

$$A = 45,35 \text{ t} \cong 45 \text{ t}$$

Výsledný predpis funkcie pre výpočet koeficienta faktora hmotnosti transformovného systému spoplatňovania používaný nekategorizačný systém so zachovaním počiatkovej aj koncovej hodnoty bude $f(x) = \left(\frac{x}{45}\right)^{0,5} + 1$ alebo vzorec $\sqrt{\frac{MTOW}{45}} + 1$.



Graf 1: Rozdiel v koeficientoch faktora hmotnosti systémov poskytovateľov leteckých navigačných služieb. Zdroj: Autori.

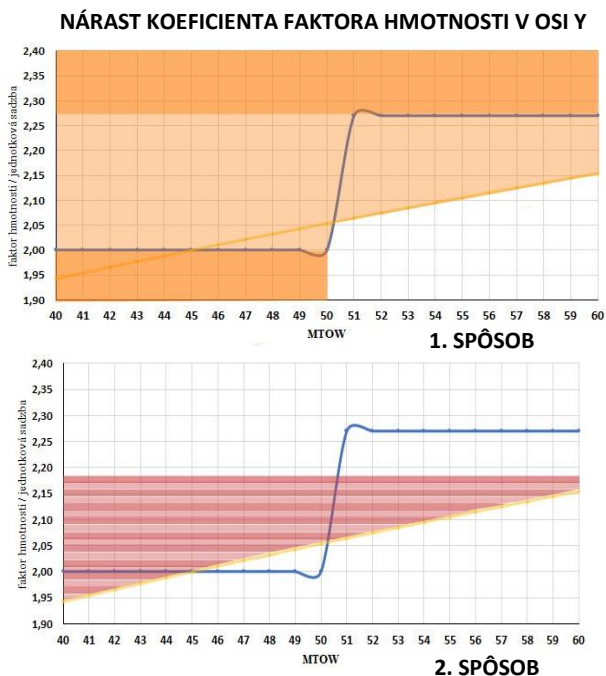
5. Analýza rozdielov v spoplatňovaní leteckých navigačných služieb pri letoch na krátku, strednú a dlhú trať

Faktor vzdialenosti priamoúmerne navyšuje hodnotu traťového poplatku s jeho zvyšujúcou sa hodnotou $Tr_{Pop} = h_f \cdot v_f \cdot UR$. Preto vzdialenosť, na akú sa vypočítava traťový poplatok, nie je rozdielom pre spôsob spoplatňovania leteckých navigačných služieb, je rovnaký pre všetkých poskytovateľov bez rozdielu, (ak sa nejaký poskytovateľ rozhodne určiť špeciálnu výnimku pre určitý typ lietadla na základe jeho veľkosti, hmotnosti, účelu atď., ktorá by ovplyvňovala (redukovala, navyšovala) celkovú výšku poplatku za jeho preletenú vzdialenosť vo vzdušnom priestore poskytovateľa, nemôžeme túto možnosť brať do úvahy pretože nie je všeobecná a je viazaná na konkrétnu oblasť a typ lietadla s výnimkou).



Graf 2: Závislosť výšky poplatku na faktore vzdialenosti. Zdroj: Autori.

5.1. Rozdiel spoplatňovania leteckých navigačných poplatkov na základe rozdielneho určenie hmotnostného koeficienta pre výpočet výšky poplatku.

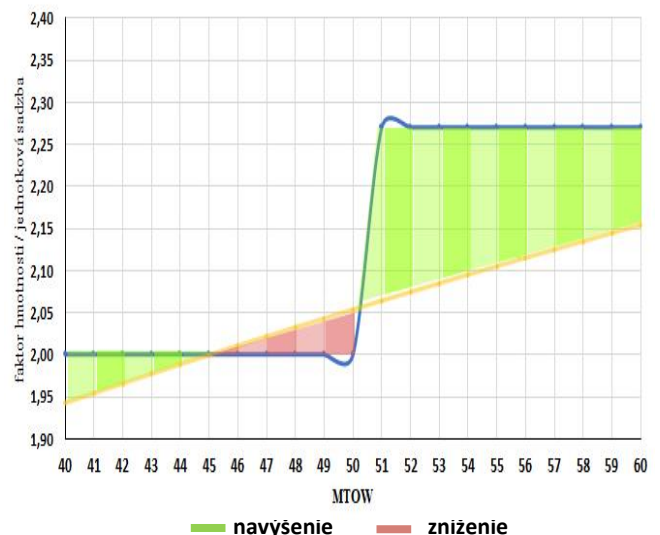


Graf 3 a Graf 4: Nárast koeficienta faktora hmotnosti v osi Y (S1 a S2). Zdroj: Autori.

Na Y osi vzniká rozdiel dvoch hodnôt. Hodnoty 1. spôsobu, s nejednotnou jednotkovou sadzbou, vznikajú na základe predom transformovaných jednotkových sadzieb v jednotlivých kategóriách, a z tohto činiteľa zvyšovania poplatku vyplýva, že

výsledky koeficient faktora hmotnosti (aj celkový poplatok) je navyšovaný na základe jednoduchého zvyšovania ceny za poskytované služby, ktorý je základným nástrojom trhovej súťaže. Faktor hmotnosti u 2. spôsobu spoplatňovania je daný vzorcom pre výpočet jeho výšky $(\sqrt{\frac{MTOW}{50}})$, preto vždy nadobúda konkrétne číslo, ktoré sa mení iba na základe predom určeného spôsobu výpočtu $(\sqrt{\frac{MTOW}{45}} + 1)$.

NÁRST KOEFICIENTA FAKTORA HMOTNOSTI V OSI X



Graf 5: Nárast koeficienta faktora hmotnosti v osi X. Zdroj: Autori.

Na X osi vzniká rozdiel v hodnote koeficienta faktora hmotnosti iba u jedného poskytovateľa leteckých navigačných služieb, a to u 1. spôsobu, v systéme nejednotnej jednotkovej sadzby používaný kategórie maximálnych vzletových hmotností. Veľkosťou danej kategórie môže oproti hodnotám, 2. spôsobu s jednotnou jednotkovou sadzbou, nadobúdať konštantnú hodnotu, ktorá oproti nižším hodnotám 2. poskytovateľa, bude vytvárať navyšenie a oproti vyšším hodnotám vytvárať zníženie celkového poplatku. Rozšírenie kategórie prevedie užívateľov z jednej kategórie do druhej, a taktó im zmení výšku jednotkovej sadzby. Čo bude pre týchto užívateľov znamenať zmenu (navýšenie alebo zníženie) celkového poplatku. Dôležité ale je, že to neovplyvní všetkých užívateľov v danej kategórii, ako by to bolo zmenou jednotkovej sadzby kategórie. Tento rozdiel vznikajúci kategóriami maximálnych vzletových hmotností bude na poplatok vplývať ako nástroj ceny, ktorej zmena pôsobí na trhovú súťaž.

6. Výsledky

Nami zvolení poskytovateľa leteckých navigačných služieb, ktorí zo svojej podstaty spôsobu výpočtu traťových navigačných poplatkov používali odlišné (opačné) spôsoby, boli podrobení analýze faktorov vplývajúcich na ich celkový výpočet traťového navigačného poplatku a to:

- Faktorom vzdialenosti (v_f)

Pri tomto faktore sme zistili, že celkový výsledok traťového navigačného poplatku, nami vybraných poskytovateľov leteckých navigačných služieb, neovplyvňuje pretože, so svojou zvyšujúcou sa hodnotou navyšuje aj celkovú hodnotu

výsledného poplatku, u všetkých spôsobov spoplatňovania, ktoré sme si zvolili (nebrali sme do úvahy čiastkové výhody pre konkrétne typy, či účely lietadiel, na ktoré by sa poplatok vzťahoval)

- Faktor hmotnosti (h_f) a jednotková sadzba (UR)

Vplyv týchto dvoch faktorov na celkovú výšku traťového navigačného poplatku sme porovnávali súčasne, pretože nami zvolené systémy spoplatňovania používali, buď faktor hmotnosti, ktorý kategorizoval užívateľov navigačných služieb alebo na tieto účely slúžil rozdiel jednotkových sadzieb v jednotlivých kategóriách.

- Systém s jednotnou jednotkovou sadzbou (Eurocontrol)

Tento systém je pri určovaní výšky celkového poplatku vystavený navýšovaniu koeficienta faktora hmotnosti, ktorý je pre dané kategórie maximálnych vzletových hmotností predom daný vzorcom a nadobúdajú tak hodnoty, ktoré fixne určujú výšku poplatku. Faktor, ktorý vplýva na celkovú výšku poplatku je tak zmena jednotkovej sadzby (ceny) za letecké navigačné služby.

- Systém s nejednotnou jednotkovou sadzbou (Čína, Mexiko)

Tento systém je, pri určovaní výšky celkového traťového navigačného poplatku, vystavený jednotkovej sadzbe (cene) pre dané kategórie maximálnych vzletových hmotností. Pomocou ktorých sa dá transformačným procesom určiť jednotná jednotková sadzba pre všetky kategórie maximálnych vzletových hmotností a ich následný faktor hmotnosti (h_f), ktorý doteraz tento spôsob spoplatňovania nepoužíval. Keďže ale výška jednotkových sadzieb kategórií pôsobí na výšku následného faktora hmotnosti, celková výška poplatku závisí od veľkosti jednotkových sadzieb (cien) v jednotlivých kategóriách, ako cena za služby poskytovateľov leteckých navigačných služieb. Na rozdiel ale so systémom, ktorý používa na výpočet faktora hmotnosti vzorec, systém kategorizácií svojou veľkosťou kategórie môže ovplyvňovať výslednú výšku traťového poplatku bez zmeny jednotkovej sadzby, „lokálne“ pre konkrétnu maximálnu vzletovú hmotnosť. Spôsob kategorizácie je druhý činiteľ pôsobiaci na celkovú výšku traťového navigačného poplatku ako cena.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov, kód ITMS 313011V465, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- [1] TOMOVÁ A. – HAVEL K., 2015, *Ekonomika poskytovateľov leteckých navigačných služieb*, ISBN 978-80-554-1143-8
- [2] DEMPSEY-BRENCHA Z. – VOLTAB N., 2018, *A cost-efficiency analysis of European air navigation service providers*, Transportation Research Part A: Policy and

Practice, Vydanie 111, str. 11-23, Dostupné na internete <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.02.019>

- [3] ICAO, ICAO's Policies on User Charges & Taxation, Dostupné na internete < <https://www.icao.int/sustainability/Pages/eap-im-policies.aspx> > citované dňa 4.5.2021
- [4] International Civil Aviation Organization, 2012, Ninth Edition, Doc.9082 ICAO's Policies on Charges for Airports and Air Navigation Services Dostupné na internete <https://www.icao.int/publications/Documents/9082_9e_d_en.pdf > citované dňa 15.5.2021
- [5] Eurocontrol, 2021, Customer guide to charges, Dostupné na internete < <https://www.eurocontrol.int/publication/customer-guide-route-charges> > citované dňa 19.5.2021
- [6] Eurocontrol, 2021, Terminal ANS costs and charges, Dostupné na internete <<https://www.eurocontrol.int/ServiceUnits/Dashboard/TerminalUnitRatesInForce.html> > citované dňa 19.5.2021
- [7] EAIPCHINA, 2021, AIR NAVIGATION SERVICES CHARGES, dostupné na internete < <https://yinlei.org/x-plane10/aeronautical-information-publication-aip-and-airport-charts-of-china.html> > citované dňa 6.5.2021
- [8] MUNIZ J., 2012, Mexico's seneam fee and business aviation – part one: explaining seneam fees, Dostupné na internete: <<https://www.universalweather.com/blog/mexicos-seneam-fee-and-business-aviation-part-one-explaining-seneam-fees/> > citované dňa 18.5.2021
- [9] MATERNA M., GALIERIKOVÁ, A. 2019: A new approach to classification of air navigation service providers in the context of commercialization. Transportation Research Procedia, 2019, 43, pp. 139–146
- [10] MATERNA, M., GALIERIKOVÁ, A., PALČÁK, P. 2019. Reflection of commercialization in organizational and ownership structure of Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS). Transportation Research Procedia, 2020, 51, pp. 283–292
- [11] MATERNA M., 2019: Variants of air navigation services providers' business model. Transportation Research Procedia, 2019, 40, pp. 1127–1133
- [12] Materna, M., Galieriková, A., Palčák, M. 2020. Reflection of commercialization in organizational and ownership structure of Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS). Transportation Research Procedia, 2020, 51, pp. 283–292
- [13] Novák, A. 2005. Radio direction finding in air traffic services. Promet-Traffic&Transportation 17 (5), 273-276

INTERNATIONAL EXPANSION OF GROUND HANDLING SERVICE PROVIDERS AT THE AIRPORTS

MEDZINÁRODNÁ EXPANZIA POSKYTOVATEĽOV SLUŽIEB POZEMNEJ OBSLUHY NA LETISKÁCH

Daniel Hluško
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
danielhlusko@gmail.com

Anna Tomová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
anna.tomova@fpedas.uniza.sk

Abstract

The goal of this paper was to measure and assess the international expansion of independent ground handling providers. Based on the results of individual measurements, we can state that each of the five most important independent providers of groundhandling services selected by us has already undergone a significant international expansion, and thus currently prefers the service of foreign airports to domestic ones. Globalization and the liberalization of the entire aviation sector have largely contributed to this fact, mainly due to the unlocking of market entry and the creation of more favorable conditions on foreign markets. Among the secondary objectives we have included an analysis of the state of the ground handling sector together with an analysis of the European liberalization Directive 96/67 / EC and its impact on the European groundhandling market. The main findings were that for example prices for the provision of ground handling services fell more sharply, while the quality of services increased and the number of providers at airports generally increased, which helped to increase the market share of third-party ground handling providers. The motive for the elaboration of the paper was the outdatedness of previous studies aimed at assessing the international expansion of ground handling service providers. Another motive was the elaboration of a proposal for a measurement method with regard to the performance of providers in foreign markets. The paper presents individual calculations with current input data and classification of providers in terms of the shape of global expansion, taking into account the current ongoing global pandemic Covid-19.

Keywords

ground handling services, ground handling, international expansion, globalization, liberalization, Directive 96/67/EC

1. Úvod

K uspokojeniu potrieb leteckých spoločností, ako jedného z hlavných subjektov trhu leteckej dopravy, slúži niekoľko komplexných služieb, medzi ktoré patria aj služby pozemnej obsluhy. Pozemná obsluha lietadiel v zásade predstavuje poskytovanie komplexu služieb požadovaných od prevádzkovateľov lietadiel pred vzletom a po pristávaní. Závislosť leteckých spoločností na službách pozemnej obsluhy je nevyvrátiteľná. Pojmy ako globalizácia, medzinárodná expanzia či liberalizácia nie je potrebné vysvetľovať. V dnešnej dobe sú tieto procesy známou súčasťou takmer všetkých svetových trhov a ekonomík. Trh so službami pozemnej obsluhy nie je výnimkou. Spolu s celým leteckým odvetvím dnes javí všetky známky globálneho, medzinárodne expandovaného a liberalizujúceho sa odvetvia. Rozdielny je len prístup alebo miera spomínaných procesov v danom regióne, krajine prípadne v samotnej spoločnosti. Prvky medzinárodnej expanzie poskytovateľov pozemnej obsluhy je možné spozorovať na letiskách po celom svete, no jej miera je otázná. Odpoveď na túto otázku poskytuje výskum.

Hlavnými informačnými základmi výskumu boli rôzne online dokumenty, webové stránky, knižné materiály, odborné štúdie, výskumné správy, výročné správy, články, ale aj databáza IATA IGHC. Nakoľko sa výskum vykonával v období jednej z najhorších svetových pandémieí Covid-19, jednotlivé dáta sú prispôbené tomuto faktoru. Pri údajoch, kde pandémia nezohrala žiadnu

zásadnú úlohu boli použité aktuálne dáta, no pri tých, kde by hodnoty počas tejto pandémie ovplyvnili relevanciu výpočtov, boli použité dáta z obdobia pred vypuknutím celosvetovej pandémie, respektíve referenčného roku 2019.

2. Vlastnosti trhu so službami pozemnej obsluhy

Vo svete neexistuje pre pojem „služby pozemnej obsluhy“ žiadna štandardizovaná definícia. Vysvetlenie pojmu „služby pozemnej obsluhy“ je teda možné nájsť vo viacerých formuláciách. Podľa organizácie ICAO sú to všetky služby potrebné na prílet lietadla a následne jeho odlet. Organizácia IATA definuje tento pojem ako zásadnú časť finálneho produktu, ktorý letecké spoločnosti ponúkajú svojim cestujúcim. Vo všeobecnosti sa však najčastejšie tieto služby definujú ako služby, ponúkané užívateľom letiska, ktoré zahŕňajú všetky procesy týkajúce sa odbavenia lietadla v čase medzi príletom na letisko a odletom z letiska. [1]

Na službách pozemnej obsluhy je závislá celá rada iných ekonomických subjektov. Z tohto dôvodu je nutné, aby takéto komplexné procesy prebiehali cielavedome. Za základné ciele služieb pozemnej obsluhy sú považované:

- rýchlosť poskytovania služieb,
- efektívnosť poskytovania služieb,

- presnosť poskytovania služieb. [2]

2.1. Štruktúra poskytovania služieb pozemnej obsluhy

Trh so službami pozemnej obsluhy má v súčasnej dobe istú štruktúru. Táto štruktúra zahŕňa tri modely poskytovania služieb pozemnej obsluhy – *centralizovaný*, *self-handlingový* a *outsourcingový*. Hlavnou charakteristickou vlastnosťou *centralizovaného modelu* je jeho monopolný princíp poskytovania služieb pozemnej obsluhy. V praxi to znamená, že pozemnú obsluhu na letisku zabezpečuje výhradne jeden poskytovateľ služieb pozemnej obsluhy. *Self-handlingový model* je založený na poskytovaní služieb pozemného servisu danou leteckou spoločnosťou. Iným vysvetlením môže byť aj vykonávanie procesov spojených s pozemnou obsluhou sám sebe, respektíve letecká spoločnosť samej sebe. Pri *outsourcingovom modeli* všetky procesy spojené s pozemnou obsluhou zabezpečuje treťostranový poskytovateľ služieb pozemnej obsluhy. Tretiu stranu môže predstavovať letecká spoločnosť zaoberajúca sa službami pozemnej obsluhy, poskytujúca tieto služby iným subjektom alebo úplne nezávislý poskytovateľ služieb pozemnej obsluhy. [3]

2.2. Liberalizácia európskeho trhu so službami pozemnej obsluhy

Postupnou liberalizáciou leteckého priemyslu sa v roku 1996 deregulácia dostala aj k odvetviu poskytovateľov pozemných služieb. Európska rada 15. októbra 1996 implementovala smernicu 96/67/EC o prístupe k trhu služieb pozemnej obsluhy na letiskách. Po implementácii spomínanej smernice trhy pozemnej obsluhy v EÚ zažili veľmi dynamickú fázu vývoja a rastu. V súlade s liberalizáciou trhu leteckej dopravy sa smernica 96/67/EC zameriavala hlavne na päť primárnych cieľov:

- eliminovať, respektíve úplne odstrániť monopolné, duopolné a oligopolné modely poskytovania služieb pozemnej obsluhy,
- vytvoriť konkurencieschopný trh s poskytovateľmi služieb pozemnej obsluhy, na ktorom si letecký dopravca môže slobodne vyberať z viacerých poskytovateľov na základe vlastného uváženia,
- zvýšiť efektívnosť v poskytovaní služieb pozemnej obsluhy,
- znížiť priemerné náklady, či už poskytovateľov služieb pozemnej obsluhy, ale aj leteckých dopravcov,
- zvýšiť úroveň kvality služieb. [3] [4]

Dopady implementácie smernice 96/67/EC sú analyzované v štúdiách SH&E a Airport Research. Hlavnými zisteniami bolo, že napríklad ceny za poskytovanie služieb pozemnej obsluhy výraznejšie klesli, pričom kvalita služieb vzrástla. Ďalším pozitívnym dopadom bolo zvýšenie počtu poskytovateľov na letiskách, s čím súviselo aj zvýšenie trhového podielu treťostranových poskytovateľov služieb pozemnej obsluhy. Taktiež sa pomocou spomínanej smernice dosiahol jeden z hlavných cieľov, a to vytvorenie konkurenčného prostredia medzi jednotlivými poskytovateľmi spolu s férovým, relevantným a transparentným výberovým konaním.

3. Medzinárodná expanzia nezávislých poskytovateľov služieb pozemnej obsluhy

Do praktickej časti výskumu spadá analýza situácie v globálnom ponímaní expanzie nezávislých poskytovateľov služieb pozemnej obsluhy.

3.1. Výber nezávislých poskytovateľov služieb pozemnej obsluhy

Analýza sa vzťahuje na takzvaných „key players“, v preklade najvýznamnejších alebo kľúčových hráčov v odvetví nezávislého poskytovania služieb pozemnej obsluhy. Ako argumenty výberu významných spoločností boli použité vzorové štúdie a reporty, ktoré vo svojom obsahu vykonali výber takýchto spoločností. Finálny výber sa skladá z týchto poskytovateľov:

- Swissport,
- dnata,
- Menzies Aviation,
- Worldwide Flight Services,
- Aviapartner.

3.2. Koncept transnacionalizácie

Pre potreby posúdenia medzinárodnej expanzie vybraných poskytovateľov je ako prvý použitý index internacionalizácie. Jeho výpočet je vzhľadom na požadované dáta jednoduchý. Skladá sa z podielu počtu zahraničných dcérskych pobočiek danej spoločnosti a celkového počtu pobočiek spoločnosti. Výpočet je vykonaný pre dva typy prístupov ku kategorizácii služieb pozemnej obsluhy, kde prvým zdrojom je databáza IATA IGHC a druhým samotné webové stránky vybraných poskytovateľov. V prípade posledných troch poskytovateľov údaje z databázy IATA IGHC neboli dostupné.

Tabuľka 1: Výsledky výpočtu indexu internacionalizácie pre vybraných poskytovateľov pre obidva prístupy kategorizácie služieb. Zdroj: autor

	Index internacionalizácie (II)	
	IATA IGHC	Webstránky poskytovateľov
Swissport	98,89 %	98,99 %
dnata	96,2 %	97,44 %
Menzies	-	99,34 %
WFS	-	92,81 %
Aviapartner	-	89,19 %

Pri prvých štyroch poskytovateľoch je hodnota indexu internacionalizácie väčšia ako 90 %, čo znamená veľmi vysokú koncentráciu zahraničných obsluhovaných letísk. Najvyššiu mieru charakteru medzinárodnosti má spoločnosť Menzies Aviation, až 99,34 %. Táto skutočnosť je daná hlavne tým, že spoločnosť obsluhuje na domácej pôde len jedno letisko z celkového počtu 151 obsluhovaných letísk. Poskytovateľ Aviapartner má hodnotu indexu internacionalizácie mierne pod 90 %, presnejšie 89,19 %. Pri porovnaní so spoločnosťou Menzies Aviation, je spoločnosť Aviapartner o niečo viac zameraná na domáci trh so službami pozemnej obsluhy. Záverom však stále zostáva fakt, že výsledky sú len mierne

odlišné, a tým pádom je možné konštatovať, že miera charakteru medzinárodnosti vybraných poskytovateľov pozemnej obsluhy podľa výpočtov indexu internacionalizácie je na veľmi vysokej úrovni, a teda každý z piatich vybraných poskytovateľov je výrazne medzinárodne expandovaný

3.2.1. Komparácia výsledkov indexu internacionalizácie 2010 verzus 2021.

Pre potreby posunutia zistení v rámci aktuálnych hodnôt miery charakteru medzinárodnosti jednotlivých poskytovateľov sme sa rozhodli výsledky porovnať s výsledkami diplomovej práce, vypracovanej Mandákovou z roku 2010. Výsledné hodnoty teda taktiež prislúchajú k východiskovým údajom z roku 2010. V diplomovej práci sú východiskové dáta o počte obsluhujúcich letísk prebrané výhradne z databázy IATA IGHC. Porovnanie výsledkov je možné vidieť v tabuľke uvedenej nižšie, pričom v stĺpci pre rok 2021 je pri výsledku uvedený aj zdroj dát pre dosiahnutie daného výsledku. Keďže Mandáková pracovala výhradne s databázou IATA IGHC, poskytovateľov Swissport a dnata sme sa taktiež snažili porovnať v rámci výsledkov podľa kategorizácie IATA IGHC.

Tabuľka 2: Komparácia výsledkov indexu internacionalizácie s výsledkami v diplomovej práci vypracovanej Mandákovou. Zdroj: Autori podľa [5].

Poskytovateľ	rok 2010	rok 2021	Rozdiel
Swissport	98,8 %	98,89 % (IATA IGHC)	+ 0,09 %
dnata	-	96,2 % (IATA IGHC)	-
Menzies Aviation	91,4 %	99,34 % (Webstránky)	+ 7,94 %
WFS	25,6 %	92,81 % (Webstránky)	+ 67,21 %
Aviapartner	91,2 %	89,19 % (Webstránky)	- 2,01 %

Komparácia aktuálnej miery medzinárodnej expanzie, teda z roku 2021 a miery medzinárodnej expanzie v roku 2010 priniesla závery, že výraznejšie zmeny nastali len pri poskytovateľoch Menzies Aviation a WFS. Za 11 rokov tieto spoločnosti zaznamenali významnejší nárast svojich aktivít v zahraničí.

3.3. Geographical Spread Index (GSI)

Druhou metódou v rámci zámeru posúdenia medzinárodnej expanzie vybraných najvýznamnejších poskytovateľov pozemnej obsluhy je Geographical Spread Index (GSI). Tento index je štandardným nástrojom pre analýzu charakteru nadnárodných spoločností a v súčasnosti je využívaný hlavne v štúdiách Konferencie Spojených národov pre obchod a rozvoj (UNCTAD)

Pre potreby dosiahnutia výsledkov sme použili hneď dve variácie GSI - GSI₁ a GSI₂. Súčasťou vzorca indexu GSI₁ je hodnota indexu internacionalizácie, teda podielu zahraničných obsluhovaných letísk a všetkých obsluhovaných letísk, a následne počet zahraničných krajín, v ktorých poskytovateľ pozemnej obsluhy prevádzkuje služby. Zatiaľ čo základom výpočtu GSI₁ sú len

jednotlivé krajiny, GSI₂ obsahuje vo svojom vzorci celé svetové regióny. Konkrétne sa jedná o pomer počtu obsluhovaných letísk v zahraničných regiónoch a počtu všetkých obsluhovaných letísk a následne obsahuje počet zahraničných regiónov, v ktorých poskytovateľ pozemnej obsluhy prevádzkuje služby.

Tabuľka 3: Výsledky výpočtu GSI₁ a GSI₂. Zdroj: Autori.

Poskytovateľ	GSI ₁	GSI ₂
Swissport	5,4494	2,1873
dnata	5,7558	2,5301
Menzies Aviation	4,7800	2,4072
WFS	4,4148	1,8636
Aviapartner	2,1118	0

V rámci typológie Geographical Spread Indexu môžu byť jednotliví poskytovatelia posudzovaní z hľadiska charakteru medzinárodnej expanzie ako:

- kľúčový výrazne expandovaní poskytovatelia služieb pozemnej obsluhy s vysokými hodnotami výsledkov GSI₁,
- kľúčoví interregionálni medzinárodní poskytovatelia služieb pozemnej obsluhy (platí pre výsledok GSI₂),
- kľúčoví medzinárodní poskytovatelia služieb pozemnej obsluhy s pôsobnosťou vo viac ako jednom svetovom regióne (platí pre výsledok GSI₂),
- kľúčoví intraregionálni medzinárodní poskytovatelia služieb pozemnej obsluhy s nulovými hodnotami GSI₂, avšak s vysokými hodnotami GSI₁,
- kľúčoví lokálni poskytovatelia služieb pozemnej obsluhy, poskytujúci služby pozemnej obsluhy na viacerých letiskách v rámci domovskej krajiny.

Najvyššie hodnoty v rámci výpočtov prvého indexu GSI₁ dosiahol poskytovateľ pozemnej obsluhy dnata. V tesnom závесе je poskytovateľ Swissport, nasleduje Menzies Aviation, WFS a nakoniec poskytovateľ Aviapartner. Medzi prvú kategóriu, z hľadiska posúdenia charakteru medzinárodnej expanzie, sa radia poskytovatelia dnata, Swissport a Menzies Aviation. Jedná sa teda o kľúčových hráčov v odvetví služieb pozemnej obsluhy, ktorí preukazujú výsledky výrazne medzinárodne expandovanej spoločnosti. Pri poskytovateľovi WFS sa prejavuje mierne nižšia miera medzinárodnej expanzie ako pri spomínaných troch poskytovateľoch, a to hlavne z dôvodu menšej hodnoty GSI₂, ktorá stavia WFS do pozície kľúčového medzinárodného poskytovateľa služieb pozemnej obsluhy s pôsobnosťou vo viac ako jednom svetovom regióne. Poskytovatelia dnata, Swissport a Menzies Aviation sa z hľadiska výsledkov GSI₂ zaraďujú do skupiny interregionálne zameraných poskytovateľov služieb pozemnej obsluhy aj vzhľadom na fakt, že títo poskytovatelia vykonávajú svoje aktivity vo všetkých vybraných svetových regiónoch. Špecifický typ poskytovateľa je spoločnosť Aviapartner. S nulovou hodnotou výsledku GSI₂ a relatívne vysokou hodnotou GSI₁, zaraďujeme tohto poskytovateľa do skupiny kľúčových intraregionálnych medzinárodných poskytovateľov služieb pozemnej obsluhy. Nulová hodnota GSI₂

je spôsobená hlavne tým, že Aviapartner je spoločnosť pôsobiaca výhradne v európskom prostredí, teda v jedinom vybranom svetovom regióne, čo prispieva ku skutočnosti, že táto spoločnosť je z hľadiska posúdenia charakteru globálnej expanzie intraregionálna. Nižšie hodnoty GSI₁ pri poskytovateľoch WFS a Aviapartner napovedajú, že tieto spoločnosti z malej časti figurujú ako kľúčoví lokálni poskytovatelia služieb pozemnej obsluhy, keďže ako jediní z vybraných poskytovateľov vykonávajú svoje aktivity na viacerých letiskách v rámci domovskej krajiny. Na základe výsledku výpočtov Geographical Spread Indexov, za najväčšieho medzinárodného kľúčového poskytovateľa s najvyššou mierou charakteru medzinárodnej expanzie považujeme spoločnosť dnata.

3.3.1. Komparácia výsledkov Global Spread Indexu 2014 verzus 2021.

V tejto podkapitole je uvedená komparácia výsledkov hodnôt Global Spread Indexu v roku 2021 a 2014. Nami vypočítané aktuálne hodnoty GSI₁ a GSI₂ sú tabuľke uvedenej na nasledujúcej strane porovnané s hodnotami výsledkov GSI₁ a GSI₂, prislúchajúcim k zdrojovým údajom z roku 2014, uvedených v štúdiu vypracovanej Kirchnerovou a Tomovou.

Tabuľka 4: Komparácia výsledkov Global Spread Indexu s výsledkami v štúdiu vypracovanej Kirchnerovou a Tomovou. Zdroj: Autori podľa [6].

Poskytovateľ	Rozdiel	
	GSI ₁ (2014 vs 2021)	GSI ₂ (2014 vs 2021)
Swissport	- 5,72 %	+ 16,88 %
dnata	+ 66,43 %	+ 33,88 %
Menzies Aviation	- 3,01 %	+ 23,02 %
WFS	-	-
Aviapartner	-	-

Pri komparácii aktuálnych výsledkov GSI z roku 2014 a GSI v roku 2021 najväčšie zmeny hodnôt zaznamenal poskytovateľ dnata. Nárast hodnoty GSI₁ pri o približne 66,5 % a GSI₂ o približne 33 % je dôkazom, že spoločnosť za medzi porovnávanými rokmi 2014 a 2021 výrazne expandovala svoje aktivity na množstvo zahraničných letísk a niekoľkých ďalších svetových regiónov. Za obdobie 7 rokov sa spoločnosť transformovala z mierne expandovaného až lokálneho hráča na kľúčového a výrazne expandovaného poskytovateľa služieb pozemnej obsluhy. Poskytovateľov WFS a Aviapartner nebolo možné posúdiť z dôvodu nedostupnosti údajov, respektíve nezahrnutie daných poskytovateľov v štúdiu vypracovanej Kirchnerovou a Tomovou.

3.4. Nový koncept metódy zmerania medzinárodnej expanzie

Tretím indexom bol nami navrhnutý koncept novej metódy merania medzinárodnej expanzie, ktorý nesie názov Index globálnej výkonnosti IGV, respektíve alternatívny index globálnej výkonnosti IGV_{alt}. Nová metóda merania je navrhovaná s ohľadom na výkonnosť poskytovateľa na

zahraničných letiskách a veľkostnú kategóriu letísk, pričom jej výhodou sú nízke nároky na vstupné východiskové dáta a jednoduchosť výpočtu. Názorný výpočet tohto indexu sme aplikovali na poskytovateľa Aviapartner, a to z dôvodu nižšieho počtu poskytovaných služieb a následne aj nižšieho počtu obsluhovaných letísk. Pri IGV sa jedná o podiel hodnoty výkonnosti na zahraničných obsluhovaných letiskách a hodnoty výkonnosti na všetkých obsluhovaných letiskách. Hodnota výkonnosti sa vzťahuje na počet poskytovaných služieb na jednotlivých letiskách. IGV_{alt} vo výpočte zahŕňa veľkostnú kategorizáciu letísk - podiel počtu veľkých zahraničných letísk a podiel počtu všetkých veľkých letísk.

V prvom rade sme sa zamerali na prvý so spomínaných indexov a to index IGV. Finálna formula pre výpočet IGV má nasledujúcu podobu:

$$IGV = \frac{\text{Hodnota výkonnosti na zahraničných letiskách (V}_{zah})}{\text{Celková hodnota výkonnosti (V}_{celk})} * 100 (\%)$$

pričom:

$$V_{zah} ; V_{dom} = \sum n_1 ; n_2 ; \dots ; n_n$$

$$V_{celk} = V_{dom} + V_{zah}$$

pričom:

Násobok (n_x) = Počet poskytovaných služieb * Počet obsluhovaných letísk

Pre účely klasifikácie meraného poskytovateľa pozemnej obsluhy (v našom prípade Aviapartner) sme určili 5 základných kategórií indexu globálnej výkonnosti poskytovateľa. Týchto 5 kategórií je:

- **0-24,99 %** - výkon poskytovateľa je zameraný primárne na domáce letiská,
- **25-49,99 %** - výkon poskytovateľa je zameraný domáce a zahraničné letiská, pričom na domáce je zameraný vo väčšej miere,
- **50 %** - výkon poskytovateľa je zameraný rovnako na domáce a zahraničné letiská,
- **50,01-74,99 %** - výkon poskytovateľa je zameraný domáce a zahraničné letiská, pričom na zahraničné je zameraný vo väčšej miere,
- **75-100 %** - výkon poskytovateľa je zameraný primárne na zahraničné letiská.

Finálne hodnoty jednotlivých premenných a indexu globálnej výkonnosti poskytovateľa pozemnej obsluhy Aviapartner je možné vidieť v tabuľke 5.

Tabuľka 5: Výsledok výpočtu indexu globálnej výkonnosti. Zdroj: Autori.

Hodnota výkonnosti na zahraničných obsluhovaných letiskách (V _{zah})	Hodnota výkonnosti na všetkých obsluhovaných letiskách (V _{celk})	Index globálnej výkonnosti (IGV)
83	97	85,57 %

V druhom rade sme vypracovali alternatívu k indexu globálnej výkonnosti IGV_{alt} , keďže o výkonnosti poskytovateľa môže hovoriť aj veľkosť jednotlivých obsluhovaných letísk. Túto alternatívu sme nasmerovali k ešte menším požiadavkám na východiskové dáta, pretože dáta o počte a type poskytovaných služieb na jednotlivých letiskách obsluhovaných daným poskytovateľom nemusia byť vždy k dispozícii. Finálny vzorec pre výpočet IGV_{alt} má nasledovnú podobu:

$$IGV_{alt} = \frac{\text{Počet veľkých zahraničných letísk } (\sum_{\text{vef.zahr}})}{\text{Počet všetkých veľkých letísk } (\sum_{\text{celk.vef.}})} * 100 (\%)$$

V prípade dosiahnutia výsledkov alternatívnej metódy merania globálnej výkonnosti sme štyri oficiálne veľkostné kategórie letísk podľa počtu prepravených pasažierov zlúčili do dvoch, pričom konečná podoba vyzerá nasledovne:

- **malé letiská** (< 5 miliónov odbavených pasažierov za rok),
- **veľké letiská** (> 5 miliónov odbavených pasažierov za rok).

Tabuľka 6: Výsledok výpočtu alternatívneho indexu globálnej výkonnosti. Zdroj: Autori.

Počet veľkých zahraničných letísk ($\sum_{\text{vef.zahr}}$)	Počet všetkých veľkých letísk ($\sum_{\text{celk.vef.}}$)	Alternatívny index globálnej výkonnosti (IGV_{alt})
21	22	95,45 %

Výsledky obidvoch indexov (IGV a IGV_{alt}) napovedajú k tomu, že poskytovateľ Aviapartner vzhľadom na počet poskytovaných služieb a veľkostnú kategóriu letísk na zahraničných trhoch javí známky poskytovateľa, ktorý je zameraný primárne na zahraničné letiská, a teda má charakter medzinárodne expandovaného poskytovateľa služieb pozemnej obsluhy. Hodnota výsledku IGV_{alt} je známkou toho, že Aviapartner poskytuje svoje služby na 95,45 % veľkých letísk práve v zahraničí. Sústredenie výkonu na veľkých letiskách v zahraničí opäť znamená charakter výrazne expandovaného poskytovateľa. Ďalším zaujímavým spôsobom výpočtu by mohla byť komplexnejšia metodika kombinácie indexov IGV a IGV_{alt} .

4. Záver

V roku 1996 sa v Európe dovtedy „zamknutý“ trh so službami pozemnej obsluhy vo veľkej miere liberalizoval a dereguloval, čo prinieslo uvoľňovanie trhu služieb pozemnej obsluhy, výrazný nárast konkurencie a svetového obchodu. Tieto prínosy boli zabezpečené pomocou liberalizačnej smernice 96/67/EC. V obsahu sme podrobne roznalyzovali stupne implementácie tejto smernice, jej legislatívny rámec, organizačné modely uplatňované po implementácii, ale aj dopady smernice na trh s poskytovateľmi služieb pozemnej obsluhy. Hlavnými zisteniami bolo, že napríklad ceny za poskytovanie služieb pozemnej obsluhy výraznejšie klesli, pričom kvalita služieb vzrástla. Ďalším pozitívnym dopadom bolo zvýšenie počtu poskytovateľov na letiskách, s čím súviselo aj zvýšenie trhového podielu treťostranových poskytovateľov služieb pozemnej obsluhy. Taktiež sa pomocou spomínanej smernice dosiahol jeden z hlavných cieľov, a to vytvorenie konkurenčného prostredia medzi jednotlivými poskytovateľmi spolu s férovým, relevantným a transparentným výberovým konaním.

V praktickej časti výskumu sme sa zamerali na dosiahnutie primárnych cieľov práce – zmerať a posúdiť mieru medzinárodnej expanzie vybraných nezávislých poskytovateľov pozemnej obsluhy a následne vypracovať koncept metódy merania miery medzinárodnej expanzie. V prvom rade sme na základe predošlých štúdií a článkov vykonali výber piatich najvýznamnejších nezávislých poskytovateľov služieb pozemnej obsluhy – Swissport, dnata, Menzies Aviation, World Flight Services a Aviapartner. Následne sme využili dva základné indexy a jeden nami navrhnutý koncept metódy merania miery a charakteru medzinárodnej expanzie poskytovateľov služieb pozemnej obsluhy. Na základe výsledkov jednotlivých meraní môžeme konštatovať, že každý z piatich najvýznamnejších nezávislých poskytovateľov služieb pozemnej obsluhy už prešiel výraznou medzinárodnou expanziou, a teda aktuálne preferuje obsluhu zahraničných letísk pred domácimi. Z nášho pohľadu k tomuto faktu vo veľkej miere prispela globalizácia a liberalizácia celého odvetvia leteckej dopravy, s čím súvisí hlavne odomknutie vstupu na trh a vytvorenie vhodnejších podmienok na zahraničných trhoch.

PodĎakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky VEGA 1/0695/21 „Letecká doprava a COVID-19: Výskum dopadov krízy so zameraním na možnosti revitalizácie odvetvia“.

5. Referencie

- [1] CASSIA PAULUS, N. 2011. *Ground Handling Regulation in India* [online]. výskumná správa. Melbourne: RMIT University, 2011.
- [2] STRAKOVÁ, E. – FERENC, J. 2011. *Prostriedky pre pozemnú obsluhu lietadiel*, I. vydanie. Košice, Letecká fakulta Technickej univerzity v Košiciach, 2011. 140 s. ISBN: 978-80-553-0706-0.
- [3] TOMOVÁ, A. – KIRSCHNEROVA, I. – HAVEL, K. 2016. *Ekonomika letísk*. Žilina, Žilinská univerzita v Žiline EDIS, 2016. ISBN: 978-80-554-1257-3.
- [4] Study on the Impact of Directive 96/67/EC on Ground Handling Services 1996-2007 – Airport Research Center [online]. Dostupné na: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/mode_s/air/studies/doc/airports/2009_02_ground_handling.pdf
- [5] MANDÁKOVÁ, S. 2010. *Transnacionalizácia trhu služieb pozemnej obsluhy letísk: diplomová práca*. Žilina: UNIZA, 2010. 24-27s.
- [6] A. Tomová a I. Kirschnerova, *The Players in Airport Ground Handling: a New Typology Reflecting the International Expansion*, *Ekonomické Problemy Úslug*, roč. 119, jan. 2015 [online]. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/309000836_The_Players_in_Airport_Ground_Handling_a_New_Typology_Reflecting_the_International_Expansion (citované 2021-02-04)

METHODICAL MANUAL FOR FLIGHT ACCORDING TO PBN

METODICKÁ PRÍRUČKA NA VYKONANIE LETU PODĽA PBN

Adrián Novák

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
adriannovak98@icloud.com

František Jůn

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jun@lvvc.uniza.sk

Abstract

Work dealing with the professional topic of PBN issues and its use within the University of Žilina in Žilina. The division of the work is 4 content units, each of which describes a different area of the issue. In the first chapter, the author analyzes certified navigation devices and their functionality within the PBN concept. The chapter describes the basic radio navigation equipment, which we include in the concept of PBN, namely VOR, DME, but also satellite navigation systems GNSS, ABAS, GBAS, SBAS. And in summary, use of these systems in the PBN concept. The next chapter describes the theoretical knowledge that a student should have in flight according to PBN. It describes the theoretical background that a pilot needs to perform such a flight. Every pilot who starts practical flying should have studied the facts given in this chapter. In the third chapter, the reader will learn about the differences between flying a real aircraft and between simulator flying during PBN training. It describes the execution of the flight according to PBN, which is helpful before starting the simulator training. The simulator is an important part of the training and should therefore be given the same level of attention. The last part of this work summarizes the facts from the previous chapters and uses this knowledge in their implementation in flight procedures. When reading this chapter, it is necessary to use your knowledge of practical training. The aim of this work is to create a framework for the future methodological manual for PBN training. The main goal of this work is to bring the issue closer to the reader, to acquaint him with the issue of PBN flying.

Keywords

PBN, RNP, RNAV, GNSS

1. Úvod

Problematika PBN (navigácia podľa výkonnosti) je slabo obsiahnutý v učebných osnovách, práve preto som sa rozhodol vypracovať svoju diplomovú prácu práve na túto tému. Mojim cieľom je vypracovať dielo, ktoré bude ľahko zrozumiteľné a poskytne oporu študentom pri príprave na teoretické skúšky ATPL a taktiež pri prehlbovaní ich praktických skúseností a vedomostí pri pilotovaní lietadla, resp. činnostiach s tým spojenými [1] [2].

Dôležitosť PBN spočíva v tom, že ide o akúsi vývojovú etapu lietania podľa prístrojov, ktorá postupne nahradí a zmení postupy počas všetkých fáz letu. Táto príručka by mala teda krok po kroku opísať túto zmenu a jej implementáciu v živote každého pilota a mnohých iných ľudí. Prináša úsporu času a paliva, čo je dôležité pri dnešnom prísnom ponímaní ekológie leteckej dopravy. To vďaka kratším preleteným vzdialenostiam a možnosti vytvorenia „zakrivených“ letových tratí, najmä vo fázach priblíženia a odletu [3] [4].

Pokračujúci nárast v letectve vyvolal potrebu na navýšenie kapacity vzdušného priestoru, a preto je dôležité optimálne využívať dostupný vzdušný priestor. Zlepšená prevádzková efektivita, ktorú prinieslo používanie priestorovej navigácie (RNAV) má za následok vývoj nových aplikácií v rôznych oblastiach sveta, a to vo všetkých fázach letu. Tieto aplikácie by bolo možné rozšíriť na to, aby poskytovali vedenie pri pohybe na zemi.

Požiadavky na aplikáciu navigácie na konkrétne letové cesty alebo v určitom vzdušnom priestore musia byť definované jasne a zrozumiteľne. To je preto, aby sa zabezpečilo, že letová posádka a riadiaci letovej prevádzky (ATCs) boli oboznámení so spôsobilosťou palubného systému RNAV s cieľom zistiť, či je výkonnosť trieda systému RNAV primeraná konkrétnym požiadavkám vzdušného priestoru [5] [6].

2. Analýza certifikovaných využitelných navigačných zariadení na PBN

PBN je špecifikácia, ktorá zabezpečuje štandardizáciu RNAV a RNP špecifikácií. Zlučuje pod jeden koncept všetky celosvetovo používané navigačné špecifikácie. Presnú definíciu PBN nájdeme v dokumente *ICAO PBN Manual (Doc 9613)* a jej preklad znie:

Priestorová navigácia založená na požiadavkách pre lietadlo prevádzkované na letovej ceste, prístrojovom priblížení alebo vo vymedzenom vzdušnom priestore.

Kde:

Požiadavky na navigačnú výkonnosť za letu sú vyjadrené požiadavkami na presnosť, integritu, kontinuitu a funkcionálnu, ktoré sú potrebné na zamýšľanú prevádzku v rámci konceptu vymedzeného vzdušného priestoru. V rámci konceptu vymedzeného vzdušného priestoru sa predpokladá dostupnosť signálu GNSS a taktiež ďalšia navigačná infraštruktúra, potrebná na využitie priestorovej navigácie.

Táto kapitola by sa preto mala zaoberať jednotlivými zariadeniami, ktoré je možné využiť v rámci konceptu PBN, teda nových technológií aj tých minulých.

Popis jednotlivých navigačných zariadení

Pozemné navigačné prostriedky

- VOR
- DME

Priestorové navigačné prostriedky

- GNSS
 - GPS, Glonass, Galileo, Beidou
- ABAS
 - INS, (RAIM)
- SBAS
 - WAAS, EGNOS, ...
- GBAS

3. Návrh implementácie PBN do výcviku pilotov

Pri výcviku je dôležité dodržiavať stanovené postupy. Osnovy výcviku v Leteckom výcvikovom a vzdelávacom centre Žilinskej univerzity obsahujú postupy, ktorých dodržiavanie je dôležité pri vykonaní letu.

4. Možnosti využitia simulátorov na výcvik

V Žiline používame štandardne simulátor FNPT II Mechatronix, ktorý bol pred nedávnom modernizovaný, aby bolo na ňom možné vykonávať PBN výcvik. Niekedy je lepšie nacvičiť si nepriaznivé situácie na simulátore, ako sa s nimi prvýkrát stretnúť v reálnom živote.

Dôležité pri začiatkoch práce so simulátorom je dôležité oboznámiť sa s funkciami simulátora. Správanie sa simulátora je odlišné od skutočného lietadla a vyžaduje oboznámenie sa s prostredím zo strany pilota. Treba si preto zopakovať aj základy lietania podľa prístrojov.

5. Návrh na doplnenie letových postupov vrátane brífingu

Predletová príprava je dôležitá a treba jej klásť aspoň toľko pozornosti ako samotnému letu. Počas predletovej prípravy je potrebné pripraviť si a skontrolovať všetky náležitosti potrebné mať na palube lietadla počas letu a predletovú prípravu.

Pilot by mal pred nasadnutím do lietadla vykonať predletovú prehliadku technického stavu lietadla. Aj keď nie je možné plne skontrolovať lietadlo pred letom pilot by mal skontrolovať aspoň základné veci, ktoré mohol mechanik prehliadnúť.

Odletové postupy sú publikované IFR postupy, ktoré poskytujú správnu mieru rozstupu od prekážok pri lete z koncovej oblasti do fázy letu po trati, poskytujú tak bezpečnosť pri vzlete a prechode na fázu letu po trati.

Postupy letu po trati sa líšia v závislosti od zvolenej trati, dopravnej situácie a centier poskytujúcich služby riadenia letovej prevádzky na danej trati. Niektoré lety sú riadené od vzletu po pristátie, iné sa spoliehajú len na vlastnú navigáciu pilota

Pracovné zaťaženie a plánovanie priblíženia sú ovplyvnené počasím, hustotou prevádzky, vybavením lietadla a dostupnosťou radaru.

Vykonanie PBN priblíženia v Žiline opisuje nasledovná mapka. Výhodou tohoto priblíženia je, že citlivosť indikácie na CDI prístroji je rovnaká po celú dobu priblíženia a nezvyšuje sa ako to u ILS priblíženia.

6. Záver

Termín PBN je komplexný termín, na ktorého porozumenie je potrebná znalosť viacerých faktov. Piloti počas svojho výcviku poznajú tieto fakty, ale nie vždy sú schopní si ich spojiť do jedného celku. Tejto práci sa podarilo vytvoriť akýsi materiál, ktorý dokáže tieto jednotlivé fakty pospájať dohromady. Bol by som rád, ak by závery z tejto práce mohli byť zapracované v učebniciach Žilinskej univerzity.

PBN navigácia nám okrem zvýšenej bezpečnosti, presnosti a spoľahlivosti palubného vybavenia so sebou prináša komplikovanú terminológiu a množstvo faktov, ktoré sa dajú pochopiť iba v kontexte, akým je praktický a teoretický výcvik. Príručky počas výcviku hrajú veľkú rolu a prinášajú študentom mnoho informácií.

Veľkou dilemou pri tvorbe tejto diplomovej práce bol výber faktov, ktoré v nej majú byť uvedené. Vo všeobecnosti totiž neexistujú žiadne celosvetové štandardy, na to, čo by mal pilot vedieť o PBN koncepte. Taktiež nie je presne definované kto a za akých okolností by mal tento výcvik vykonávať.

Referencie

- [1] Jůn F., 2015, *Učebnica na lety podľa prístrojov*. IBSN 978-80-8181-049-7
- [2] https://aim.lps.sk/eAIP/eAIP_SR/AIP_SR_valid/html/LZ1-GEN-4.1-sk-SK.html
- [3] Jůn F., 1998, *Návrh riešenia priblíženia podľa prístrojov s využitím GPS*
- [4] Jůn F., Topolčány R., 2008, *Rádionavigácia (062)*. IBSN: 80-8070-2017-9
- [5] Novák, A., Novák Sedlačková, A., Janovec, M., 2020. *Komunikačné systémy v letectve EDIS - Žilina*, Žilinská univerzita v Žiline, 2020, ISBN 978-80-554-1737-0
- [6] Novák, A., 2015. *Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve*, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5

CONSTRUCTION OF A REACTIVE ENGINE INTENDED FOR MEASUREMENT OF THRUST CHARACTERISTICS AND EFFICIENCY OF SELECTED AVIATION FUELS

KONŠTRUKCIA REAKTÍVNEHO MOTORA URČENÉHO NA MERANIE ŤAHOVÝCH CHARAKTERISTÍK A ÚČINNOSTÍ VYBRANÝCH LETECKÝCH POHONNÝCH HMÔT

Matej Sitár
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
matejsitaar@gmail.com

Pavol Pecho
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Pavol.pecho@fpedas.uniza.sk

Abstract

The content of the research consists in the approach and interpretation of pulsejet engines as simple devices that are able to produce thrust. Relevant information about the principle of operation, the process of manufacturing a pulse engine, together with knowledge about fuels, which are subjected to research focused on the production of thrust, provide the design of a functional valveless pulsejet engine type "Lockwood". The pulsejet engine is designed to measure the thrust characteristics and efficiencies of selected aviation fuels, and its construction is the main goal, which also provides insight into a comprehensive solution to the problem. Experiments focused on fuel research, have become the main motivation for our work, which in addition to theoretical knowledge also captures the factual solution to the problem in its practical part. The work describes a specific procedure for the construction of a pulsejet engine, but also a description of by-products of this process, in the form of a metal stationary base and the implementation of various functional components into the structure. The results of the experiments represent important outputs of the work, which clarify the values of thrust, which the engine produced when propelled by selected fuels and at the same time provide inspiration for the implementation of other similar research.

Keywords

Pulsejet engine, fuel, thrust

1. Úvod

Pulzné motory patria medzi najjednoduchšie zariadenia schopné produkovať ťah. Cieľom našej práce bolo zostrojiť konštrukciu funkčného bezventilového motora typu „Lockwood“, ktorá neobsahuje žiadne pohyblivé časti. Práve jednoduchosť konštrukcie umožňuje aj použitie rozličných druhov palív na jeho pohon. Možnosti, ktoré bezventilový pulzný motor poskytuje, sme využili na realizáciu experimentov zameraných na meranie ťahových charakteristík a účinností vybraných pohonných hmôt. Na zachytenie ťahu, ktorý motor produkoval slúžila konštrukcia kovového stacionárneho podstavca, do ktorej bol implementovaný digitálny silomer, schopný vyobraziť aktuálne hodnoty ťahu pulzného motora. Pri experimentoch sme sa zamerali na použitie pohonných hmôt, akými sú letecký petrolej JET-A1, bioetanol, benzín N95 a nafta. Hlavným prínosom projektu boli, rovnako ako fungujúci prototyp bezventilového pulzného motora, tak aj výsledky realizovaných experimentov v podobe hodnôt ťahu produkovaných týmto motorom počas jeho pohonu zvolenými druhmi pohonných hmôt.

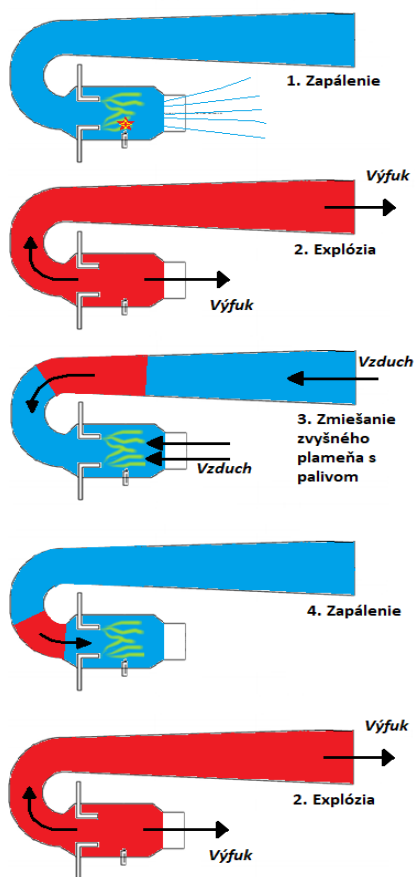
1.1. Princíp fungovania bezventilového pulzného motora

Princíp fungovania bezventilového pulzného motora sa dá výstižne opísať pomocou tretieho Newtonovho zákona akcie a reakcie, ktorý hovorí: „Sily, ktorými na seba navzájom pôsobia dve telesá, sú rovnako veľké a opačného smeru.“ [1] V pulznom

motore je pri jeho prevádzke ťah (reakcia) produkovaný množstvom vzduchu vychádzajúcim z motora pri určitej rýchlosti (akcia). Ťah predstavuje silu, ktorá tlačí motor vpred. Ide teda o rozdiel hybnosti vzduchu vstupujúceho do motora a hybnosti vzduchu, ktorý z motora vystupuje. [2]

Geometrický tvar bezventilových pulzných motorov kompenzuje absenciu ventilov v ich konštrukcii. Dizajn konštrukcie je navrhnutý tak aby umožnil výstup výfukových plynov z rovnako orientovaného vstupného, ako aj výstupného ústrojenstva, ktoré sú v prípade tohto typu pulzného motora jedno zariadenie, slúžiace na vstup aj výstup plynov. Bezventilový pulzný motor je však navrhnutý tak, aby väčšina výfukových plynov vystupovala práve cez výstupné/vstupné ústrojenstvo orientované bližšie ku spaľovacej komore. [3] Obrázok 1 nižšie približuje proces aktívnej činnosti motora. Tento proces začína vstupom vzduchu cez vstupné/výstupné ústrojenstvo. V spaľovacej komore sa vzduch zmieša s palivom rozprášeným prostredníctvom palivových dýz. Následne je táto palivovo-vzduchová zmes zapálená iskrou zo zapalovacej sviečky v spaľovacej komore (1. Zapálenie). Spaľovanie prebieha pri zvyšujúcom sa tlaku a teplote v spaľovacej komore. Tento proces predstavuje expanziu plynov, ktoré následne prechádzajú vstupným aj výstupným ústrojenstvom. (2. Explózia). Výstupná dýza takýchto motorov má spravidla o niečo väčší výstupný prierez ako časť orientovaná bližšie k spaľovacej komore. Takýto rozmer a vzdialenosť od spaľovacej komory

zapríčiňujú, že vo výstupnej časti zostáva zvyšný plameň, zatiaľ čo zo vstupnej časti unikla všetka horiaca zmes. Je teda zrejme, že horiaca a expandujúca zmes sa dostala práve vďaka geometrii motora k výstupu ústrojenstva orientovaného bližšie k spaľovacej komore skôr, ako k výstupu ústrojenstva orientovaného vo väčšej vzdialenosti. Výsledkom tohto procesu je v motore vytvorený podtlak vzhľadom na okolitý tlak vzduchu. Vzniknutý podtlak obracia zvyšný plameň vo výstupnom ústrojenstve, a ten je opätovne nasávaný do spaľovacej komory. Z druhého konca je počas tohto deja nasávaný okolitý vzduch (3. Zmiešanie zvyšného plameňa s palivom). Zvyšný plameň a čerstvý vzduch sa stretávajú v spaľovacej komore (4. Zapálenie), kde pôsobením vzájomného protipohybu spomalia a tak po rozprášení čerstvého paliva vytvoria vhodné podmienky pre následný výbuch (5. Explózia). Tento proces sa opakuje cyklicky a je samo-udržateľný, vzhľadom na to, že pri jeho priebehu nie je potrebné ďalšie zapáľovanie pomocou sviečky. [4]



Obrázok 70: Princíp fungovania bezventilového pulzného motora. Zdroj: Autori.

2. Pohonné hmoty

Pri experimentálnej časti sme sa zamerali na výskum pohonných hmôt, konkrétne leteckého petroleju JET-A1, bioetanolu, benzínu N95 a nafty, ktoré sme skúmali z pohľadu hodnôt ťahu, aké bol pulzný motor pri jeho pohone danými palivami vyprodukovať.

Letecký petrolej JET-A1 je bezfarebná kvapalina s charakteristickým zápachom. Jeho minimálna výhrevnosť má

hodnotu $42,80 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Jeho hustota sa pohybuje v rozmedzí $775 - 840 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Jeho teplota samovznietenia je pri $215 \text{ }^\circ\text{C}$. [5]

Bioetanol je veľmi horľavé vysokooktánové, kvapalné, bezfarebné bio palivo s liehovým zápachom, vyrábané biologickým procesom technológiou alkoholového kvasenia biomasy. Na jeho výrobu sa používajú rastliny s vysokým obsahom škrobu (napr. kukurica), prípadne sacharidov. Bioetanol má teplotu tuhnutia pri $-114 \text{ }^\circ\text{C}$ a je charakteristický teplotou samovznietenia pri $425 \text{ }^\circ\text{C}$ a výhrevnosťou $26,81 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. [6] [7]

Medzi základné charakteristické vlastnosti Benzínu N95 patrí maximálna výhrevnosť, ktorá dosahuje hodnoty $43,125$ až $43,962 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Jeho hustota sa pohybuje v rozmedzí 710 až $760 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Bod kryštalizácie benzínu predstavuje teplota $-60 \text{ }^\circ\text{C}$. [8]

Nafta je kvapalné uhľovodíkové palivo. Jej maximálna výhrevnosť je $41,9 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Hustota nafty sa pohybuje v rozmedzí od 820 až $850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Body kryštalizácie sa rozlišujú v závislosti od toho, či ide o letný druh nafty, ktorý má bod kryštalizácie $-4 \text{ }^\circ\text{C}$, alebo zimnú naftu, ktorá má bod kryštalizácie -22 až $-35 \text{ }^\circ\text{C}$. [8]

3. Proces zhotovenia konštrukcie pulzného motora

Ťah produkovaný motorom pri jeho aktívnej činnosti je vzhľadom na podstatu zamýšľaných experimentov potrebné odmerať. Dôležitou časťou projektu je teda tiež vhodné a bezpečné umiestnenie pulzného motora, ktoré je zabezpečené prostredníctvom stacionárneho kovového podstavca, ktorý umožňuje pohyb motora v axiálnom smere. Digitálny silomer implementovaný do takejto konštrukcie poskytuje údaje o okamžitých hodnotách ťahu produkovaného motorom. Zhotovenú konštrukciu je možné vidieť na Obrázku 2.



Obrázok 71: Konštrukcia kovového stacionárneho podstavca. Zdroj: Autori.

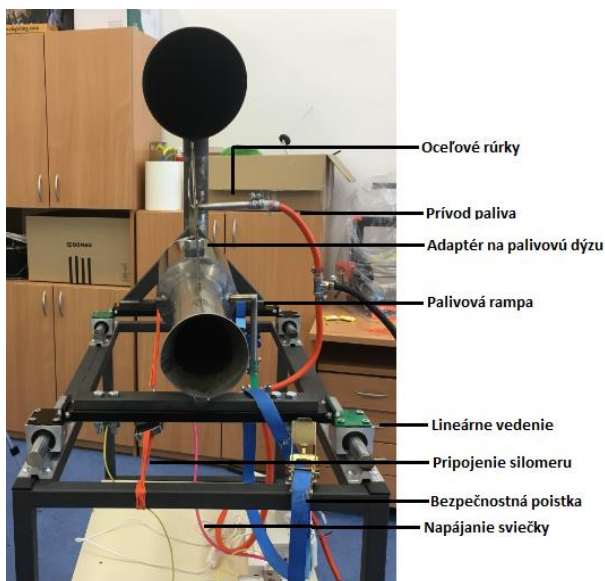
Na základe grafického návrhu bolo ďalej možné vyrezať laserom jednotlivé prvky konštrukcie pulzného motora, ktoré boli priestorovo ekonomicky rozmiestnené na plechu z nehrdzavejúcej ocele Aisi 304 s rozmermi $2 \times 1 \text{ m}$ a hrúbkou $1,5 \text{ mm}$. Materiál plechu determinuje materiál konštrukcie, z ktorého je zhotovená. Po vyrezaní prvkov z plechu bol ich tvar, ktorý definuje samotnú konštrukciu pulzného motora, ďalej prispôbostený ohýbacím tvárniacim procesom – zakružovaním, pri ktorom došlo k stočeniu plechu do valcov, a pri niektorých prvkoch konštrukcie, tiež kužeľovej formy. Ďalej bolo potrebné

vyrezané prvky konštrukcie zvarit. Na zváranie nehrdzavejúcej ocele bola zvolená metóda tavného zvárania TIG. Jedná sa o druh ručného zvárania elektrickým oblúkom, pri použití volfrámovej netaviacej sa elektródy. Prídavný materiál bol pri tomto druhu zvárania pridávaný samostatne, a to ručne zväračom. Prídavným materiálom pri zváraní prvkov konštrukcie bol SA 308L. Výsledok konštrukčného procesu je možné vidieť na Obrázku 3.



Obrázok 72: Konštrukcia bezventilového pulzného motora. Zdroj: Autori.

Na Obrázku 4 sú vyobrazené základné komponenty konštrukcie motora, ktoré zabezpečujú jeho správnu funkčnosť.



Obrázok 73: Komponenty pulzného motora. Zdroj: Autori.

4. Experimentálna fáza

Experimentálna fáza projektu zahŕňala zaznamenávanie ťahovej charakteristiky vybraných druhov pohonných hmôt v dvoch sériách meraní. Rozdiel medzi týmito sériami tvoril spôsob uchytenia silomeru a taktiež rozdiel v prietokovom množstve skúmanej pohonnej hmoty. Ďalej sme sa venovali analýze intenzity horenia skúmaných pohonných hmôt a taktiež analýze rozloženia tepla na konštrukcii pulzného motora. Po implementácii dvoch druhov senzorov bol zachytený priebeh hodnôt ťahu a teploty výfukových plynov v závislosti na čase.

4.1. Prvá séria meraní

V prvej sérii meraní bolo palivové čerpadlo nastavené na prietok 0,3031 l/10s. Silomer bol v meracej polohe uviazaný na lanách, ktoré mali dĺžku približne 90 cm a silomer fixovali pod uhlom 6°. Polohu silomeru zachytáva Obrázok 5. Na samotný štart pulzného motora bol použitý propán-bután, dopravený do spaľovacej komory pulzného motora prostredníctvom samostatnej palivovej rampy, zhotovenej na tento účel. Po úspešnom štarte bolo potrebné odstaviť prívod propán-butánu a súbežne s týmto úkonom zapnúť palivové čerpadlo, ktoré dopravilo skúmané palivo do spaľovacej komory. Týmto spôsobom sme sa vyhli ovplyvneniu výsledkov hodnôt ťahu štartovacím plynom. Za úspešné merania, ktorých výsledky sú uvedené v Tabuľke 1 sme považovali tri merania, pri ktorých bol motor v aktívnej činnosti po dobu dlhšiu ako približne 5 sekúnd, nakoľko sme pozorovali ustálenie ťahu v priemere približne do 5 sekúnd. Po každom z meraní bolo potrebné pulzný motor následne chadiť po dobu minimálne 5 minút.



Obrázok 74: Poloha silomeru – Prvá séria. Zdroj: Autori.

Prvým skúmaným palivom, bol v prvej sérii meraní letecký petrolej JET-A1. Prebehli tri úspešné merania. Priemerná hodnota ťahu z troch meraní bola 19,9 Kg (195,15 N), pri priemernej odchýlke meraní v hodnote 0,55 %. Na základe videozáznamu sme pozorovali pomerne nízku stabilitu spaľovania. Prejavila sa nepravidelnosťou chodu motora a nestálosťou plameňov objavujúcich sa vo výstupnom ústrojenstve. Plameň bledomodrej až bielej farby sa objavoval na výstupe z motora, ktorý je orientovaný bližšie k spaľovacej komore.

Ďalším palivom, ktoré bolo podrobené skúmaniu, bol bioetanol. Podobne ako pri predchádzajúcich meraniach, boli tieto taktiež úspešné na prvý pokus. Priemerná hodnota ťahu produkovaného pulzným motorom bola, pri jeho pohone na bioetanol 16,92 Kg (165,93 N), čo je približne o 14,97 % menej ako letecký petrolej JET-A1. Nižší ťah pulzného motora pri pohone na bioetanol, bol očakávaný, nakoľko jeho výhrevnosť má podstatne nižšiu hodnotu, v porovnaní s ostatnými skúmanými palivami. Pulzný motor pri pohone na bioetanol vykazoval najvyššiu stabilitu spomedzi všetkých skúmaných palív. Motor mal neprerušovaný chod, čo potvrdzuje aj najmenšia priemerná odchýlka pri meraniach uvedená v Tabuľke 1. Tá bola v porovnaní s leteckým petrolejom menšia o 0,35 %. Šírenie plameňov bolo počas aktívnej činnosti motora rovnomerné, pričom nemenili ani svoju farbu, či intenzitu, čo opäť potvrdzuje vysokú stabilitu horenia bioetanolu.

Pri experimentoch sme sa ďalej venovali benzínu N95. Úspešnosť zrealizovaných meraní bola opäť stopercentná.

Motor produkoval priemernú hodnotu ťahu pri pohone na benzín 19,76 Kg (193,78 N). Priemerná odchýlka predstavovala 1,28 %, čo mohlo iba naznačovať väčšiu nestabilitu pohonnej hmoty. Na kamerovom zázname je však možné pozorovať pomerne nerovnomerné šírenie vystupujúcich plameňov z oboch častí motora. Tiež bolo možné pozorovať prerušené spaľovanie a jeho následné samovoľné obnovenie po približne 1 sekunde. Farba plameňov bola podobná ako pri ostatných skúmaných palivách.

Pri skúmaní nafty sa nám nedopatrením nepodarilo zhotoviť kamerový záznam, no napriek tomu boli všetky tri pokusy meraní opäť úspešné. Nafta bola charakteristická pomerne dobrou stabilitou horenia. Chod motora nebol však dokonale plynulý, čo potvrdzuje aj tretia najväčšia priemerná hodnota odchýlky medzi jednotlivými meraniami spomedzi skúmaných pohonných hmôt, ktorá predstavuje 0,39 %. Po spaľovaní nafty v pulznom motore, bola prítomná výrazná dymivosť, a to najmä po odstavení motora. Dym vystupujúci z motora mal bielu farbu, čo naznačovalo nedokonalé spaľovanie pohonnej hmoty. Dôvodom mohla byť nezhorená nafta, ktorá ostala po odstavení čerpadla (ktorým sa zastavoval chod pulzného motora) v spaľovacej komore a výstupnom ústrojenstve.

Tabuľka 7: Výsledné hodnoty ťahu vybraných pohonných hmôt – Prvá séria meraní

DPH	Motorom vyprodukovaný ťah [kg]				
	M 1	M 2	M 3	PH	PO [%]
Petrolej JET-A1	19,84	19,92	19,93	19,90	0,55
Bioetanol	16,88	16,93	16,97	16,92	0,2
Benzín N95	19,38	20,10	19,80	19,76	1,28
Nafta	19,56	19,68	19,79	19,68	0,39
CELKOM					0,61

DPH – druh pohonnej hmoty

PH – priemerná hodnota

PO – priemerná odchýlka

4.2. Druhá séria meraní

Pri druhej sérii meraní bolo palivové čerpadlo nastavené na konštantný prietok 0,2626 l/10s. Hodnota prietoku pohonnej hmoty bola teda znížená o 13,36 %. Poloha silomeru bola upravená do vodorovnej meracej polohy, pričom bola tiež eliminovaná dĺžka lán.

Prvým skúmaným palivom, podrobeným trom meraniam, bol bioetanol. Pulzný motor vyznačoval opäť stabilným a neprerušovaným chodom. Tak ako tomu bolo pri všetkých skúmaných pohonných hmotách, sme aj pri bioetanle zaznamenali pokles priemernej hodnoty ťahu voči prvej sérii meraní. Plamene sa v druhej sérii vyznačovali menšou intenzitou, no farbu mali približne rovnakú. Ich stabilita však ostáva na najvyššej úrovni spomedzi skúmaných palív.

Druhým skúmaným palivom bol letecký petrolej JET-A1. Pri meraniach sme zaznamenali nižšiu priemernú hodnotu ťahu, a to o 4,92 %. Pri pozorovaní plameňov sme zaznamenali určité zmeny. Miernu zmenu farby plameňov, ktorá naznačuje o niečo

nižšiu teplotu spaľovania, je možné prisúdiť menšiemu spaľovanému objemu paliva v porovnaní s prvou sériou. Môžeme teda konštatovať, že v dôsledku zníženého prietokového množstva, bola intenzita horenia o niečo menšia, ako pri prvej sérii. Zaznamenali sme však vyššiu stabilitu horenia leteckého petroleja JET-A1.

Tretou skúmanou pohonnou hmotou bola nafta. Motor nebol pri zníženom prietokovom množstve schopný plynulého a stabilného chodu po dobu dlhšiu ako 5 sekúnd. Farba plameňov opäť aj pri nafte naznačovala zníženú teplotu horenia. Pri plameňoch bolo ďalej možné pozorovať ich prerušovaný a nerovnomerný výskyt a slabú intenzitu. Neschopnosť aktívneho chodu motora po dobu dlhšiu ako 5 sekúnd, mohla byť pravdepodobne spôsobená možnou zníženou teplotou spaľovania spolu s nižším prietokovým množstvom a teda aj pravdepodobným nižším tlakom pri spaľovaní, ktoré mali za následok predčasné a samovoľné zahášanie motora. Pulzný motor produkoval pri zníženom prietokovom množstve, v krátkych okamihoch, priemerný ťah 19,85 Kg (194,66 N), čo predstavuje o 0,9 % väčšiu hodnotu ako pri prvej sérii. Relevantnosť takýchto výsledkov však pokladáme za nedostatočnú. Biely dym šíriaci sa z výstupného ústrojenstva bolo možné pozorovať aj pri tejto sérii meraní, avšak jeho intenzita bola miernejšia.

Posledným skúmaným palivom druhej série experimentov bol benzín N95. Pri zníženom prietokovom množstve sme zaznamenali pokles priemernej hodnoty ťahu voči prvej sérii experimentov o 9,72 %. Výskyt plameňov, sa vo vzdialenejšom výstupnom ústrojenstve od spaľovacej komory, zmiernil. Stabilita horenia bola však výrazne lepšia, chod motora bol neprerušovaný a plynulý.

Tabuľka 8: Výsledné hodnoty ťahu vybraných pohonných hmôt – Prvá séria meraní

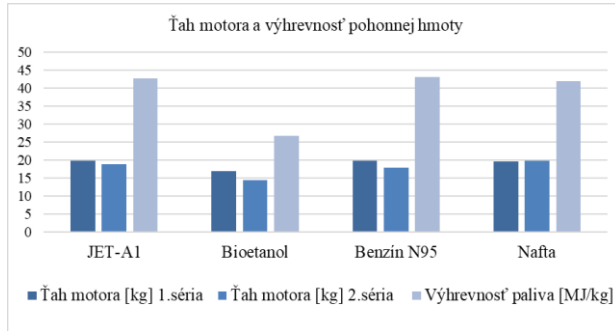
DPH	Motorom vyprodukovaný ťah [kg]				
	M 1	M 2	M 3	PH	PO [%]
Bioetanol	14,42	14,45	14,48	14,45	0,21
Petrolej JET-A1	18,80	18,95	19,01	18,92	0,42
Nafta	19,91	19,80	19,85	19,85	0,3
Benzín N95	17,98	17,80	17,75	17,84	0,5
CELKOM					0,36

DPH – druh pohonnej hmoty

PH – priemerná hodnota

PO – priemerná odchýlka

4.3. Porovnanie výsledkov meraní ťahu z dvoch sérií



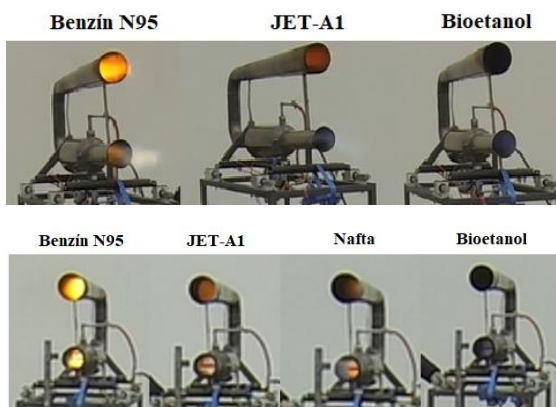
Graf 4: Ťah pulzného motora pri rôznom prietokovom množstve v súvislosti s výhrevnosťou

Graf 1 graficky znázorňuje súvislosť vyprodukovaného ťahu s nastavením prietokového množstva. Je možné konštatovať, že pulzný motor produkoval nižší ťah v prípadoch druhej série, kedy bolo palivové čerpadlo nastavené na menší prietok. A to v prípade benzínu N95 leteckého petroleju JET-A1 a bioetanolu. Pri nafta sme však zaznamenali pri menšom prietokovom množstve mierne zvýšený ťah, avšak takýto výsledok nepokladáme za dostatočne relevantný.

Pulzný motor produkoval najnižší ťah pri pohone na bioetanol. Na Grafe 1 je možné pozorovať, že bioetanol sa vyznačuje spomedzi všetkých skúmaných pohonných hmôt, najnižšou výhrevnosťou. Naopak, benzín N95 a letecký petrolej majú podobné hodnoty výhrevnosti, ktoré sú zároveň vyššie ako pri bioetanole. Pulzný motor pri pohone tými troma palivami vyprodukoval vyššie hodnoty ťahu. Môžeme teda konštatovať, že čím vyššia je výhrevnosť skúmanej pohonnej hmoty, tým väčšie hodnoty ťahu môžeme očakávať pri pohone motora touto pohonnou hmotou.

4.4. Intenzita horenia skúmaných pohonných hmôt

Vďaka kamerovému záznamu, zhotovenému pri experimentoch, je možné pohonné hmoty medzi sebou porovnať aj z pohľadu intenzity ich horenia v pulznom motore.



Obrázok 75: Intenzita horenia. Zdroj: Autori.

Prvá séria (na Obrázku 7 vyššie) je charakteristická vyšším prietokovým množstvom a teda aj vyššou intenzitou horenia pohonných hmôt. Najväčšou intenzitou horenia sa v oboch sériách vyznačoval benzín N95. Ako jeden z dôvodov je možné uviesť, že táto pohonná hmota má najväčšiu hodnotu

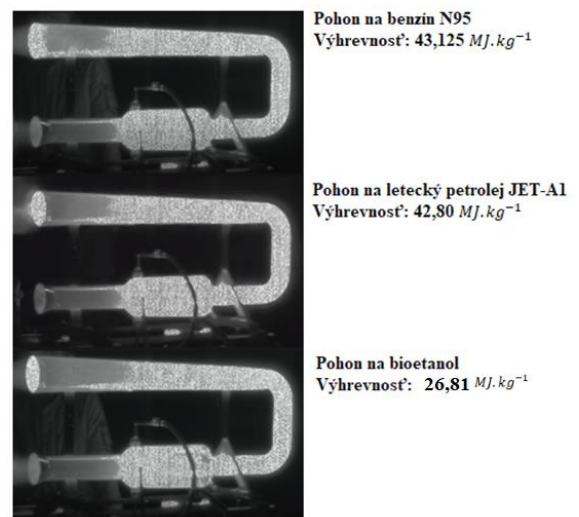
výhrevnosti spomedzi skúmaných pohonných hmôt. V rovnakej súvislosti môžeme konštatovať, že letecký petrolej má druhú najväčšiu intenzitu horenia, nafta tretiu a bioetanol štvrtú.

4.5. Analýza rozloženia tepla na konštrukcii pulzného motora

Pri druhej sérii meraní bol zhotovený aj termovízny kamerový záznam. Pri skúmaní týchto fotografií je možné pozorovať, že teplo sa vo všetkých prípadoch šírilo od prednej časti spaľovacej komory, v dôsledku spaľovania pohonných hmôt v tomto mieste. Teplo sa ďalej šírilo do zadnej časti pulzného motora. Je tiež možné pozorovať, že plocha pôsobenia tepla zasahovala, vo veľkej miere, do výstupného ústrojenstva vzdialenejšieho od spaľovacej komory.

Pri sledovaní termovízneho kamerového záznamu je ďalej možné pozorovať šírenie tepla na konštrukcii, v súvislosti s princípom fungovania bezventilového pulzného motora typu „Lockwood“. Najintenzívnejšie zahriate miesta sú totiž také, v ktorých sa horiace plyny pri procese cyklického chodu motora vyskytujú s najvyššou frekvenciou.

Pri analýze rozloženia tepla na konštrukcii motora je možné taktiež pozorovať súvislosť intenzity zahrievania konštrukcie s tepelnou výhrevnosťou jednotlivých skúmaných pohonných hmôt. Logickú súvislosť medzi tepelnou výhrevnosťou pohonnej hmoty a zahrievaním konštrukcie motora je možné pozorovať na Obrázku 8. Na tomto obrázku sa nenachádza vyobrazený pulzný motor pri pohone naftou, nakoľko jeho termovízna fotografia nie je relevantná, vzhľadom na jeho krátky čas chodu pri pohone na túto pohonnú hmotu.

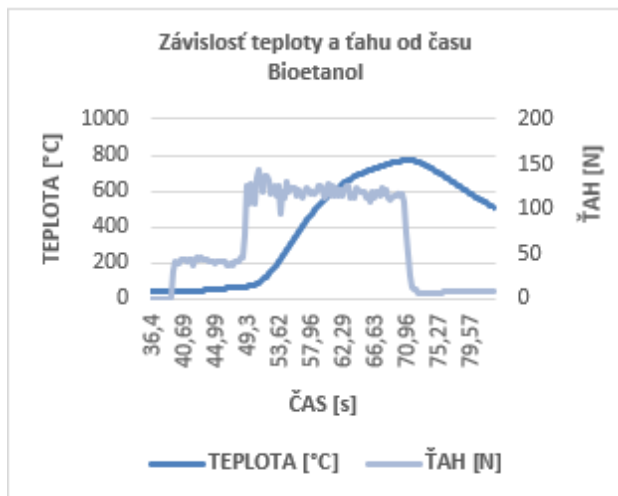


Obrázok 76: Termovízne zábery. Zdroj: Autori.

4.6. Implementácia senzorov

Na nasledujúcom Grafe 2 je možné pozorovať priebeh hodnôt ťahu a teploty výfukových plynov pri pohone motora na bioetanol. Graf 2 vznikol na základe nameraných hodnôt prostredníctvom tenzometrického senzora a termočlánku. Podobné grafy boli zhotovené aj pre ostatné skúmané palivá,

avšak vzhľadom na rozsah určený pre tento príspevok, je uvedený len vzorový príklad.



Graf 5: Závislosť teploty výfukových plynov a ťahu na čase

5. Záver

Cieľom experimentálnej časti projektu bolo v prvom kroku overiť, či je zostrojený pulzný motor schopný produkovať ťah pri pohone viacerými druhmi pohonných hmôt. Pri experimentoch boli použité palivá bioetanol, letecký petrolej JET-A1, benzín N95 a nafta. Pulzný motor produkoval ťah pri všetkých skúmaných pohonných hmotách, pričom bolo možné, pri ich skúmaní, pozorovať určité hodnotové odchýlky ťahu, no tiež stability, či intenzity horenia. Každá, z dvoch sérií meraní bola charakteristická rozdielnym prietokovým množstvom skúmanej pohonnej hmoty.

Pri prvej sérii meraní, bolo palivové čerpadlo nastavené na jeho maximálny výkon, čo spôsobovalo, že motor produkoval vyššie hodnoty ťahu a vykazoval vyššiu intenzitu horenia v porovnaní s druhou sériou. Táto séria priniesla výsledky v podobe hodnôt ťahu pulzného motora, pričom najvyššiu hodnotu ťahu sme zaznamenali pri pohone motora na letecký petrolej JET-A1. Stabilita horenia skúmaných pohonných hmôt dosahovala len nedokonalú úroveň, vynímajúc bioetanol, pri ktorom motor vykazoval značnú stabilitu spaľovania v oboch sériách.

V druhej sérii meraní bolo palivové čerpadlo nastavené na znížený výkon, ktorý bol v porovnaní s prvou sériou menší o 13,36 %. Výsledky meraní naznačujú, že motor dosiahol najvyššiu hodnotu vyprodukovaného ťahu pri jeho pohone na naftu. Avšak pri naftu sme taktiež zaznamenali výraznú nestabilitu horenia pri zníženom prietokovom množstve, a tak sme nepokladali tieto výsledky za dostatočne relevantné. Vysokú stabilitu horenia a druhú najvyššiu hodnotu ťahu sme zaznamenali pre letecký petrolej JET-A1. Obe sérii meraní nám priniesli poznatky o súvislosti výhrevnosti skúmaných pohonných hmôt a nameranými hodnotami ťahu. Na základe kamerového záznamu zhotoveného pri oboch sériách meraní, bol tiež v projekte zhotovený rozbor intenzity horenia skúmaných pohonných hmôt, pri ktorom bola opäť naznačená súvislosť medzi intenzitou horenia a výhrevnosťou skúmaných pohonných hmôt. V druhej sérii meraní, sme sa zamerali aj na analýzu rozloženia tepla na konštrukcii pulzného motora pri pohone jednotlivými skúmanými pohonnými hmotami. Analýza

priniesla poznatky o smere šírenia tepla, no na základe tejto analýzy bolo tiež možné pozorovať súvislosť zahrievania konštrukcie s princípom fungovania bezventilového pulzného motora a výraznú súvislosť šírenia tepla s výhrevnosťou skúmanej pohonnej hmoty. Implementácia dvoch senzorov do meracej sústavy motora, sprostredkovala pohľad na priebeh hodnôt ťahu pulzného motora a teploty jeho výfukových plynov, pri jeho pohone na rôzne druhy skúmaných pohonných hmôt. Sensory zároveň prispievajú k jednoduchosti meracieho procesu a prinášajú možnosť namerané dáta ukladať do pamätí elektronických zariadení.

Referencie

- [1] KŘÍŽ, J. 2004. *Lietadlové pohonné jednotky*. Žilina: Vydavateľstvo ŽU, 2004. 264 s. ISBN 80-8070-342-6.
- [2] KUSSIOR, Z. 2002. *Letecké motory*. In *Letecké motory*. [Online] 2002 [cit. 2020-08-15]. Dostupné na internete: <<http://www.leteckemotory.cz/teorie/teorie-01.php>.>
- [3] DIXIT, M. A. – ABHISHEK, S. G. – KUMAR, G. S. – YADAV, G. S. August 2012. *Experimental Studies on a Valveless Twin Pulsejet Engine*. In *Research Gate*. [Online] 2012. [cit. 2020-10-09]. Dostupné na internete: <https://www.researchgate.net/publication/320311248_Experimental_Studies_on_a_Twin_valveless_Pulsejet_Engine.>
- [4] MELO, A. – BROJÓ, F. November 2019. *Influence of Fuel on a Valveless Pulsejet Engine Performance and Pollutant Emissions*. In *Research Gate*. [Online] 2019. [cit. 2020-10-15]. Dostupné na internete: <https://www.researchgate.net/publication/338732689_Influence_of_Fuel_on_a_Valveless_Pulsejet_Engine_Performance_and_Pollutant_Emissions.>
- [5] *Letecký petrolej JET A1*. 19. Január 2017. *Slovnaft* [Online]. 2017. [cit. 2020-11-16]. Dostupné na internete: <<https://slovnaft.sk/sk/velkoobchod/vyroby/pohonne-hmoty/letecky-petrolej/>.>
- [6] *Bioetanol*. *Enviengroup*. [Online] [cit. 2020-15-2] Dostupné na internete: <<https://www.enviengroup.eu/sk/produkty/bioetanol>>
- [7] *Bioetanol – Karta bezpečnostných údajov*. 1. December 2010. *Enviral*
- [8] ADAMEC, J. – HANUS, D. – KOCÁB, J. – MARŠÁLEK, J. – TŘETINA, K. 2006. *Pohonná jednotka*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-7204-477-X

ASSESSMENT OF AIRCRAFT COATING RESISTANCE TO LIGHTNING STRIKES

ANALÝZA VPLYVU ZÁSAHU BLESKU NA RÔZNE TYPY LETECKÝCH NÁTERO

Matúš Sudin
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
matus.sudin@gmail.com

Pavol Pecho
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
pavol.pecho@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper evaluates the damage caused by lightning strikes on various types of aircraft coatings, the extent of the damage and the evaluation of technical and economic factors. The aim of the work is to evaluate and compare the damage after lightning strikes on metallic and non-metallic coatings of aircraft and to find out which coatings are more advantageous from a technical and economic point of view for use in practice. In the introductory part, the work describes the current state, the coating of aircraft, their function and application and the phenomenon when the aircraft is struck by lightning. Subsequently, the work deals with selected coatings and briefly describes them. The main part describes all parts of the performed experiment, samples and technical equipment used for the experiment and compares the damage on selected types of coatings. The last part of the work deals with the evaluation of results, based on which it evaluates the technical and economic advantages and disadvantages.

Keywords

Aircraft coatings. Lightning strikes. Lightning damage. Metallic coatings. Non-metallic coatings.

1. Introduction

The meteorological incident known as the lightning strike is one of the common meteorological hazards which can damage the airplane. After a lightning strike the airplane can possibly be damaged in many ways. Damage taken by a lightning strike can impair the coating to electrical systems of an airplane.

2. The current state analysis

As we mentioned in introduction the main idea came from Job Air Technic a.s. in Ostrava. They came with thought, that different types of aircraft coatings, especially metallic ones which are used mostly in eastern Europe are much more reactive with lightning strikes. Lightning strikes are generally known in aviation and they are commonly accompanying weather phenomenon. So, based on this knowledge we can ask a few questions as where and with what probability we can be hit by lightning strike.

2.1. Lightning strikes

Lightning strikes are not something unusual in aviation, but it can also affect airline operations and cause delays and interruptions of flights. It is something common in aviation to be hit by lightning strike, but it rarely has a significant impact to the safe operation of the airplane. Aircraft maintenance personnel must be familiar with repair procedures to be quick, cautious, and effective to avoid delays or shorten the time during these

procedures.

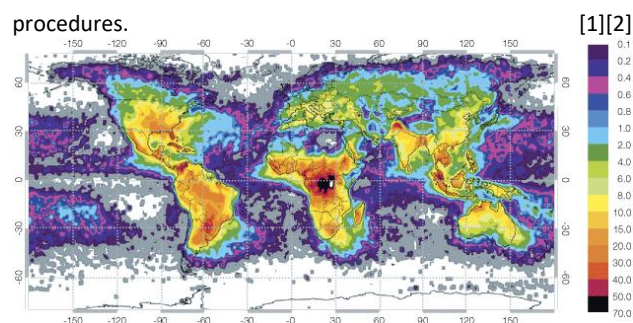


Figure 1: Lightning Observations for April 1995 through February 2003.
Source: [1].

2.2. Coatings

The paint manufacturers are using different structure of paint which depends on altitude, pollution, and environment. It's important to use the best possible structure of paint in aviation.

There are a few conditions to choose aviation paint. It must have chemical resistance formula that resist hydraulic fluid, oil, and jet fuel. It's important to use the same brand of painting when you do your etching, primer, reducers, and topcoat. Mixing brands is so risky and you have to be prudent and don't use cheap paints. Also, you need to follow manufacture guidelines and read the material sheet before u use aircraft paint. [2][3]

The most common paint is single stage polyurethane paint which is like liquid plastic. We know three types of polyurethane paint:

- Water-based

- Oil-based
- Oil modified water based

For better and longer lasting paint, you should use the brand new and non-expired paint cans. You can notice a skin or film formed on the primer or paint in an opened container/can. In this case you are supposed to completely remove the film from top before you going to mix it and use it. The old or expired paint is dangerous to use because it becomes too thick or jelled. In this case, the paint is applied unevenly and will not have the right effect, which may also emphasize the aerodynamics of the aircraft. [2][3]

Air paint manufacturers are trying the best to create air paint which will fulfil these following points:

- Increased paint life
- Increase surface smoothness
- Corrosion protection
- Decrease adherence of dirt and other contaminants
- Decrease drag and reduce fuel consumption

2.3. Why are airplanes painted with aerospace coatings?

Aerospace coating has many pseudonyms in aviation, for example it is also known as aircraft coating, aviation coating or aircraft paint. Specific aviation paints are used by the aircraft's manufacturing, repair, and maintenance personnel to prolong the life of the plane's surfaces. Advanced aircraft coatings can be applied to jets, planes, helicopters, and many other planes to improve their appearance and prevent them against corrosion.

The aircraft paint must withstand harsh operating conditions and can be applied to both the outer and internal surfaces of the airplane. To protect an airplane's surface from severe weather, improve dirt resistance, and reduce drag, it needs an effective and high-quality coating. Coatings are in high demand in the aerospace industry these days, owing to the rapid changes in the climate. According to a report published by Research Dive, the global aerospace coatings market is expected to expand at a CAGR of 5.5 percent in the coming years.

2.4. Covid-19 and aircraft corrosion prevention

Although several planes are grounded due to the COVID-19 pandemic's lockdown, aerospace coating manufacturers are assisting aircraft repair departments by providing temporary and protective airplane coatings. Environmentally friendly materials like Z6160 and Z6148 peelable temporary protective paints aid in aircraft protection. When the airline services are ready to resume operation following the COVID-19 pandemic, these items can be easily withdrawn. These coatings have a low VOC content and are waterborne, so they can be applied without the use of a paint hangar. The peelable paint is applied directly to the skin of the inlet lip or over the fuselage livery. If it is stored indoors or outdoors, this paint is waterproof, as well as light and heat resistant, and can protect the plane for up to a year. When it is time to put the plane back into service, the paint can be stripped away, leaving the original paint and exteriors intact.

3. Properties analysis of selected aircraft coatings

Experiment was done with 24 samples on aircraft material plates. First 15 samples are combination of 3 lower paints and 5 upper paints, next 9 are combination of that 3 lower coatings and 3 upper coatings, which we simulated metallic paint not used in aviation.

3.1. Non-metallic coating

In cooperation with ATB Bratislava, we were able to get 15 samples of aircraft samples from aircraft material with original lower paint and upper paint. Lower paints are real basic paint for three types of planes as Dash, Fokker and Embraer. For Dash is used Aerowave 2001-Primer, for Fokker it is PR143-KBHU and the last is Embraer with 10P20-44MNF. On each one we have five upper paints starts with CA8000-BO7067 Kahm-white, AVIOX 77702 041537 white FSB17875, ARC-Abrasion resistant 23+3-105, CA8800-P064C-Kaho-blue and last one Eclipse 080775 red Bac 1023.

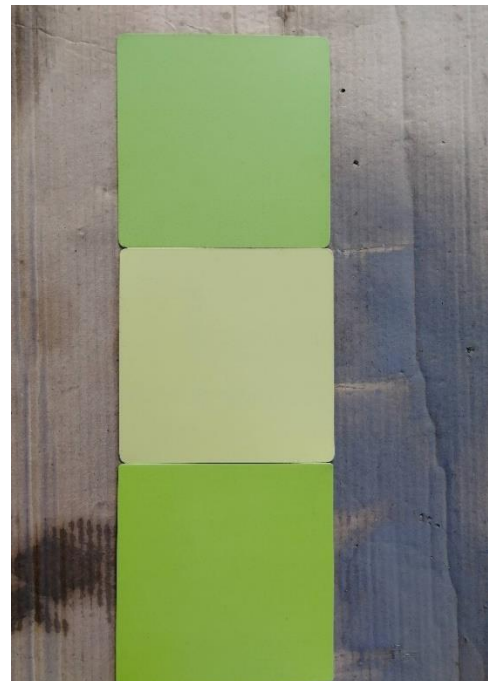


Figure 2: Three bottom primers from ATB. Source: Authors.

3.2. Metallic coating

As was mentioned, for experiment was used non-aviation paint for this type of coating, but we tried to simulate it on paints which are free to buy in stores. On Figure 3 are the samples of metallic spray colors. They are usually used in homes or they are used for covering damaged parts on cars or motorcycles. For experiment was chosen two Primalex samples, but one is glossy and the second one is matte. Last one is Decocolor which is glossier than color from Primalex.



Figure 3: Upper metallic coatings sprays. Source: Authors.



Figure 4: Metallic and non-metallic coating samples. Source: Authors.

4. Experimental verification analysis of lightning strikes on selected aircraft coatings

Experimental part of the work took place in Slovak technical university in Bratislava. The measurements were provided in setup shown in Figure 4, the electrode configuration is shown in Figure 5 while Figure 6 captures electrodes in detail with dimensions. The air gap above tested sample was set to 50 mm. The small gap shown between the steel gauge (serial no. C0298) and the tip electrode in Figure 5 is the thickness of tested sample.

As the source of lightning impulse, a symmetrical 10-stage impulse generator with the maximum output voltage of 2500 kV_{max} was used with total energy of 100 kJ from TuR Dresden (serial no: 0-1656). During the experiment only two stages of

impulse generator were connected. For measuring purposes an impulse voltage divider from Haefely-Trench RCR 400 (serial no. 554381-2), digital measuring instrument DMI 551 (serial no. 081 393-03), digital oscilloscope Tektronix TDS3052C (serial no. TDS3052C C011754) and a notebook computer with Tektronix SignalExpert software installed were used.

To every sample a set of 10 negative lightning impulses with shape of 1,2 / 50 μs at maximum voltage level of 100 kV_{max} were applied.

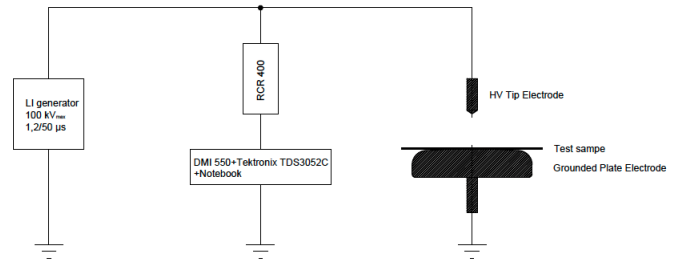


Figure 5: Wiring diagram. Source: Authors.



Figure 6: Workplace view. Source: Authors.

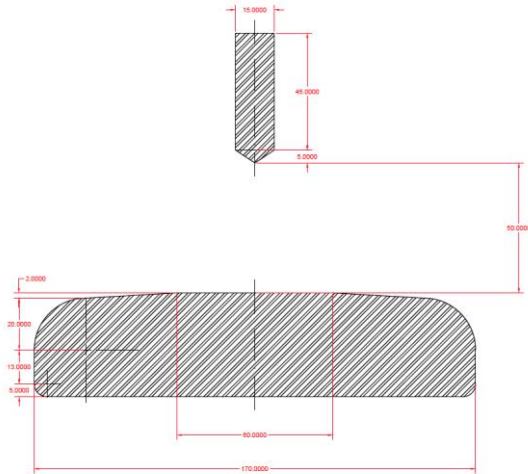


Figure 7: Electrodes in detail. Source: Authors.

4.1. Experiment

Each sample was hit 10 times. In a few samples it was necessary to repeat the discharge, because some of them did not hit the sample. On fifteen non-metallic samples we have made 154 discharges with four times when the discharge did not break through the sample. On the metallic coating samples were made 97 discharges but seven of them did not breakthrough. These seven shots which didn't make a breakthrough. There are at least three reasons why it is like this. First one is, that the metallic samples what we got are smaller, so the square area is smaller too. Second, the metallic base is not attracting electrical discharge at high intensity. And the last one is just mechanical error, like fatigue of generator, longer charging between discharges.

4.2. Non-metallic samples

Experimental part of non-metallic samples was as predicted. There was not too much damage on the samples, just a little hole after discharge shots. Damage taken was observable by an eye, but we could not see some big range of it. On every sample was shoot ten discharges with small area range. Obviously, it was because of conductive tip which aim discharges to the center of sample. After few shots on first ten samples, we could see just around eight shots landed.

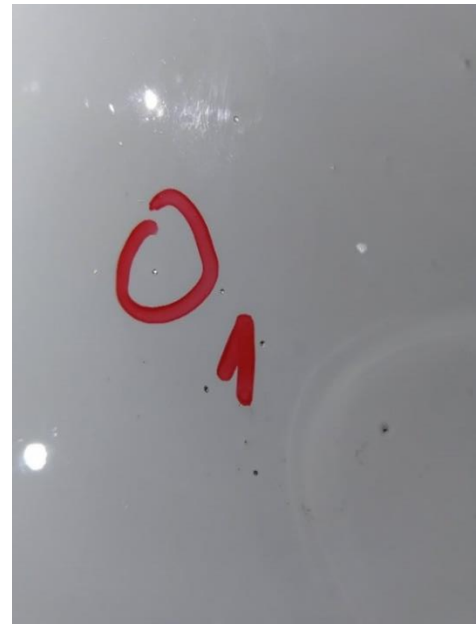


Figure 8: First sample after being hit by discharge. Source: Authors.

4.3. Metallic samples

The metallic parts were a lot of different. Discharge strength was still same as on non-metallic about 100kV. On the first sign we can observe a different between metallic and non-metallic samples.



Figure 9 Metallic Primalex gloss coating on PR143-KBHU before and after hit by discharge. Source: Authors.

4.4. Microscope observation

Second part of experiment was made in the place of University of Žilina in science park, where was used an electronic microscope to observe how large impact the discharges had made.

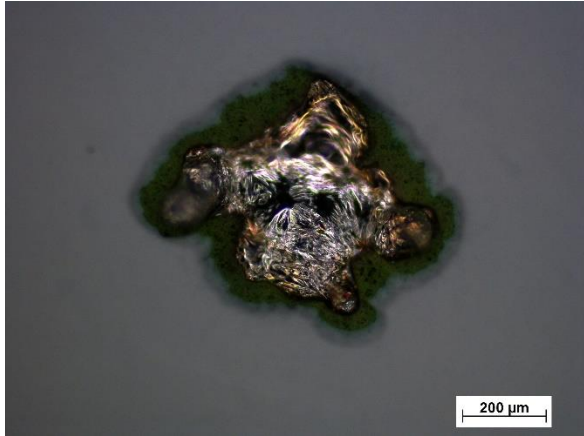


Figure 10: Microscopic view of crater in CA8000 Abrasion, non-metallic coating. Source: Authors.

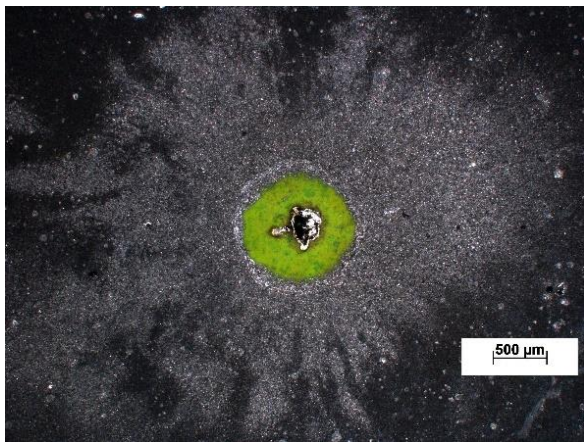


Figure 11: Microscopic view of craters on metallic coating Primalex gloss on Aerowave2001. Source: Authors.

4.5. Summary of comparison

Measured were the parameters of three different types of damage. These parameters are maximal inner crater diameter, maximal diameter of area range damage and maximal diameter of burned damage near crater

Table 1 Dimensions of damage parts. Source: Authors.

	Inner crater Diameter (μm max)	Area range damage (μm max)	Burned damage near crater (μm max)
Aviox 77702/10P20-44MNF	347,8	0	86,95
Primalex gloss/AW2001	416,6	2222,2	711
ARC-Abrasion/AW2001	652,7	388,8	41,7

Deco-color/AW2001	555,5	1250	416,6
CA8800-P064C/AW2001	458,3	486,1	69,4
Primalex gloss/PR143-KBHU	277,7	2222,2	638,8
Eclipse red/AW2001	416,6	208,33	111,1
Primalex matte/PR143-KBHU	375	2500	347,2

[Source: Authors]

In this table are the measurements of three parameters. There were chosen the aircraft coatings from comparison we made in chapter before. In the Table 1 the inner crater diameter has not big differences after lightning strike. Biggest differences are in area range damage and burned damage near crater. Aircraft coatings with metallic based structure have the area range damage from 1250 μm to 2500 μm. this area damage is much bigger than area damage on non-metallic based coatings. Burned damage near crater means the closer area to crater where was the upper aircraft coating burned up to the base primer. The best results have the non-metallic base coatings where was the diameter in range from 41 μm to 111,1 μm. Maximal diameter in metallic base coatings was in range from 347,2 μm to 638,8 μm, what is three and more times bigger damage.

5. Technical and economic evaluation

From a technical point of view, we now know that metallic kind of coating is much more reactive to lightning strike as metallic ones. There are many times larger damages taken by lightning. As we say in the beginning, we were just simulated the lightning strike with 100kV strong discharges. The strength of the lightning strike is about 300 million volts what is impossible to create just for experiment. By knowing this fact, we can make a statement that real damage after lightning strike will make more than 3 000 times bigger damage at all. On the Figure 4 we could see the real damage after lightning strike. Based on these facts, we can say that repairing the damage after lightning is really hard. Figure 4 is damage taken on the non-metallic base. If we compare the damage taken by ourselves on metallic and non-metallic samples the damage to metallic ones is going to be a much greater extend. The short, light maintenance is able to fix this damage, but from the technical point of view is going to be much harder and it is going to take much more time. Therefore, from this point of view is better to cover the planes with coating that do not contain overmuch metallic material in it. As we can see on the non-metallic coatings, there is for sure damage taken by lightning strike, but it is not going to take that much time as in maintenance on metallic coatings. The non-metallic coatings are going to save a time, material, and manpower to fix the damage after lightning strike.

From economic point of view there are just few evaluations. In economic way we are looking mostly on a price. The results

shown in our experiment tell us that damage taken by lightning strike on metallic samples is huge. That means the cost of repair is going to be much higher because of too many costs. One of the important factors is time. According to a well-known aviation statement, an airplane standing on the ground does not make money. Just planes in the sky make money, so it means that the longer the aircraft spends time with repairs in the hangar it is lossy. Repair time in this type of damage can be longer because of higher range of damage. There are also extreme cases where it is necessary to replace the entire damaged part of the aircraft. This type of repair can be the most valuable because the significant damaged part needs to be ordered, delivered, prepared for applying the coating and this process take a long time and as we said before, the time which airplane spends on the ground is the most valued factor of all.

6. Conclusion

The idea of this paper came from practice work in Jobair a.s. Ostrava. During the maintenance, they noticed a difference in damage taken by a lightning strike on different kinds of coatings. The main aim of this paper was to find out whether it is true that different types of coatings could suffer different types of damage.

The result and evaluation from this paper are that metallic-based coatings are damaged more than non-metallic-based coatings. We proved that damage taken on metallic-based coatings have a bigger impact than on non-metallic ones. This means that damage taken on metallic-based coatings needs more time and material to be fixed. Maintenance on this type of damage is more expensive which is not good from an economical point of view. Therefore, we propose using less metallic-based coatings to prevent aviation organizations from higher charges on maintenance. Based on the results from our paper it is much better to use non-metallic-based coatings to prevent the high risk of damage taken by a lightning strike. By using the non-metallic-based coatings, we could save more time and finances that have to be used for repairs and also prevent catastrophic consequences.

Acknowledgement

This work was supported under the project of Operational Programme Integrated Infrastructure: Research and development of contactless methods for obtaining geospatial data for forest monitoring to improve forest management and enhance forest protection, ITMS code 313011V465. The project is co-funding by European Regional Development Fund.

Bibliography

- [1] SWEERS, G.-BIRCH, B.-GOKCEN, J. 2012. Lightning Strikes: Protection, inspection and repair [26.1.2021]. [Online] https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2012_q4/4/
- [2] TAIT, Z. 2016. What is aircraft paint and is there any difference than others? [26.1.2021] [Online] <https://medium.com/@vertinc/what-is-aircraft-paint-and-is-there-any-difference-than-others-9e78b2b502af>
- [3] 2016. Surface Coatings and Drag Reduction [27.1.2021] [Online]

https://www.skybrary.aero/index.php/Surface_Coatings_and_Drag_Reduction

- [4] PRINCY, A.J. 2020. Painting of Aircrafts with Aerospace Coatings is Essential, Here's why [28.1.2021] [Online] <https://www.researchdive.com/blog/painting-of-aircrafts-with-aerospace-coatings-is-essential-heres-why>
- [5] ZUEHLKE, B. 2009 Aircraft Coatings-New technologies in coatings and equipment [8.4.2021] [Online] <https://www.aviationpros.com/home/article/10374874/aircraft-coatings>

REGULATORY FRAMEWORK FOR CIVIL AVIATION BETWEEN THE EU AND THE UK AFTER BREXIT

REGULAČNÝ RÁMEC V OBLASTI CIVILNEJ LETECKEJ DOPRAVY MEDZI EÚ A VEĽKOU BRITÁNIU PO BREXITE

Maroš Vereš
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
veres18@stud.uniza.sk

Anna Tomová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
anna.tomova@fpedas.uniza.sk

Abstract

This paper deals with the topic of Brexit, and its objective is a complex description of the new regulatory framework of civil air transport in United Kingdom. The methods like description, analysis and synpoper were applied on extensive and diverse sources of information, e.g. case laws, regulations, studies or expert articles. The paper introduces a comprehensive set of facts that clarify the act of withdrawal of the United Kingdom from the European Union. The explanation of the new regulatory framework of civil air transport for the United Kingdom, and its impact on the United Kingdom and the European Union, brings contribution to the students of Department of Air Transport. The significance of the work is mainly in the timeliness of the topic, that could subsequently be used as an educational material in the field of air transport within the international economic relations.

Keywords

Brexit, Air transport, Agreement

1. Úvod

V Spojenom kráľovstve sa 23. júna 2016 konalo referendum o vystúpení krajiny z Európskej únie. Nadpolovičná väčšina právoplatných voličov v tomto referende rozhodla, že si želajú, aby Spojené kráľovstvo opustilo Európsku úniu. [1]

Letecká doprava je jedným z odvetví, ktoré bolo najviac ohrozené následkami vystúpenia Spojeného kráľovstva z Európskej únie. Bolo tak hlavne z dôvodu, že služby leteckej dopravy, vrátane práv na leteckú dopravu, sú vylúčené zo Všeobecnej dohody o obchode so službami (GATS), čo znamená, že pri absencii post-brexit dohody medzi zastúpenými stranami by neexistoval žiadny záchranný právny rámec. Letecké spoločnosti Spojeného kráľovstva sa preto celú dobu, počas ktorej prebiehali rokovania o bilaterálnych dohodách, ktoré mali určiť nasledujúci rámec vzťahov, spoliehali na pohotovostné právne predpisy. Tie boli zverejnené v marci 2019 a obsahovali len strohý právny rámec pre zabezpečenie základnej konektivity medzi zastúpenými stranami.

Tento článok sa zameriava na najnovšie právne predpisy, ktoré sa stanovili v dohode o obchode a spolupráci medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou 24. decembra 2020. Jeho úlohou je nový právny rámec definovať, analyzovať a zhodnotiť uskutočnené zmeny. Význam tejto témy spočíva v analýze situácie nezvyčajnej pre moderný svet, ktorá prináša odčlenenie významného partnera z integračného zoskupenia postaveného na princípoch demokracie, jednotného trhu a právneho štátu. Skutočnosti popísané v jednotlivých kapitolách objasňujú problematiku aktu vystúpenia z Európskej únie a prinášajú

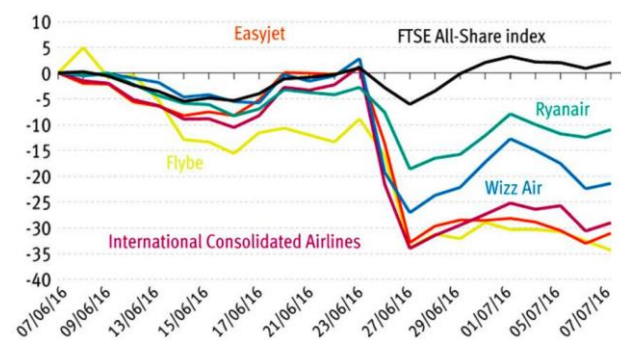
ucelený obraz o právnom rámci leteckej dopravy Spojeného kráľovstva pred brexitom, počas brexitu a po brexite.

2. Spojené kráľovstvo počas prexitu

Hlasovanie Spojeného kráľovstva o vystúpení z Európskej únie viedlo k okamžitým politickým a hospodárskym dôsledkom pre Spojené kráľovstvo. Medzi pozorovateľné dôsledky patrila napríklad zmena konzervatívneho predsedu vlády, alebo prudký pokles hodnoty libry voči iným menám a podrobnosti o budúcich vzťahoch Spojeného kráľovstva s Európskou úniou boli nejasné. Zatiaľ čo premiérka Theresa Mayová oznámila zámer zahájiť rokovania o vystúpení Spojeného kráľovstva z Európskej únie formálnym odvolaním sa na článok 50 Lisabonskej zmluvy do konca marca 2017, jej priority alebo stratégie pri rokovaníach neboli nijako jasne naznačené. Pre mnohé nejasnosti bolo potrebné uvažovať so širokým spektrom scenárov pre Spojené kráľovstvo, od úzkych budúcich vzťahov s Úniou, vrátane členstva v Európskom hospodárskom priestore a Európskom združení voľného obchodu (súčasný postavenie Nórska), až po situáciu bez obchodnej dohody medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou, čo by predstavovalo výsledok označovaný ako „tvrdý brexit“. [2]

Dopad brexitu na letecký priemysel bol rovnako nejasný, ako dopad na ostatné sektory silno previazané na trh Európskej únie. Pred referendom niekoľko popredných leteckých spoločností vyjadrilo svoju podporu členstvu Spojeného kráľovstva v Európskej únii, pričom poukázali na slobodu lietať po celej Európe, ktorá je podľa nich základ moderného leteckého cestovania s nízkymi cenami a taktiež poukázali na tlmiači

účinnosť, ktorý prinesie neistota na dopyt po týchto službách. Súbežne s výsledkami referenda došlo k okamžitému a dlhodobému vplyvu na cenu akcií popredných európskych leteckých spoločností. Napríklad spoločnosť International Consolidated Airlines Group (IAG), skupina pozostávajúca z British Airways, Iberia a Aer Lingus, zaznamenala okamžitý pokles cien akcií o takmer 35%. Podobný vplyv na cenu akcií zaznamenali nie len významné letecké spoločnosti pôsobiace v Spojenom kráľovstve, ale aj letecké spoločnosti Únie, ako napríklad Air France-KLM a Lufthansa. [2]



Graf 1: Vplyv referenda o vystúpení Spojeného kráľovstva z Európskej únie na akcie popredných leteckých spoločností pôsobiacich na území UK. Zdroj: [2].

2.1. Očakávaný dopad na cestovanie

Pokiaľ ide o transatlantické cestovanie, podľa predpokladov globálnej právnickej spoločnosti Norton Rose Fulbright, v kontexte „tvrdého brexitu“ by malo Spojené kráľovstvo možnosť usilovať sa o obnovenie protekcionistického postoja voči Európskej únii, ktorý prevládal v čase predchádzajúcej dohody s USA, *Bermuda II*. To by malo za následok obmedzenie prevádzkových práv na lietanie medzi Spojeným kráľovstvom a Spojenými štátmi americkými na určitých národných dopravcov Únie. Podľa štúdie bolo taktiež otázne, či by v takomto prípade letisko Heathrow bolo aj naďalej atraktívnou voľbou v pozícií uzlového letiska pre transatlantické lety. Rovnaký postoj zaujala Andrea Brezonáková a Benedikt Badánik v práci pod záštitou Katedry leteckej dopravy Žilinskej univerzity v Žiline. Zastávali názor, že v prípade tvrdého brexitu bude potrebné prehodnotiť open skies dohodu medzi Európskou úniou a Spojenými štátmi americkými, ktorej sa zúčastnilo aj Spojené kráľovstvo, pretože predstavuje jednu z paneurópskych dohôd. To mohlo byť škodlivé pre londýnske letisko Heathrow, ktoré zabezpečuje 40% všetkých transatlantických letov. Nevýhody by sa podľa nich mohli prejavíť aj v celom reťazci logistických spoločností, ak by brexit povedol k vylúčeniu Spojeného kráľovstva z tejto dohody a letecké spoločnosti Spojeného kráľovstva by stratili príležitosť ponúkať služby leteckej dopravy v rámci členských štátov Európskej únie. [2] [3]

Pokiaľ by nastali obmedzenia slobody lietania medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou, právnická spoločnosť Norton Rose Fulbright odhadovala dramatický dopad na občanov Spojeného kráľovstva, ale aj na obchod medzi Spojeným kráľovstvom a Úniou. Tento scenár ale považovali za nepravdepodobný vzhľadom na všeobecne liberalizovaný prístup k právam v leteckej doprave medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou v posledných rokoch. Mysleli si, že najefektívnejším spôsobom, ako by si Spojené kráľovstvo mohlo zachovať prístup na trh leteckej dopravy v Európskej únii

po brexite, je pripojiť sa k ECAA. Dohoda o ECAA však vyžaduje, aby uchádzač o členstvo v ECAA:

- dozriavala právne predpisy Európskej únie v oblasti letectva;
- vytvoril rámec úzkej hospodárskej spolupráce, alebo uzatvoril „dohodu o pridružení“ k Európskej únii.

Aj keby Spojené kráľovstvo spĺňalo tieto požiadavky, všetci súčasní signatári dohody o ECAA by museli na túto požiadavku pristúpiť. To by podľa spoločnosti Norton Rose Fulbright vystavilo Spojené kráľovstvo riziku, že ostatné členské štáty ECAA uvidia príležitosť vylúčiť z Európskej únie konkurenčné nízkonákladové letecké spoločnosti Spojeného kráľovstva. Na druhej strane, Spojené kráľovstvo malo najväčší podiel na osobnej leteckej doprave zo všetkých členských štátov Únie, a takýto krok by európskym dopravcom obmedzil prístup k dôležitému trhu. [2]

3. Nový regulačný rámec pre civilné letectvo medzi uk a eú po brexite

Európska komisia a Spojené kráľovstvo sa 24. decembra 2020 dohodli na komplexnej dohode o obchode a spolupráci (Trade and Cooperation Agreement), ktorá stanovuje základ budúcich obchodných vzťahov medzi Európskou úniou a Spojeným kráľovstvom. Táto dohoda vstúpila do platnosti 1.1.2021 a otázka leteckej dopravy je definovaná v časti: *obchod, doprava, rybnárstvo a iné dojednania; okruh letecká doprava*. Od 1. januára 2021 sa s prevádzkovateľmi z Veľkej Británie a Európskej únie vo vzdušnom priestore druhej strany zaobchádza ako s prevádzkovateľmi z tretích krajín. Prepravné práva dopravcov zo Spojeného kráľovstva a z Európskej únie sa zásadne líšia od jednotného európskeho vzdušného priestoru, z ktorého malo Spojené kráľovstvo predtým výhody. [4] [5]

3.1. Prístup leteckých dopravcov trasám

3.1.1. Prevádzkové práva

Podľa dohody budú leteckí dopravcovia Spojeného kráľovstva a Európskej únie naďalej využívať recipročné práva na:

- prelet ponad svoje územia navzájom bez pristátia (právo prvej slobody),
- pristátie na území druhej strany pre neprepravné účely (právo druhej slobody), a
- prevádzkové práva na pravidelné a nepravidelné lety na trasách medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou (práva tretej a štvrtej slobody).

Dopravcovia zo Spojeného kráľovstva a Európskej únie už nie sú oprávnení prevádzkovať trasy s prechodnou zastávkou v EÚ alebo Spojenom kráľovstve, kde je tovar, pošta alebo cestujúci nakladaní, respektíve vykladaní, pred pokračovaním do cieľovej, tretej krajiny (práva piatej slobody). Dohoda však umožňuje Spojenému kráľovstvu a jednotlivým členským štátom Európskej únie rokovať o bilaterálnych dohodách pre nákladné lety piatej slobody. Bilaterálne dohody medzi Spojeným kráľovstvom a členskými štátmi s nákladnými uzlami, ako sú CDG, FRA a AMS, umožnia dopravcom z Európskej únie a Spojeného kráľovstva aj naďalej prevádzkovať významné nákladné lety spájajúce

európske a britské nákladné uzly pred pokračovaním do Ameriky, Ázie a Afriky. [4] [6]

Dopravcovia zo Spojeného kráľovstva, ani dopravcovia z Európskej únie nemôžu prevádzkovať kabotážne trasy v rámci Európskej únie, respektíve v rámci Veľkej Británie. [6]

Dopravcovia zo Spojeného kráľovstva už nesmú vziať na území členského štátu Európskej únie cestujúcich, batožinu, náklad alebo poštové zásielky, ktoré bude následne prepravovať za odmenu na iné miesto v danom členskom štáte alebo v inom členskom štáte. To platí recipročne aj pre dopravcov Spoločenstva. [6]

Príslušné orgány Spojeného kráľovstva a členských štátov môžu na základe bilaterálnej dohody povoliť nepravidelné letecké dopravné služby nad rámec vyššie uvedených práv, avšak nesmie sa jednáť o skrytú formu pravidelnej leteckej služby. Tým sa zabráni zrušeniu charterových letov do dovolenkových destinácií. [6]

Žiadna strana nesmie jednostranne neobmedziť objem prepravy, kapacitu, frekvenciu, pravidelnosť, smerovanie, pôvod alebo cieľ leteckých dopravných služieb poskytovaných druhou stranou, pokiaľ je v súlade s ostatnými prevádzkovými právami. [6]

3.1.2. *Code-sharing*

V dohode sa zachováva dojednania o spoločnom využívaní kódu a blokovanej časti kapacity lietadla, ktoré leteckým dopravcom umožňujú slúžiť ako marketingový dopravca na trasách, ktoré môže prevádzkovať iba letecký dopravca s licenciou v Európskej únii. Obmedzenia kabotáže v rámci Európskej únie znamenajú, že dopravca zo Spojeného kráľovstva nemôže prevádzkovať let medzi dvomi letiskami Únie, napríklad let z AMS do FRA. Dopravca zo Spojeného kráľovstva ale môže zdieľať kódy s dopravcom z Európskej únie, ktorý prevádzkuje let na danej trase a môže predávať palubné lístky na takejto trase ako marketingový dopravca. [4] [6]

Dohoda ďalej umožňuje leteckým dopravcom rozdeliť pasažierov medzi ďalšie lietadlá toho istého leteckého dopravcu v ktoromkoľvek bode a obsluhovať viac ako jeden bod na území Spojeného kráľovstva alebo Európskej únie v rámci jednej služby. To by malo leteckým dopravcom Spojeného kráľovstva a Európskej únie poskytnúť značnú prevádzkovú a hospodársku flexibilitu. Umožňuje to napríklad leteckému dopravcovi Spojeného kráľovstva prevádzkovať vysokokapacitné lietadlo na letisko CDG, vyložiť cestujúcich končiacich na CDG a presunúť všetkých pokračujúcich cestujúcich do menšieho lietadla, ktoré bude pokračovať ďalej do regionálnych destinácií v rámci Európskej únie. Alternatívne by mohol nákladný dopravca Spojeného kráľovstva prevádzkovať pravidelnú leteckú dopravu z LHR do FRA s medzipristátím v CDG. Nemohol by síce vyzdvihnúť ďalší náklad na letisku CDG na prepravu do FRA, mohol by ale vyložiť letecký náklad na letiskách CDG a FRA počas jedného letu. [4] [6]

3.1.3. *Leasing*

Dohoda čiastočne obmedzuje prevádzkové práva leteckých dopravcov využívajúcich prenajaté lietadlá s posádkou. Aby mohli leteckí dopravcovia Spojeného kráľovstva alebo Európskej

únie využívať novo dohodnuté prevádzkové práva, môžu použiť prenajaté lietadlo, ktoré je:

- 1) prenajaté spôsobom „dry-lease“ (bez posádky) od ľubovoľného prenajímateľa, alebo
- 2) je prenajaté spôsobom „wet-lease“ (s posádkou),
 - a) v prípade dopravcov Spojeného kráľovstva od prenajímateľov zmluvných strán, alebo ak je tento prenájom odôvodnený na základe mimoriadnych potrieb, sezónnych kapacitných potrieb alebo prevádzkových ťažkostí nájomcu a lízing nepresahuje dobu nevyhnutne potrebnú na splnenie týchto potrieb, aj od iných prenajímateľov;
 - b) v prípade dopravcov Európskej únie od prenajímateľov členských štátov Únie, alebo ak je tento prenájom odôvodnený na základe mimoriadnych potrieb, sezónnych kapacitných potrieb alebo prevádzkových ťažkostí nájomcu a lízing nepresahuje dobu nevyhnutne potrebnú na splnenie týchto potrieb, aj od iných prenajímateľov.

Leteckým dopravcom Spojeného kráľovstva je umožnené využívať prenajaté lietadlá aj s cudzokrajnou posádkou. Podľa dohody a príslušných regulačných požiadaviek môžu letecké spoločnosti Spojeného kráľovstva využívať prenájom lietadiel od leteckých spoločností Spojeného kráľovstva a/alebo Európskej únie bez obmedzenia na prevádzkové práva na trasách medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou. [4] [6]

Ak si chcú letecké spoločnosti Európskej únie prenajať lietadlo s posádkou, môžu tak urobiť len v rámci ostatných dopravcov Únie, pričom musia splniť príslušné regulačné požiadavky. Leasing z tretej krajiny voči Európskej únii je možný po dokázaní príslušnému regulačnému orgánu, že leasing s posádkou je oprávnený na základe mimoriadnych potrieb, sezónnych kapacitných potrieb alebo prevádzkových ťažkostí. [7]

3.2. *Dopad na cestujúcich*

Dohoda o obchode a spolupráci zachováva právo leteckých dopravcov Spojeného kráľovstva a leteckých dopravcov Európskej únie lietať cez územie druhej strany bez pristátia, zastavovať na iné ako prevádzkové účely, a čo je dôležité, vykonávať lety medzi územiami oboch strán. Letecké spoločnosti Spojeného kráľovstva, Európskej únie a tým pádom cestujúci, môžu preto lietať medzi Spojeným kráľovstvom a členskými krajinami Únie tak ako predtým, vrátane následného tranzitu do tretej krajiny. Dohoda im taktiež umožňuje prepraviť cestujúcich na dva rôzne body na území druhej strany v rámci tej istej služby. Okrem udelenia týchto práv dohoda zaväzuje obe zmluvné strany jednostranne neobmedziť objem prepravy, kapacitu, frekvenciu, pravidelnosť, smerovanie, pôvod alebo cieľ leteckých dopravných služieb a typ lietadiel využívaných na tento účel leteckými dopravcami. Dohoda teda zabezpečuje spravodlivé a recipročné podmienky využívania leteckej dopravy pre obyvateľov oboch zmluvných strán, ako tomu bolo doteraz.

Zmenou, ktorú si verejnosť využívajúca leteckú dopravu môže všimnúť je, že dopravcovia zo Spojeného kráľovstva už nemôžu vykonávať služby vlastnými lietadlami na území členského štátu Európskej únie alebo medzi dvomi členskými štátmi, ako to bolo

možné doteraz. Toto pravidlo je taktiež recipročné, a teda európsky letecký dopravca taktiež nebude môcť operovať medzi dvomi bodmi Spojeného kráľovstva. Očakáva sa, že reakciou na toto obmedzenie bude zvýšená spolupráca anglických a európskych poskytovateľov (napríklad Wizz Air UK a EasyJet), aby ich značka mohla byť naďalej poskytovaná na území druhej strany, aj keď už nemôžu tieto služby vykonávať sami. Takáto spolupráca je umožnená v rámci dohôd o zdieľaní kódov medzi leteckými dopravcami Spojeného kráľovstva a Európskej únie. Letecký dopravca jednej strany môže takúto spoluprácu využiť na prepravu cestujúcich z bodu na svojom vlastnom území, do bodu na území druhej strany na svojom vlastnom lietadle, pričom cestujúci potom môžu pokračovať v ceste na základe tej istej prepravnej zmluvy do ďalšieho bodu na území druhej strany alebo mimo neho. Tento tranzitný let bude vykonaný prostredníctvom služby zdieľania kódov prevádzkovej leteckým dopravcom druhej strany. V tomto dôsledku by z pohľadu cestujúceho mala byť schopnosť letecky cestovať medzi Spojeným kráľovstvom a členskými štátmi Európskej únie do značnej miery rovnaká ako pred brexitom, až na to, že to nemusí byť možné uskutočniť tými istými dopravcami ako predtým.

Ekonomické rozdiely pre dopravcov, ktorých zasiahli štrukturálne zmeny v právnom prostredí po brexite, zatiaľ nie sú jasné a pravdepodobne sa ukážu až v priebehu času. Dohoda čiastočne pokrýva aj túto oblasť a reflektuje snahu odstrániť zbytočné narušenia cien medzi zmluvnými stranami. Je teda pravdepodobné, že cena leteckej dopravy pre cestujúcich medzi bodmi zmluvných strán dohody, nebude neprimerane narušená brexitom. [8]

Z hľadiska ochrany zákonných práv cestujúcich na náhradu škody voči dopravcom, nenastali zásadné zmeny. Pokiaľ ide o širšiu ochranu spotrebiteľa, obe zmluvné strany prostredníctvom dohody potvrdili spoločný cieľ budovania lepšieho prostredia pre cestujúcich s prekvapujúcou úrovňou spolupráce. Spojené kráľovstvo dokonca transponovalo do svojho vnútroštátneho práva nariadenia ako (EC) č. 261/2004 o zrušení nástupu na palubu alebo veľkom meškaní letu, alebo nariadenie (EC) č. 1107/2006 o právach zdravotne postihnutých osôb a osôb so zníženou pohyblivosťou v leteckej doprave. Dohoda ďalej zadefinovala, že súvisiaca judikatúra Európskeho súdneho dvora, platná v dobe jej uzatvorenia, bude aj naďalej tvoriť súčasť práva Spojeného kráľovstva. Z praktického hľadiska bude teda zákon v oblastiach práv cestujúcich naďalej rovnaký, pokiaľ ide o leteckú dopravu v rámci Spojeného kráľovstva a Európskej únie. [8]

Priamo spojený s leteckou dopravou je aj problém nových migračných pravidiel. Cestujúci z tretej krajiny voči Európskej únii majú rovnaké podmienky vstupu do Spojeného kráľovstva, ako tomu bolo doteraz. Cestujúci z krajín Európskeho hospodárskeho priestoru a Švajčiarska od 1. januára musia na pobyt dlhší ako 90 dní disponovať cestovnými vízami a tento pobyt je ohraničený maximálnou dĺžkou 180 dní. [9]

3.3. Dopad na letecké spoločnosti

Podmienky pre kvalifikáciu ako európsky letecký dopravca zostávajú také, aké boli pred brexitom. Je to teda dopravca, ktorý je väčšinovým podielom vlastnený a účinne kontrolovaný štátnymi príslušníkmi členských štátov Európskej únie, štátov Európskeho hospodárskeho priestoru alebo Švajčiarska a je držiteľom prevádzkovej licencie vydané štátom Únie, v ktorom

má hlavné miesto podnikania. V prípade mnohých európskych dopravcov nastal problém, pretože veľká časť ich podnikov boli vo vlastníctve štátnych príslušníkov Spojeného kráľovstva a brexit znamenal zmenu pomerov vo vlastníckych štruktúrach. Leteckí dopravcovia Európskej únie museli zodpovedajúcim spôsobom upraviť svoje vlastníctvo a kontrolu, napríklad obmedzením hlasovacích práv svojich existujúcich akcionárov zo Spojeného kráľovstva, aby požiadavkám Európskej únie na vlastníctvo vyhovel.

Otázku vlastníctva a kontroly muselo riešiť viacero dopravcov, ktorým hrozila strata štatútu európskeho dopravcu. Cieľom pravidiel vlastníctva a kontroly bolo prinútiť letecké spoločnosti Európskej únie, aby prijali opatrenia zaisťujúce vlastníctvo a kontrolu v priestore Únie. Maďarská letecká spoločnosť Wizz Air, disponujúca dcérskou spoločnosťou Wizz Air UK, musela zabrániť viac ako 50% svojich bežných akcionárov hlasovať, alebo zúčastňovať sa na valných zhromaždeniach, pretože akcionári mimo Európskej únie tvorili po brexite až 80% jej vlastníctva. Rovnaký krok v snahe udržať si silné postavenie v Európe, podstúpila aj Írska spoločnosť Ryanair, s dcérskou spoločnosťou Ryanair UK, ktorá blokuje investorov z krajín mimo Európskej únie odobratím práv zúčastňovať sa, vystupovať alebo hlasovať na ktoromkoľvek valnom zhromaždení spoločnosti, kým sa pomer vo vlastníckej štruktúre neupraví. Proces znižovania mimo-európskych akcionárov podstúpila aj spoločnosť EasyJet, ktorá bola po brexite taktiež nespĺňala požiadavky Únie na vlastníctvo. Namiesto obmedzenia hlasovacích práv akcionárov, zaujala holdingová spoločnosť IAG iný prístup. Implementovala národnú vlastnícku štruktúru pre dcérsku spoločnosť Aer Lingus a uskutočnila zmeny v národnej majetkovej štruktúre spoločnosti Iberia v Španielsku. Tieto kroky IAG podniklo s cieľom zachovať hlasovacie práva investorom príslušných krajín a zároveň udržať úplné prevádzkové práva európskeho dopravcu. [10] [11]

Prístup k tomu, čo Únia považuje za leteckého dopravcu Spojeného kráľovstva, je podľa dohody liberálnejší. Pre získanie prevádzkových práv dohody, z pozície leteckého dopravcu so sídlom v Spojenom kráľovstve, sa taktiež môžu z hľadiska vlastníctva akontroly kvalifikovať štátni príslušníci členských štátov Európskej únie, štátov Európskeho hospodárskeho priestoru alebo Švajčiarska s platnou prevádzkovou licenciou získanou pred koncom prechodného obdobia. Preto sú existujúci leteckí dopravcovia Spojeného kráľovstva vlastnení alebo účinne kontrolovaní štátnymi príslušníkmi Európskej únie naďalej oprávnení využívať dohodnuté prevádzkové práva, a to bez toho, aby museli robiť akékoľvek zmeny vo svojom vlastníctve a kontrole. Rovnaký prístup bol zvolený v dohode Spojeného kráľovstva a Spojených štátov amerických, ktoré taktiež uznávajú britských dopravcov vlastnených a kontrolovaných štátnymi príslušníkmi Európskej únie. Dôvodom, prečo sú dohody v tejto otázke voči Spojenému kráľovstvu liberálnejšie, môže byť fakt, že jeden z najväčších dopravcov v krajine, British Airways, je vlastnený holdingovou spoločnosťou IAG. IAG vlastní taktiež niekoľko významných leteckých dopravcov Európskej únie a aby sa kvalifikovala ako európsky dopravca, musí dosahovať väčšinový podiel vo vlastníctve štátnych príslušníkov členskej krajiny Únie. Nastal teda konflikt záujmov a dohoda na problém reagovala liberálnejším prístupom voči existujúcim dopravcom Spojeného kráľovstva. [10]

Ďalšou oblasťou, v ktorej sa dohoda medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou nejaví recipročne, je leasing lietadiel s posádkou. Dohoda za bežných okolností povoľuje dopravcom Spojeného kráľovstva wet leasing od britských aj európskych leteckých spoločností, no dopravcom Európskej únie len wet leasing od európskych leteckých spoločností. Britské nákladné, charterové a leasingové letecké spoločnosti tvrdia, že nový režim po brexite ich znevýhodňuje, pretože dohoda umožňuje leteckým spoločnostiam Európskej únie väčšiu slobodu a flexibilitu. Výsledkom týchto jednostranných obmedzení v praxi je napríklad strata kontraktov leasingových spoločností Spojeného kráľovstva s európskymi leteckými dopravcami. [12]

Po brexite sa ukázalo ako problémové aj vykonávanie ad-hoc letov medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou. Takýto druh dopravy teraz vyžaduje povolenie, ktoré letecké spoločnosti Únie dokážu získať rýchlejšie ako britskí dopravcovia, a preto získavajú viac obchodov. „*Kým CAA vydá európskemu dopravcovi povolenie do niekoľkých hodín, európskym regulátorom to trvá aj 2 či 3 dni,*“ vyjadril svoje znepokojenie Andrew Green, výkonný riaditeľ spoločnosti Jota. Takéto obštrukcie zo strany Európskej únie môžu byť likvidačné pre letecké spoločnosti zaoberajúce sa časovo senzitívnou prepravou automobilového, či farmaceutického odvetvia. Dopad môžu pocítiť aj malé letecké spoločnosti Spojeného kráľovstva, ktoré poskytujú nepravidelnú leteckú osobnú a nákladnú dopravu. Letecké spoločnosti, ako Titan Airways, Jota Aviation, Loganair, CargoLogicAir a Air Tanker plánujú kampaň, ktorá bude vyžadovať recipročné práva pre letecké spoločnosti Spojeného kráľovstva. [12]

3.4. Dopad na Jednotné európske nebo

Riadenie letovej prevádzky v Európe je v súčasnosti v zložitej pozícii, pretože sa len veľmi obtiažne vyrovnáva s rastúcou leteckou prevádzkou nad kontinentom. Faktory, ktoré majú na vysporiadanie sa problémom najväčší dopad, sú fragmentácia vzdušného priestoru, riadenia letovej prevádzky a tým pádom neefektívnosť systému. Aby bolo možné vyrovnáť sa s pokračujúcim rastom letovej prevádzky, je nutná dokonalejšia harmonizácia systému a vyššia úroveň kooperácie zúčastnených strán.

Očakávalo sa, že odpoveďou na fragmentáciu európskeho vzdušného priestoru bude implementácia funkčných blokov vzdušného priestoru (FAB), definovaná v legislatívnom balíku SES 2. Dlhý a oneskorený proces uplatňovania FAB, ako aj rozdielny technický vývoj medzi blokmi a dokonca aj medzi krajinami v rámci jedného bloku sa časom ukázali ako problematické a požadované výsledky sa nedostavili. Iniciatíva stále neposkytuje jednotný vzdušný priestor na základe prevádzkových potrieb. Výsledkom sú napríklad vynútené predĺženia trás a meškania, čo vedie k finančným stratám, ale aj k škodlivým dopadom na životné prostredie. [13]

Nedostatok spolupráce medzi členskými štátmi obmedzuje výhody, ktoré koncept jednotného európskeho neba môže priniesť. Nedostatok spolupráce taktiež značne spomalil a oneskoril proces reformy európskeho vzdušného priestoru v rámci SES. Súčasný stav je pravdepodobne výsledkom rôznych záujmov a priorit, ktoré zainteresované strany programu jednotlivito presadzovali. Paradoxom tejto problematiky je práve brexit. Pri problémoch fragmentovaného vzdušného priestoru,

nedostatočnej spolupráce a rôznych prioritách zúčastnených strán, sa vystúpenie Spojeného kráľovstva z Európskej únie a tým aj z programu SES, môže javiť ako začiatok konca. Opak je však pravdou a s témou brexitu prišiel v septembri 2020 návrh Európskej komisie na aktualizáciu starnúceho systému riadenia letovej prevádzky v Európskej únii. Dôvodom, prečo tento návrh prichádza práve v čase brexitu, je koniec sporu o Gibraltár. [13]

Dlhodobý diplomatický spor o britské zámorské územie medzi Spojeným kráľovstvom a Španielskom sa do značnej miery odzrkadlil na vývoji SES. Gibraltár bol sporným územím, ktoré Spojené kráľovstvo ovládalo niekoľko storočí. Španielsko tieto nároky Spojeného kráľovstva bojkotovalo vylúčením Gibraltáru z celoeurópskych deregulačných iniciatív programu SES, čím znemožnilo priame letecké väzby z Gibraltáru na zvyšok Európskej únie, okrem Spojeného kráľovstva. Prebiehajúci spor medzi Španielskom a Spojeným kráľovstvom o zvrchovanosť nad Gibraltárom a miestnym, strategicky umiestneným letiskom, blokoval rokovania o prepracovanom znení SES 2+. Otázkou bolo, či by sa nová legislatíva mala vzťahovať na gibraltárske letisko alebo nie. Zdanlivo neriešiteľný spor, s ktorým sa dlhé roky nepohlo žiadnym smerom, sa stal znovu aktuálnym s príchodom brexitu. Španielsko sa v súvislosti s brexitom rozhodlo vetovať akúkoľvek dohodu Spojeného kráľovstva s Európskou úniou, pretože tá by sa automaticky vzťahovala aj na sporné územie Gibraltáru, ktoré Spojené kráľovstvo považovalo za svoje. Španielsko argumentovalo tým, že akákoľvek dohoda, ktorá by zahŕňala Gibraltár, by musela byť schválená španielskou vládou. Prvý krát do sporu vstúpila aj samotná Európska únia, ktorá podporila stanovisko Španielska a tým postavila Spojené kráľovstvo pred voľbu, ktorou sa definitívne vyriešil tento dlhodobý diplomatický spor. Preto teraz, keď Spojené kráľovstvo už nie je členom Európskej únie a spor o zvrchovanosť nijako nenarúša rokovania o aktualizáciách SES, je možné zahájiť proces reformy európskeho vzdušného priestoru. Plánované technologické zlepšenia sľubujú značný potenciál na optimalizáciu európskeho vzdušného priestoru v rámci technologického programu SESAR. Aj napriek tomu, že Spojené kráľovstvo už nie je členom SES a opustilo aj systém funkčných blokov vzdušného priestoru, dohoda mu umožňuje zúčastňovať sa na programe technologického výskumu a vývoja pre jednotné európske nebo, SESAR. [14] [15]

Záver

Spojené kráľovstvo, ktoré bolo členom Európskeho spoločenstva a neskôr aj členským štátom Európskej únie, po 47 rokoch opustilo toto integračné zoskupenie. Počas pôsobenia Spojeného kráľovstva ako členského štátu, sa konali dokopy dve referendá o otázke jeho členstva. Prvé referendum sa uskutočnilo 5. júna 1975, výsledkom ktorého bolo zotrvanie v Európskom spoločenstve. O vystúpení krajiny z Únie rozhodlo druhé referendum 23. júna 2016, v ktorom väčšina občanov krajiny hlasovala za vystúpenie a následne bol zahájený proces, taktiež nazývaný brexit. Výsledok referenda otriasol nielen Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou, no zasiahol aj globálne menové a akciové trhy.

Spojené kráľovstvo sa radí ku krajinám s najväčšími leteckými sieťami a leteckým priemyslom. Keďže sektor leteckej dopravy je jedným z najsenzitívnejších odvetví na ekonomické výkyvy, referendum okamžite negatívne zasiahlo akcie najväčších britských leteckých dopravcov. Nasledujúci vývoj vzťahov s partnerskými krajinami a rozsah škôd, ktoré brexit mohol

spôsobiť, neboli úplne jasné ani 31. januára 2020, kedy oficiálne Spojené kráľovstvo vystúpilo z Európskej únie. Krátko na to, ako sa uskutočnilo referendum, Spojené kráľovstvo započalo rokovania s krajinami vonkajšieho trhu na tému bilaterálnych dohôd, ktoré mali nahradiť tie, jednotne využívané všetkými členskými štátmi Európskej únie. Medzi týmito dohodami boli aj dohody o leteckej doprave s krajinami ako Spojené štáty americké alebo Kanada, ktoré sú zásadné pre ďalšie fungovanie leteckej dopravy Spojeného kráľovstva. Pre britských dopravcov najdôležitejšia a najočakávanejšia dohoda s vnútorným trhom Európskej únie však neprišla ani po oficiálnom vystúpení krajiny z Únie a rokovania o jej znení nenachádzali spoločný konsenzus.

Spojené kráľovstvo 1. februára 2020 vstúpilo do prechodnej, 11 mesačnej fázy, počas ktorej aj naďalej plnilo záväzky voči Európskej únii a pripravovalo legislatívu krajiny na samostatné fungovanie. Právo Európskej únie uplatniteľné na letectvo plnilo dlhé roky v Spojenom kráľovstve nesmierne dôležitú úlohu a vďaka nemu mali dopravcovia prístup na jednotný trh pozostávajúci z členských štátov Európskeho hospodárskeho priestoru. Pre zložitosť nahradenia tak komplexného súboru práv, ktoré umožňovalo nadštandardné väzby na dôležitý európsky trh, Spojené kráľovstvo väčšinu smerníc a nariadení Európskej únie týkajúcich sa leteckej dopravy, transponovalo do svojho vnútroštátneho práva. Spojené kráľovstvo od 1. januára 2021 nie je viazané žiadnou nasledujúcou európskou legislatívou, no aj naďalej využíva tú, ktorá platila ku koncu roku 2020.

Očakávaná dohoda o obchode a spolupráci medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou, ktorá definuje vzájomné obchodno-právne vzťahy medzi stranami dohody, bola podpísaná len 7 dní pred koncom prechodného obdobia. V prípade, že by táto dohoda nevznikla, naplnil by sa scenár „tvrdého brexitu“, v ktorom by obchodno-právne vzťahy medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou boli definované pohotovostnými právnymi predpismi. Tie boli zverejnené v marci 2019 a obsahovali len strohý právny rámec pre zabezpečenie základnej konektivity medzi zastúpenými stranami. Nová dohoda medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou obsahuje aj dezignácie pre leteckú dopravu, ktoré si zmluvné strany navzájom udelili. Väčšina dezignácií a slobôd leteckej dopravy bola udelená obom zmluvnými stranami recipročne. Sú však aj oblasti, ktoré určujú prísnejšie podmienky pre jednu zmluvnú stranu a leteckí dopravcovia požadujú nápravu v podobe rovnoprávnosti pre dopravcov oboch zmluvných strán. Samotná dohoda vytvárala dojem mierne vyššej flexibility udelenej Spojenému kráľovstvu, no prvé mesiace využívania dohody ukázali, že opak je pravdou. Spornými aspektami dohody sú podľa dopravcov hlavne oblasti prenájmu lietadla s posádkou a podmienky vlastníctva a kontroly, požadované pre udelenie prevádzkových práv medzi územiaми oboch strán. Potreba, aby niektoré letecké spoločnosti z Európskej únie blokovali, alebo zrušili práva akcionárov z krajín mimo Únie, je negatívnym dôsledkom v oblasti vlastníctva a kontroly. Znižuje to príťažlivosť pre investorov s podielmi v leteckých spoločnostiach v dobe, ktorá dostala letecký priemysel na dlhodobé minimum. Nerecipročne zasiahla dohoda aj leasingové spoločnosti Spojeného kráľovstva, od ktorých si už európsky dopravca viac nespájať lietadlo s posádkou, pokiaľ takáto požiadavka nevznikla na základe mimoriadnych potrieb, sezónnych kapacitných potrieb alebo prevádzkových ťažkostí. Britskí leteckí dopravcovia taktiež negatívne vnímajú časový rozdiel v schvaľovaní ad-hoc letov, na

základe čoho tvrdia, že strácajú kontrakty a konkurencieschopnosť voči dopravcom Európskej únie. Tieto problémy sú a aj naďalej budú adresované príslušným autoritám, ktoré by mali dojednať rovnaké podmienky pre leteckých dopravcov oboch strán. Tento krok je dôležitý hlavne z hľadiska odbúrania reštrikcií vstupu na trh, ktoré v prípade stavania obchodných bariér môžu nakoniec negatívne ovplyvniť obe strany dohody.

Napriek tomu, že brexit bol krok mimo trend liberalizácie leteckej dopravy, ktorý je vo svete pozorovateľný posledné desiatky rokov, je možné, že práve tento akt vyrieši dlhoročný problém európskeho programu Jednotné európske nebo. Spolu s vystúpením z Európskej únie sa Spojené kráľovstvo vzdalo aj nárokov zahrnutia Gibraltáru do znenia dohôd o brexite a zámorské územie Spojeného kráľovstva, kvôli ktorému krajina viedla dlhoročný spor so Španielskom, po brexite vstúpilo do Shengenského priestoru Európskej únie pod záštitou Španielska. Hájenie vlastných záujmov v tomto spore v minulosti nepriaznivo vplývalo hlavne na rozvoj regulačnej činnosti v oblasti zjednocovania a riadenia európskeho vzdušného priestoru.

Vo všeobecnosti, časť dohody o obchode a spolupráci, zaoberajúca sa leteckou dopravou medzi Spojeným kráľovstvom a Európskou úniou, vytvorila lepšie trhové prostredie, ako by tomu bolo v prípade „tvrdého brexitu“. Obe strany dohody udržali vysokú úroveň liberálnych vzťahov, no pri porovnaní správnym rámcom fungujúcim pred odčlenením sa Spojeného kráľovstva od Európskej únie, je brexit pre britských leteckých dopravcov krokom späť. Znižovanie úrovne liberálnych vzťahov je v 21. storočí pre vyspelé krajiny ako Spojené kráľovstvo nezvyčajne anežiaduce pre rast lokálneho trhu. Globalizácia, ktorá poháňa vpred celosvetovú ekonomiku, má najbližšie desaťročia potenciál utužovať vzťahy medzi regionálnymi hospodárskymi komplexmi, preto je možné, že Spojené kráľovstvo opäť začne budovať novú formu ekonomického združenia. Otázkou ale zostáva, s kým?

Referencie

- [1] N. Walker, "Brexit timeline: events leading to the UK's exit from the European Union", mar. 2021, Cit: mar. 02, 2021. [Online]. Available at: <https://commonslibrary.parliament.uk/research-briefings/cbp-7960/>.
- [2] "Airline regulation – what you need to know with Brexit approaching? | Global law firm | Norton Rose Fulbright", <https://www.nortonrosefulbright.com/en-af/knowledge/publications/imported/2018/07/18/05>. <https://www.nortonrosefulbright.com/en-af/knowledge/publications/e31eb55d/airline-regulation--what-you-need-to-know-with-brexit-approaching> (cit máj. 10, 2021).
- [3] A. Brezonakova a B. Badánik, "(PDF) LOOKING BEYOND THE BREXIT IN AVIATION". https://www.researchgate.net/publication/323279877_LOOKING_BEYOND_THE_BREXIT_IN_AVIATION (cit máj. 11, 2021).

- [4] D. P.-T. Payne a J. Lin, "Aviation update: UK-EU Trade Agreement and what it means for aviation post-Brexit | Lexology". <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=acf0136b-9646-47ea-8be2-403bc97c6b0a> (cit mar. 02, 2021).
- [5] "The EU-UK Trade and Cooperation Agreement", *European Commission - European Commission*. https://ec.europa.eu/info/relations-united-kingdom/eu-uk-trade-and-cooperation-agreement_en (cit mar. 02, 2021).
- [6] "EUR-Lex - 22020A1231(01) - EN - EUR-Lex". <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L.2020.444.01.0014.01.ENG> (cit mar. 04, 2021).
- [7] "The UK / EU trade deal: Aviation". <https://www.shlegal.com/insights/the-uk-eu-trade-deal-aviation?08032021130227> (cit mar. 09, 2021).
- [8] "The EU-UK Trade and Cooperation Agreement", *European Commission - European Commission*. https://ec.europa.eu/info/relations-united-kingdom/eu-uk-trade-and-cooperation-agreement_en (cit mar. 02, 2021).
- [9] "Entering the UK - GOV.UK". <https://www.gov.uk/uk-border-control/print> (cit máj. 19, 2021).
- [10] "Brexit and aviation: all's well that ends. Well, almost... | CAPA". <https://centreforaviation.com/analysis/reports/brexit-and-aviation-alls-well-that-ends-well-almost-548205> (cit máj. 22, 2021).
- [11] "Ryanair and Wizz Air to remove voting rights from UK investors", *the Guardian*, dec. 29, 2020. <http://www.theguardian.com/business/2020/dec/29/ryanair-and-wizz-air-to-remove-voting-rights-from-uk-investors> (cit máj. 22, 2021).
- [12] "UK airlines warn of job losses as they lose business to Brexit", *the Guardian*, feb. 14, 2021. <http://www.theguardian.com/business/2021/feb/14/uk-airlines-warn-of-job-losses-as-they-lose-business-to-brexit> (cit máj. 22, 2021).
- [13] A. Motyka, E. T. Njoya, A. Motyka, a E. T. Njoya, "Single European Sky: The progress so Far", *Journal of Aerospace Technology and Management*, roč. 12, 2020, doi: [10.5028/jatm.v12.1175](https://doi.org/10.5028/jatm.v12.1175).
- [14] J. Valero, "EU-27 hands Spain veto over Gibraltar's Brexit deal", *www.euractiv.com*, mar. 31, 2017. <https://www.euractiv.com/section/uk-europe/news/eu-27-hands-spain-veto-over-gibraltars-brexit-deal/> (cit máj. 22, 2021).
- [15] S. Morgan, "Corona-crisis and Brexit boost EU air traffic reform hopes", *www.euractiv.com*, sep. 22, 2020. <https://www.euractiv.com/section/aviation/news/corona-crisis-and-brexit-boost-eu-air-traffic-reform-hopes/> (cit máj. 22, 2021).

THE FUTURE OF AIRCRAFT DATA COMMUNICATION AND MANAGEMENT AS A PART OF AVIATION 4.0 CONCEPT

BUDÚCNOSŤ DÁTOVEJ KOMUNIKÁCIE A MANAŽMENTU AKO SÚČASŤ KONCEPTU AVIATION 4.0

Jakub Sekera
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jacob.sekera@gmail.com

Andrej Novák
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
andrej.novak@fpedas.uniza.sk

Abstract

Data communication and management represent a crucial part of future systems in aviation. Huge recent technological advancements have led the whole aeronautical industry into the new evolutionary era called Aviation 4.0. The goal of Aviation 4.0 is the creation of cyber-physical system, following the path from advanced automation, to very first autonomy systems efficiently assisting human. This system involves multiple direct data related applications and devices, including AI analytics, massive use of IoT devices, machine learning capabilities, or advanced monitoring. Due to needed enormous flow of data, current connectivity solutions are becoming insufficient for the future use cases. Near future connectivity problems may become very apparent in datalink. With exponentially increasing amount of data needed by the future aircraft systems, higher datalink communication capacity and better performance of datalink subnetwork are required to meet the higher performance standards and levels of operational safety. This paper offers complex overview of current datalink communication technologies, planned concepts and possible solutions to the problem, in the form of new datalink technology – LEO mega satellite constellation offering Internet connectivity. Through basic deductive research, paper is aimed to study existing datalinks and proposed new LEO satellite communication datalink, evaluating their performance based on the future datalink requirements stated in studied plans and roadmaps. Furthermore, Aviation 4.0 dominant aspects are studied, requirements on future data communication technology are declared, and the possible use cases of Aviation 4.0 smart aircraft systems are showed. The objective of this paper is targeted to determination whether any of the researched datalink subnetwork would comply with Aviation 4.0 future datalink requirements.

Keywords

Datalink, Aviation 4.0, In-flight connectivity, IoT, SATCOM, Starlink

1. Úvod

Rýchly pokrok vo výrobe a prevádzke lietadiel, riadení letovej prevádzky, službách pre cestujúcich a v mnohých ďalších iných odvetviach letectva, prináša novú éru „Aviation 4.0“ zameranú na používanie najpokročilejších technológií. Náhly nárast požiadaviek na konektivitu, hlavne z hľadiska výkonnosti a dostupnosti, spôsobil značné komplikácie. Jednou z najproblematickejších oblastí pre aplikáciu adekvátneho riešenia konektivity, vyžadovanej budúcou technológiou, je lietadlo za letu. Spočiatku sa, s vyššími štandardmi ponúkaných služieb pre cestujúcich, vrátane internetu počas letu, vytvoril rozdiel medzi dopytom a ponukou dostupnej rýchlosti pripojenia. Existujúca technológia dátového spojenia lietadlo-zem je pre súčasné potreby naďalej dostatočná, ale to sa však v blízkej budúcnosti môže radikálne zmeniť. Bez vhodných inovatívnych opatrení sa rozdiel medzi dopytom a ponukou dostupnej kvality pripojenia prejaví oveľa zreteľnejšie, a to nielen na službách pripojenia pre cestujúcich, ale aj na prevádzkových, a pravdepodobne aj bezpečnostných službách vyžadovaných palubnými systémami budúcnosti. Tento problém môže vyriešiť nová možnosť vysokorýchlostného pripojenia na internet s nízkou latenciou, pomocou satelitnej mega konštelácie na nízkej obežnej dráhe (LEO) s globálnou dostupnosťou služieb. Hlavným cieľom diplomovej práce je

preskúmať možnosť, či tento typ riešenia konektivity bude vyhovovať požiadavkám budúcich technológií Aviation 4.0.

2. Súčasný stav dátovej komunikácie v letectve

Táto kapitola práce sa zaoberá rozsiahlym teoretickým výskumom zadanej problematiky. Je poukázané na prítomnosť veľkých dát, potreba spoločnej dátovej platformy v letectve a nutnosť pokročilej dátovej analytiky. Ďalej je predstavený rozsiahly pohľad na súčasnú dátovú komunikáciu, s prihliadnutím na spojenie lietadlo-zem, a je predstavený rozmach služby internetového pripojenia počas letu pre cestujúcich. Ďalšie podkapitoly sa venujú plánom budúcnosti dátovej komunikácie, a vysvetlením konceptu Aviation 4.0 ako súčasťou štvrtej priemyselnej revolúcie.

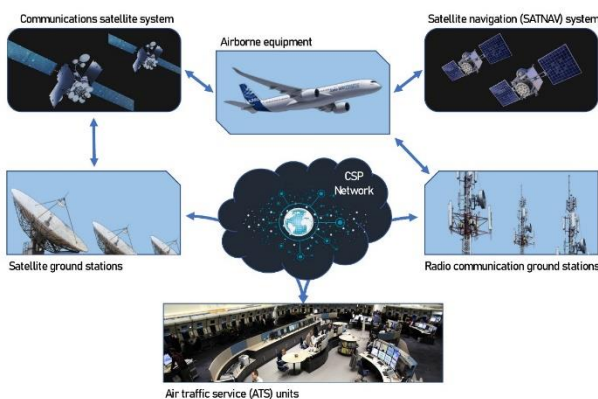
2.1. Dáta v letectve

Dáta sú v súčasnosti mnohými odborníkmi označované za najcennejšiu komoditu 21. storočia s predpokladanou exponenciálnou rýchlosťou rastu. Dáta sú veľmi dôležitou súčasťou všetkých oblastí leteckého priemyslu, tvorba dát sa taktiež v letectve časom exponenciálne zvyšuje. V posledných rokoch, vďaka pokročilým technológiám produkujúcim obrovské množstvá dát v reálnom čase, je na analytiku dát a na

konektivitu kladený čoraz väčší dôraz. Už súčasný výskum a analýza údajov môže ľahko viesť k väčšej efektívnosti riadenia letovej prevádzky, včasnému odhaleniu bezpečnostných rizík alebo zníženiu emisií lietadla pomocou optimalizácie spotreby paliva. Zber, analýza a zlúčenie dát umožňuje jednoduchým modelom umelej inteligencie používať strojové učenie z minulého správania. Zvyšujúci sa počet pokročilých lietadiel s posádkou, aj bez posádky v posledných desaťročiach vytvára obrovské množstvo tzv. veľkých dát. Tieto pokročilé systémy (najmä obsahujúce platformy poskytujúce automatizáciu, alebo autonómiu) vytvárajú dáta prostredníctvom vzájomnej komunikácie, ktorá môže byť dátovo náročná. Predpokladá sa, že tieto navrhované pokročilé systémy budú v budúcnosti pracovať primárne prostredníctvom zdieľania údajov. Hromadné vytváranie, spracovanie a ukladanie heterogénnych dát s možnosťou spätného prístupu je priamo spojené so zaistením bezpečnosti všetkých zúčastnených objektov leteckej dopravy. [1] [2]

2.2. Súčasné systémy dátového spojenia lietadlo-zem

Na obrázku 1 môžeme vidieť zjednodušenú koncepciu dátového spojenia lietadlo-zem. Štruktúra a princíp systému spočíva v prepojení palubných zariadení a jednotiek pozemných leteckých služieb pomocou sietí poskytovateľov komunikačných služieb (pozemných rádiových komunikačných staníc a/alebo satelitných komunikačných systémov). Satelitný navigačný systém je určený na poskytovanie presných údajov o polohe pre palubné zariadenia, ktoré sa následne môžu na služby sledovania lietadla.



Obrázok 1: Univerzálny prehľad dátového spojenia lietadlo-zem. Zdroj: Autori.

Typy systémov dátových spojení sú predstavované súborom aplikácií, ktoré vznikli spoločne s vývojom komunikácie dátových liniek. Systémy sú definované pomocou použitej technológie - podsietami dátového spojenia, požiadavkami, funkciami a štandardmi kompatibility. Na účely diplomovej práce sú súbory aplikácií (ACARS, FANS, ATN Baseline) a podsiete dátových spojení (VDL, HFDL, SATCOM, AeroMACS, LDACS) podrobne definované.

2.3. Služby pripojenia na internet počas letu pre cestujúcich

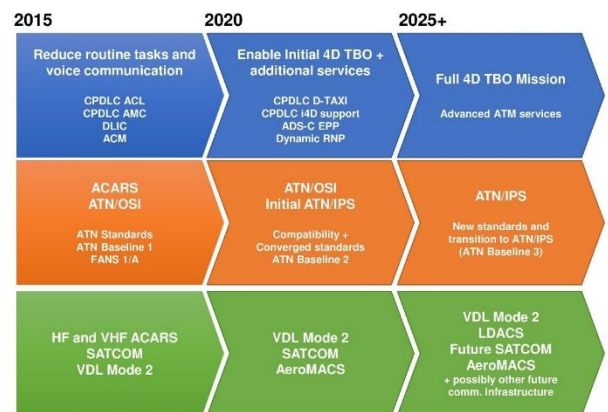
So súčasnými možnosťami a dostupnosťou konektivity sa zreteľne mení aj demografia a ideológia cestujúcich. Nová v súčasnosti nastupujúca veková generácia cestujúcich, ktorá

počas celého svojho života nikdy nezažila svet bez pripojenia, či už mobilného alebo internetového, určuje v blízkej budúcnosti minimálnu úroveň ponúkaných služieb pripojenia. Výskumná štúdia [3] z roku 2018 uskutočnená spoločnosťou Gogo LLC zdôrazňuje potrebu dostupnosti letového internetu na základe zistení:

- 78% cestujúcich na celom svete chce na palube lietadla prístup na internet
- 94% cestujúcich má pocit, že poskytnutie tejto služby by im vylepšil zážitok zo samotného letu, pričom 30% cestujúcich hľadá už pri rezervácii letu možnosť internetu na palube
- 92% cestujúcich naznačuje záujem o úlohy presahujúce jednoduché prehliadanie webových stránok pri pripojení na internet - záujem o streamovacie služby, online nakupovanie, sledovanie letov a batožiny, rezervácia a pod.
- 63% si myslí, že viac letov by malo mať k dispozícii na palube WiFi a 48% si myslí, že WiFi v lietadle by mala byť taká rýchla, ako je na zemi
- 92% „budúcich cestujúcich“ má záujem o použitie vlastného zariadenia na palube lietadla 47% by platilo za pripojenie na internet

Analogicky, London School of Economics and Political Science (LSE) v spolupráci s Inmarsat Aviation vytvorili ekonomicky zamieranú štúdiu, ktorá zvyrazňuje výhody poskytovania služby pripojenia na internet počas letu. Najdôležitejším zistením bola, že poskytovanie spomínaných služieb otvorí časom trh s celkovou hodnotou 130 miliárd amerických dolárov. [4]

2.4. Budúcnosť systémov dátového spojenia lietadlo-zem



Obrázok 2: FCI vývojový diagram. Zdroj: Autori.

Budúcnosť systémov dátového spojenia pre letectvo sa skrýva v použití ATN/IPS, ktorá poskytuje zabezpečenú digitálnu konektivitu, a možnosť integrovať služby pre komunikáciu, navigáciu a sledovanie (CNS). IPS poskytne potrebné sieťové funkcie na zabezpečenie prepojenia prostredníctvom viacerých podsietí - IP širokopásmových dátových spojení (multilink) a základných sietí na podporu leteckých a hlasových aplikácií pre bezpečnosť a pravidelnosť letu. Pre zachovanie dočasnej kompatibility budú systémy zo začiatku podporovať aj existujúce siete ATN/OSI a ACARS. [5] Predpokladaný vývoj je naznačený na Obrázku 2. Pre dodatočné posúdenie budúcnosti vývoja dátovej komunikácie som použil European ATM Master Plan [6] publikovaný spoločným podnikom SESAR a Global Air Navigation Plan [7] publikovaný organizáciou ICAO.

2.5. Koncept Aviation 4.0

Tabuľka 1: Štyri fázy evolúcie komerčného letectva. Zdroj: Autori na základe [8].

Fáza	Charakteristika	Hlavné výzvy
Aviation 1.0	VFR; porovnávacia navigácia; konštrukcia prvých lietadiel; vývoj základných let. prístrojov a aeromechaniky	Ako skonštruovať a pilotovať lietadlo?
Aviation 2.0	IFR; rádionavigácia; manažment vzdušného priestoru	Let a navigácia v nepriaznivých podmienkach. Poskytovanie efektívnej a bezpečnej služby riadenia letovej prevádzky
Aviation 3.0	Asistenčné systémy; spracovávanie digitálnych dát a komunikácia	Informačný manažment Ako poskytovať súhrnné, vizualizované a zrozumiteľné informácie
Aviation 4.0	Kyber-fyzikálne systémy; decentralizované systémové rozhodnutia, AI a automatizácia	Vytvorenie kyber-fyzikálnych systémov s pokročilými schopnosťami rozhodovania a autonómnou činnosťou

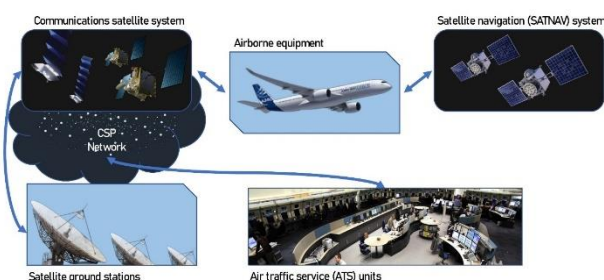
Hlavnou charakteristikou a cieľom Aviation 4.0 je vytváranie kyber-fyzikálneho systému. Podstatou tohto systému je iniciatíva vo vytváraní, zhromažďovaní a následnej analýze dát pre potreby strojového učenia, ktoré je podmnožinou súčasťou umelej inteligencie. Výsledkom je potreba komunikácie medzi množstvom zariadení, čo zásadne zvyšuje nároky na konektivitu. Mnohé odvetvia leteckého priemyslu sú už v súčasnosti pod silným vplyvom technológií Aviation 4.0. Väčšina technológií je využívaná vo výrobných procesoch, v obchodných službách a službách pre cestujúcich. Počiatocnými a najväčšími používateľmi súčasnej technológie Aviation 4.0 sú výrobcovia lietadiel. Okrem, dnešného už štandardného, používania 3D tlačie, pokročilých konštrukcií z kompozitných materiálov, virtuálnej a rozšírenej reality, náročných simulácií a inteligentných návrhov sa objavuje nový technologický trend - internet vecí (IoT). Vyvíjajúca sa koncepcia IoT zahŕňa digitálny ekosystém senzorov, zabudovaných počítačov a inteligentných zariadení, ktoré navzájom komunikujú a zdieľajú údaje. [9] [10] Aviation 4.0 prináša letiskám a leteckým spoločnostiam inovatívne trendy vrátane inteligentnej automatizácie, flexibilných modelov pracovných síl, digitálnych platforiem a pokročilých simulácií a predpovedí. [11] [12] [13]

3. Metodika a metodológia

Celá diplomová práca je založená na deduktívnom kvalitatívnom výskume s použitím sekundárnych zdrojov dát. Hlavným cieľom diplomovej práce bol výskum možnosti, či by navrhovaný LEO satelitný systém poskytujúci širokopásmové pripojenie na internet, mohol splniť požiadavky kladené technológiou Aviation 4.0. Pre splnenie daného cieľa bola zvolená hypotéza: „Vzájomne prepojenie inteligentných lietadiel v globálnom merítku bude v prostredí Aviation 4.0 umožnené dátovým spojením pomocou LEO satelitnej mega konštelácie s poskytovaním širokopásmového pripojenia na internet.“ Pre potvrdenie alebo vyvrátenie hypotézy boli použité výskumné otázky: Ktoré dátové spojenie lietadlo-zem bude použité, aby splnilo potreby budúcej dátovej komunikácie? Aké budú vlastnosti vybranej dátovej komunikácie? Aké sú požiadavky kladené Aviation 4.0 na konektivitu dátovej komunikácie? Ako sa vyvinú inteligentné systémy lietadla v prostredí Aviation 4.0?

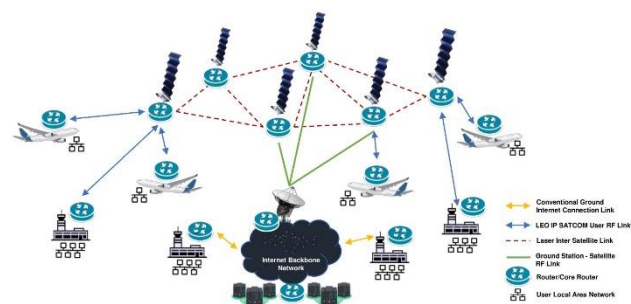
4. LEO satelitné konštelácie – nová éra dostupnosti pripojenia na internet

4.1. Štúdium navrhovaného satelitného dátového spojenia lietadlo-zem – LEO IP SATCOM



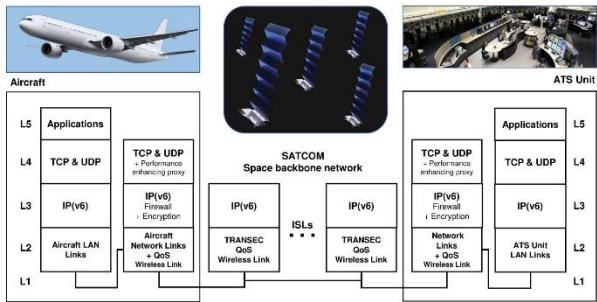
Obrázok 3: Prehľad dátového spojenia lietadlo-zem s použitím navrhovaného dátového spojenia LEO IP SATCOM. Zdroj: Autori

V prvej časti tejto kapitoly diplomovej práce som si vybral jediný príklad použitia vybraného satelitného systému v praxi – Starlink. Pomocou neho som neskôr vytvoril navrhované dátové spojenie LEO IP SATCOM. Jeho nasadenie pre dátové spojenie leteckých telekomunikácií predstavuje skok vpred po technologickej stránke. Ak sa tento systém použije pre dátovú komunikáciu ako primárny, ako môžeme vidieť na obrázku 3, z globálneho hľadiska dokážeme cez jeden systém zabezpečiť komunikáciu aj sledovanie a s použitím GNSS aj presnú navigáciu.



Obrázok 4: Sieťový diagram navrhovaného dátového spojenia LEO IP SATCOM. Zdroj: Autori.

Ako môžeme vidieť na obrázku 4, pripojenie na internet je poskytované každému užívateľovi, pričom je možné spojenie medzi ktorýmkoľvek užívateľmi. S pomocou medzi-satelitných laserových spojov bude prakticky možné dosiahnuť na väčšiu vzdialenosť lepšiu latenciu ako s použitím konvenčného pripojenia na internet. Pri použití protokolu IPv6 je možné ľahko definovať, či je používateľ pripojený priamo k sieti SATCOM, jednoduchým pridelením definovaných podsietí adresy IPv6. Zainteresovaní poskytovatelia LEO IP SATCOM budú následne pridelovať adresy z podsiete svojim terminálom. Pri fungujúcej schopnosti smerovania paketov satelitmi v konštelácii môže byť smerovanie založené na geografických súradniciach. Pre letectvo je veľmi výhodné uložiť aktuálne polohy lietadiel (a ich terminálov) s ich IP adresami do dynamickej databázy. Všetky terminály/stanice v pohybe by pravidelne aktualizovali svoje súradnice a prepisovali údaje v databáze. Pri kontaktovaní terminálu SATCOM v pohybe so známou IP adresou je možné prístupom do databázy zistiť jeho polohu a na smerovanie paketu použiť zodpovedajúcu hodnotu geografických súradníc.



Obrázok 5: ATN/IPS model peer-to-peer dátového spojenia lietadlo-zem s použitím LEO IP SATCOM . Zdroj: Autori.

Obrázok 5 charakterizuje peer-to-peer spojenie medzi lietadlom a poskytovateľom letových služieb, kde sú oba terminály priamo spojené so satelitnou sieťou LEO IP, ako súčasť 5-vrstvového modelu IPS ukazujúceho použitie QoS, firewallu, šifrovania alebo zabezpečenia prenosu.

4.2. Porovnanie charakteristík existujúcich technológií a navrhovaného dátového spojenia lietadlo-zem

4.2.1. VDL M2

Charakteristiky: Pozemná sieť; Frekvenčné pásmo: VHF; Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): 0,0315 Mbps; Latencia: variabilná; Kompatibilita: ACARS, FANS, ATN/OSI (B1 & B2), ATN/IPS (plánovaná)

Potenciálne výhody: Jednoduchá, dlhodobo používaná podsieť; Možno považovať za kompatibilnú so všetkými súčasnými leteckými komunikačnými sieťami a súbormi aplikácií; Nízke náklady na potrebné vybavenie (anténa podobná hlasovému VHF COMM); Postačuje pre súčasné aplikácie dátového spojenia

Potenciálne nevýhody: Veľmi nízka prenosová rýchlosť, výrazne pod rýchlosťami základného širokopásmového pripojenia; Nižšia kvalita pripojenia, kvôli už spomenutým nižším rýchlostiam prenosu a variabilnej latencii a oneskoreniam; Nevhodné pre pokročilejšie aplikácie a služby vyžadujúce kvalitnejšie pripojenie (aplikácie závislé na vyššej rýchlosti prenosu a citlivé na latenciu)

4.2.2. SATCOM Iridium

Charakteristiky: Satelitná sieť (LEO – 66 satelitov, SATCOM Class B); Frekvenčné pásmo: L (užívateľské spojenie) a K (spojenie medzi satelitmi + pozemné stanice); Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): 0,704Mbps; Latencia: nízka/stredná; Kompatibilita: ACARS, FANS, + možnosť IP pripojenia

Potenciálne výhody: Globálna dostupnosť siete Iridium; Dostatočné pre súčasné aplikácie; Relatívne malá anténa pre SATCOM; Široká škála ponúkaných služieb pre letectvo - vrátane SATVOICE

Potenciálne nevýhody: Služby a aplikácie sú ponúkané iba z hľadiska bezpečnosti a prevádzky lietadla - žiadna komerčná možnosť pripojenia pre cestujúcich; Nízka rýchlosť prenosu, nižšie ako základné širokopásmové pripojenie; Nevhodné pre pokročilejšie aplikácie a služby vyžadujúce kvalitnejšie pripojenie (aplikácie závislé na vyššej rýchlosti prenosu)

4.2.3. SATCOM Inmarsat

Charakteristiky: Satelitná sieť (GEO 4(I-4 SB) + 5 (GX) + 7 (plánované) satelity, SATCOM Class B); Frekvenčné pásmo: L (SB), K+Ka (GX); Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): 1,728 Mbps (SB), 50 Mbps (GX); Latencia: vysoká; Kompatibilita: ACARS, FANS + možnosť IP pripojenia

Potenciálne výhody: Takmer globálna dostupnosť siete Inmarsat; Historicky prvé a v súčasnosti najpoužívanejšie SATCOM dátové spojenie v letectve; Široká škála ponúkaných služieb pre letectvo vrátane SATVOICE; Satelity GX umožňujú širokopásmové pripojenie NGA pre lietadlo; možnosť pripojenia pre cestujúcich

Potenciálne nevýhody: Obmedzené pokrytie pre vyššie severné a južné zemepisné šírky - polárne oblasti (po spustení satelitov GX10 bude dostupné pokrytie nad severným pólom); Na pripojenie k satelitom GX v pásme K / Ka je potrebná anténa pomerne veľká, čo vytvára dodatočný aerodynamický odpor pre lietadlo; vysoká latencia a oneskorenie - neodporúča sa používanie aplikácií v reálnom čase a aplikácií citlivých na latenciu

4.2.4. AeroMACS

Charakteristiky: Pozemná sieť iba v okolí letiska; Frekvenčné pásmo: C; Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): 10 Mbps (s použitím šírky pásma 5 MHz); Latencia: nízka; Kompatibilita: IP pripojenie, ATN/IPS (plánovaná - multilink)

Potenciálne výhody: Efektívny spôsob vytvárania bezdrôtovej siete na letisku - zdieľaná sieť pre pevné aj mobilné užívateľské stanice; Pásmo C, ponúka dobré výkonové charakteristiky a dosahuje relatívne vysokú priepustnosť (s použitím širšej šírky pásma)

Potenciálne nevýhody: C-pásmo začína byť zarušené kvôli využívaniu v komerčných bezdrôtových sieťach (WiFi) a bezdrôtových spojoch. Pri použití šírky kanálu iba 5 MHz pokrýva prenosová rýchlosť iba základné širokopásmové pripojenie; Nutnosť dedikovaných zariadení na lietadle (napr. anténa) pre použitie tohto dátového spoja iba na letisku, ktoré je touto technológiou vybavené

4.2.5. LDACS

Charakteristiky: Pozemná sieť; Frekvenčné pásmo: L; Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): 2,6 Mbps; Latencia: nízka; Kompatibilita: ATN/IPS (plánovaná - multilink)

Potenciálne výhody: Veľmi schopná, vysoko škálovateľná pozemná sieť; V súčasnosti v procese realizácie; Sieť založená na IP a predstavuje bezproblémovú integráciu do ATN / IPS. Možnosť použitia aj ako navigačného zariadenia fungujúceho na princípe DME

Potenciálne nevýhody: Veľmi priemerná dátová priepustnosť pokrývajúca spodnú hranicu základného širokopásmového pripojenia; Vzhľadom na nižšiu prenosovú rýchlosť, nie je možné použiť aplikácie požadujúce vysoký dátový tok

4.2.6. Navrhovaný LEO IP SATCOM

Charakteristiky: Satelitná sieť (LEO a VLEO, niekoľko tisíc satelitov, SATCOM Class A); Frekvenčné pásmo: Ku+Ka+V (užívateľské spojenie a spojenie s pozemnými stanicami) a laserové spojenie medzi satelitmi (THz EM pásmo); Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): >100 Mbps; Latencia: nízka/stredná; Kompatibilita: navrhovaná ako súčasť multilink-u ATN/IPS

Potenciálne výhody: Globálne pokrytie a dostupnosť služieb, od zeme po najvyššiu letovú hladinu (je potrebná iba priama viditeľnosť so satelitom); Spávaná s GNSS môže v budúcnosti poskytnúť riešenie typu „všetko v jednom“ pre CNS (vytvorenie zdieľanej databázy lietadiel); Očakávaná priepustnosť viac ako 100 Mbps –širokopásmové pripojenia typu NGA; ak testy na lietadle dokážu možnosť dosiahnutia rýchlosti viac ako 1 Gbps, tak to bude širokopásmové pripojenie typu UF; Dostupná priepustnosť a relatívne nízka latencia umožní používanie akokoľvek náročných budúcich aplikácií pre dátové spojenie lietadlo-zem pre posádku, systémy lietadiel a navyše môžu byť pre cestujúcich poskytované služby pripojenia na internet bez potreby viacerých systémov

Potenciálne nevýhody: Kvôli použitým rádiovým frekvenciám sa očakáva, že technické riešenie antény bude zložité a taktiež bude mať väčšie rozmery (aerodynamický odpor); Veľmi vysoká priepustnosť, ak nebude správne riadená, môže spôsobiť preťaženie siete v oblastiach s hustejšou sieťou pripojených užívateľských terminálov; postupné zvyšovanie využívania pásiem Ku a Ka plánovanými viacerými mega konšteláciami LEO využívajúcich rovnaké frekvenčné spektrum, môže zapríčiniť silné zarušenie; V súčasnosti sa táto technológia zatiaľ komerčne nepoužíva na nestacionárnych termináloch; výsledky testov použiteľnosti tejto technológie na lietadlách nie sú zatiaľ známe

5. Aviation 4.0: automatizácia, prepojenie a digitalizácia



Obrázok 6: Dominantné aspekty konceptu Aviation 4.0. Zdroj: Autori.

Pre dodatočnú analýzu vývoja Aviation 4.0 bolo potrebné vytvoriť dominantné aspekty Aviation 4.0, ktoré vplyvujú na celkový vývoj. Vytvoril som kvázi evolučný kruh s postupom v smere hodinových ručičiek, ktoré vedú od zberu dát a analytiky, k automatizácii procesov základného leteckého systému a

vzniku autonómnych systémov (obrázok 6), čo považujem za vrchol vývoja Aviation 4.0. Pokiaľ ide o požiadavky Aviation 4.0 na dátovú komunikáciu, analyzoval som vplyv každého z hlavných aspektov z hľadiska požiadaviek, napríklad na priepustnosť siete a latenciu. Výsledkom tejto kapitoly je celkový prehľad požiadaviek, ktoré môžeme vidieť v tabuľke 2.

Tabuľka 2: Hlavné požiadavky na dátové spojenie lietadlo-zem vzhľadom na jednotlivé aspekty Aviation 4.0. Zdroj: Autori.

Aspekt Aviation 4.0	Ako ovplyvní dátové spojenie lietadlo-zem?	Hlavné požiadavky na dátové spojenie
Veľké dáta & Analytika pomocou AI	Streamovanie prevádzkových údajov a monitorovanie stavu lietadla	<ul style="list-style-type: none"> • Vysoká priepustnosť (s QoS) • Nízka latencia (<i>preferovaná</i>)
Cloudové služby	Downlink nesppracovaných a uplink pracovaných dát	<ul style="list-style-type: none"> • Vysoká priepustnosť (s QoS) • Nízka latencia
Pokročilá kybernetická bezpečnosť	Ochrana pred útokmi a kybernetickým terorizmom	<ul style="list-style-type: none"> • Vysoká úroveň zabezpečenia siete • Zabezpečená sieťová komunikácia
Použitie IoT v letectve	Streamovanie dát zo zariadení IoT (buď už spracovaných, alebo nesppracovaných)	<ul style="list-style-type: none"> • Vysoká priepustnosť (s QoS) • Nízka latencia (<i>preferovaná</i>)
Simulácie & Rozšírená realita	Uplink/downlink údajov pre potreby palubných počítačov	<ul style="list-style-type: none"> • Vysoká priepustnosť (s QoS) • Nízka latencia
Pokročilá výroba a údržba	Monitorovanie stavu lietadla, prediktívna údržba a AOC	<ul style="list-style-type: none"> • Vysoká priepustnosť (s QoS) • Nízka latencia (<i>preferovaná</i>)
Integrovaný manažment letovej prevádzky	Používanie pokročilých aplikácií manažmentu letovej prevádzky pre ATS, AOC	<ul style="list-style-type: none"> • Vysoká priepustnosť (<i>preferovaná</i>) • Nízka latencia (<i>preferovaná</i>) • Striktne definované QoS • Zabezpečená sieťová komunikácia • Globálna dostupnosť služieb (<i>preferovaná</i>)
Systémy AI & Predpovede	Rozsiahla komunikácia medzi strojmi (M2M komunikácia)	<ul style="list-style-type: none"> • Vysoká priepustnosť • Nízka latencia • Striktne definované QoS • Zabezpečená sieťová komunikácia • Globálna dostupnosť služieb
Automatizácia a autonómia		

6. Štúdium aplikácie IoT do budúcej generácie inteligentných lietadiel

Všetky spomenuté príklady v tejto kapitole (pokročilý monitoring, automatická komunikácia, zdieľanie meteorologických dát, dynamické vytváranie letových plánov, a iné) zahŕňali inteligentné systémy lietadiel predstavujúce dynamicky adaptívnu štruktúru schopnú dosiahnuť určité vyššie úrovne automatizácie. Základné inteligentné schopnosti z veľkej časti umožňoval zber dát pomocou IoT, analýza dát s využitím jednoduchšej umelej inteligencie, a prediktívne modely obsahujúce simulačné techniky, s pomocou dátového spojenia, ktoré spĺňa požiadavky dané výskumom v predchádzajúcej kapitole.

7. Záver

Výsledkom výskumu je stanovenie troch skupín požiadaviek na dátovú komunikáciu budúcnosti.

Jedna skupina poukazuje na požiadavky z hľadiska plánov rozvoja manažmentu letovej prevádzky stanovených pomocou konceptu FCI a dvoch plánov rozvoja: European ATM Master Plan publikovaný spoločným podnikom SESAR a Global Air Navigation Plan publikovaný organizáciou ICAO. Požiadavky znejú nasledovne: IPS kompatibilita pre možné použitie ATN/IPS; Použitie IPv6 sieťového protokolu (+ možnosť VoIP); Zvýšená spôsobilosť a schopnosť siete v porovnaní s pôvodnými sieťami; Pokročilá interoperabilita; Integrovaná možnosť použitia spektra CNS na základe výkonnosti.

Druhá skupina požiadaviek bola vytvorená výskumom dominantných aspektov Aviation 4.0 v kapitole 4. Požiadavky znejú nasledovne: Vysokorýchlostná konektivita s nízkou latenciou; Vhodné QoS garantované poskytovateľom pripojenia; Vysoká úroveň zabezpečenia siete, garantovaná poskytovateľom pripojenia; Globálna dostupnosť konektivity a služieb.

Tretia skupina požiadaviek poukazuje na potrebu adekvátnej konektivity aj na základe poskytovania služieb pre cestujúcich, akou je pripojenie na internet. Požiadavky znejú nasledovne: Vysokorýchlostná konektivita – širokopásmové pripojenie typu NGA ako minimálna požiadavka, širokopásmové pripojenie typu UF je odporúčané; Spoľahlivosť a zabezpečená sieť oddelená od prevádzkových služieb a služieb zabezpečenia na hardvérovej alebo softvérovej úrovni; Globálna dostupnosť konektivity a služieb.

Schopnosti navrhovaného satelitného systému boli vyhodnotené v kapitole 3: IPS kompatibilná sieť, použite IPv6 sieťového protokolu; SATCOM výkonová trieda A; Globálna dostupnosť konektivity a služieb; Kombinácia s GNSS, poskytuje možnosť komunikácie aj hlásenia polohy; Širokopásmové pripojenie typu NGA – momentálne možné, širokopásmové pripojenie typu UF očakávané; Konektivita s nízkou latenciou; Dostupné vysokorýchlostné pripojenie môže byť poskytované aj cestujúcim.

Z teoretického hľadiska je táto technológia veľmi sľubná a spíňa všetky predchádzajúce požiadavky, ale v čase písania práce neboli dostupné potvrdené výsledky testovania a experimentov, ktoré by priamo dokazovali použiteľnosť navrhovaného satelitného systému s užívateľskými terminálmi v pohybe. Z dôvodu iba hypotetickej predpovede, nebolo možné fakticky určiť použiteľnosť systému v letectve. Preto daná hypotéza nemôže byť objektívne potvrdená ako pravdivá, a tak žiadny, ku dňu písania práce, z dostupných alebo navrhovaných dátových spojov lietadlo-zem neumožní vzájomne prepojenie inteligentných lietadiel v globálnom merítku v prostredí Aviation 4.0. Napriek nepotvrdenej hypotéze je prínos značný len zo samotného výskumu a výsledkov práce. Práca predstavuje iba úvod k rozsiahlejšej téme dátovej komunikácie a manažmentu v budúcnosti. Preto môže slúžiť na udávanie smeru pre budúce výskumy a práce zaoberajúce sa danou problematikou.

Referencie

[1] GOUDARZI, HOUMAN. Data science hype or ripe for aviation? International Air Transport Association (IATA),

June 2019. Aviation data - White paper series. <https://www.iata.org/contentassets/d72edc56c3814aac8ec508fdf8555a52/data-science-hype-or-ripe-for-aviation-white-paper.pdf>

- [2] CHUNGA, SAI-HO, et al. Data science and analytics in aviation.: Elsevier Ltd., January 27, 2020. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. DOI 10.1016/j.tre.2020.101837. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101837>
- [3] GOGO. The 2018 Global Traveler Research Study.: Gogo LLC, 2018. Global Traveler Research Study. <https://www.gogoair.com/learning-center/2018-global-traveler-research-study/>
- [4] GROUS, ALEXANDER. Chapter One – Quantifying the commercial opportunities of passenger connectivity for the global airline industry.: Inmarsat Global Ltd, Inmarsat Aviation, 2017. Sky High Economics. <https://www.inmarsat.com/en/insights/aviation/2017/the-skys-the-limit.html>
- [5] EUROCONTROL. Future communications infrastructure and multilink for the long term. Innovation, Research and Deployment. [Online] [Citované: April 10, 2021.] <https://www.eurocontrol.int/function/future-communications-infrastructure-and-multilink-long-term>
- [6] SESAR JOINT UNDERTAKING. European ATM Master Plan - Digitalising Europe's Aviation Infrastructure. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2020. ISBN 978-92-9216-135-4 PDF-ISBN 978-92-9216-134-7 DOI 10.2829/650097 PDF-DOI10.2829/695700
- [7] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION - ICAO. 2016–2030 Global Air Navigation Plan. Fifth Edition, Montréal, Canada : ICAO, 2016. Doc 9750-AN/963
- [8] VALDÉS, ROSA ARNALDO, et al. Aviation 4.0: More Safety through Automation and Digitization. : IntechOpen, March 9, 2018. DOI 10.5772/intechopen.73688. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73688>
- [9] AIRBUS. IoT: Aerospace's great new connector. Innovation. [Online] July 4, 2019. [Citované: April 22, 2021.] <https://www.airbus.com/newsroom/stories/iot-aerospace-great-new-connector.html>
- [10] BONNEAU, VINCENT and COPIGNEAUX, BERTRAND. Industry 4.0 in Aeronautics: IoT applications. [Document] s.l. : European Commission, June 2017. Digital Transformation Monitor. <https://ati.ec.europa.eu/reports/technology-watch/industry-40-aeronautics-iot-applications>
- [11] ŞAHIN, DIDEM RODOPLU, HAITMURODOV, UMEDJON AND TURAN, PINAR. Industry 4.0: Opportunities, Challenges of Airport and Airline Management Practices.: Future Academy, 2019. Joint Conference: 14th ISMC and 8th ICLTIBM-2018. eISSN 2357-1330 DOI 10.15405/epsbs.2019.01.02.48. <https://dx.doi.org/10.15405/epsbs.2019.01.02.48>

- [12] LĂZĂROIU, G., KLIESTIK, T. and NOVAK, A., 2021. Internet of things smart devices, industrial artificial intelligence, and real-time sensor networks in sustainable cyber-physical production systems. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 9(1), pp. 20-30.
- [13] Novák, A., Novák Sedlačková, A., Janovec, M., 2020. *Komunikačné systémy v letectve* EDIS - Žilina, Žilinská univerzita v Žiline, 2020, ISBN 978-80-554-1737-0

OPTIMISATION OF TURBOPROP AIRCRAFT OPERATIONS AS A MEANS TO REDUCE THEIR ENVIRONMENTAL FOOTPRINT

ENVIRONMENTÁLNE ASPEKTY PREVÁDZKY TURBOVRTUĽOVÝCH LIETADIEL

Lucia Števárová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
luckastevarova@email.com

Benedikt Badánik
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
benedikt.badanik@fpedas.uniza.sk

Abstract

This paper deals with the subject of optimisation of turboprop aircraft operations to decrease their environmental footprint. This aircraft category is not at the forefront of optimisation efforts of operators as it supplies lower volumes of traffic and is equipped with the most fuel-efficient technology for missions served on regional markets. The theoretical part of this paper details turboprop aircraft contributions to global CO₂ emissions and analyses aspects behind their efficient performance. Further, it provides a thorough assessment of the operational practices that can significantly reduce the environmental footprint of turboprop aircraft operations. For better illustration, some are exemplified in simple case studies. The practical part of this work aimed to quantify the effects of operational optimisation on turboprop aircraft. Based on the theoretical analysis, we established five operational adjustments whose effects can be determined using performance calculations. These calculations have been carried out using ATR 72-600 aircraft as a reference for a specified average turboprop flight. It was found that through operational adjustments, the fuel consumption on an average ATR 72-600 flight can be decreased on the order of 10%. The energy intensity of operations defined in CO₂ per revenue passenger kilometre could be nearly halved compared to actual values of the ATR 72-600 fleet.

Keywords

Optimisation, flight operations, efficiency, turboprop aircraft, CO₂ emissions

1. Úvod

Turbovrtuľové lietadlá sú súčasťou leteckej dopravy, ktorá je celkovo zodpovedná za 2% emisií oxidu uhličitého (CO₂) ročne vypustených do atmosféry [1]. Jej dopady však majú oveľa ďalekosiahlejšie účinky, keďže, okrem CO₂ je letectvo zdrojom ďalších skleníkových plynov, ktoré sa dostávajú do atmosféry v jej horných vrstvách. Keďže výrazný rast leteckej prepravy je očakávaný i v nasledujúcich rokoch (3% ročný rast po Covid-19 kríze do roku 2050 [2]) a v súčasnosti chýba alternatívny typ pohonu, znižovanie emisií z tohto odvetvia má kritickú úlohu v dosiahnutí globálnych klimatických cieľov [3].

V súlade s nutnosťou zamedzovania environmentálnych dopadov leteckej dopravy, sa v tejto diplomovej práci osobitne zameriavame na kategóriu turbovrtuľových lietadiel. Tento typ má zásadnú úlohu v komerčnej leteckej doprave, hlavne pri obsluhu regionálnych trhov. V súčasnosti je prevádzkovaných približne 2132 turbovrtuľových lietadiel, čo predstavuje 9% globálnej flotily [4].

Analýza dostupnej literatúry poukázala na to, že optimalizácia prevádzky turbovrtuľových lietadiel nie je predmetom rozsiahleho výskumu a z tohto dôvodu bola zvolená ako vhodná náplň tejto práce. Osobný záujem autorky ako aj odborná skúsenosť v tejto problematike motivovali rozšírenie poznatkov na túto tému v rámci diplomovej práce.

Hlavným účelom práce je definovať vhodné prevádzkové úpravy pre turbovrtuľové lietadlá, ktoré by priniesli vyššiu úspornosť a

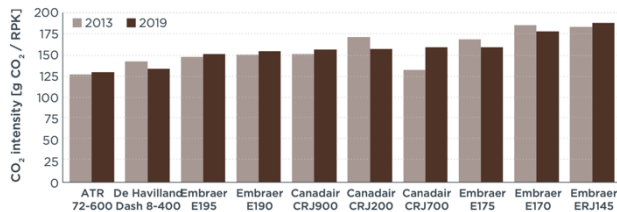
tým zníženie emisií CO₂. Táto forma znižovania emisií, je tiež jednou z iniciatív na zníženie emisií Medzinárodnej Organizácie Civilného Letectva (ICAO) [5]. V praktickej časti práce je cieľom určiť dosiahnuteľné úspory optimalizáciou vybraných prevádzkových parametrov. Na záver, porovnávame rozdiel medzi neoptimalizovaným a optimalizovaným letom a dosiahnuteľné úspory sú nasledovne vymedzené vzhľadom na ročnú prevádzku.

2. Prehľad súčasného stavu

Emisie CO₂ pochádzajúce z regionálnej leteckej dopravy (zahŕňa turbovrtuľové ako aj regionálne prúdové lietadlá) zodpovedajú 6% z celkových emisií komerčnej leteckej prepravy [6]. Podľa analýzy International Council for Clean Transportation (ICCT) vzrástla úspornosť regionálnej prepravy medzi rokmi 2013 a 2019 iba o 3% [6], čo je štyrikrát menej ako pre lietadlá na krátkych a dlhých tratiach. To naznačuje, že táto kategória nie je nevyhnutne v popredí optimalizačného úsilia prevádzkovateľov.

V súčasnosti je trh turbovrtuľových regionálnych lietadiel zastúpený najmä dvomi modelmi - ATR 72-600 a De Havilland Canada DHC-8-400, obe v 70-miestnej sedacej kategórii. Z pomedzi regionálnych lietadiel tieto dva modely patria do prvej desiatky najviac znečisťujúcich regionálnych lietadiel (podľa celkového objemu vyprodukovaných emisií) [6] a v globálnom merítku boli zodpovedné za 0,36% (ATR 72-600) a 0,43% (DHC-8-400) emisií CO₂.

CO₂ intenzita prevádzky turbovrtuľových lietadiel (daná objemom emisií CO₂ (v gramoch) generovaných na výnosový osobokilometer (RPK)) je najnižšia spomedzi regionálnych lietadiel. ATR 72-600 v priemere vygenerovalo približne 127 g na výnosový osobokilometer, kým DHC-8-400 130 g, ako je možné pozorovať na Obrázok. Táto hodnota je priamo ovplyvnená mierou obsadenosti lietadla, keďže množstvo emisií je rozrátané na počet cestujúcich. Tento parameter zostáva ako významný aspekt optimalizácie.



Obrázok 1: CO₂ intenzita regionálnych lietadiel v rokoch 2013 a 2019. Zdroj: [6].

3. Technické špecifikácie turbovrtuľových lietadiel a ich dopad na prevádzku

Úspornosť prevádzky turbovrtuľových lietadiel je do významnej miery ovplyvnená parametrami ako hmotnosť lietadla, spotrebou pohonnej jednotky vzhľadom k dodanému ťahu alebo sile, a aerodynamikou. Tieto parametre sú definované najmä dizajnom a v teoretickej časti práce ich podrobnejšie analyzujeme pre turbovrtuľové lietadlá.

Je vhodné vyzdvihnúť že za efektívnym výkonom turbovrtuľových lietadiel stojí hlavne ich turbovrtuľový pohon. Jadro motora je založené na rovnakom princípe ako tryskový motor avšak turbovrtuľový motor využíva väčšinu ťahu na pohon kompresora a vrtule [7]. Vrtuľa, ktorá je umiestnená mimo krytu motora, umožňuje akcelerovať podstatne väčší objem vzduchu za menší tepelný výkon ako napríklad turbodúchadlový motor s veľkým obtokovým pomerom. Z tohto dôvodu je špecifická spotreba paliva nižšia rádovo o 10-30% ako u prúdových motorov [8].

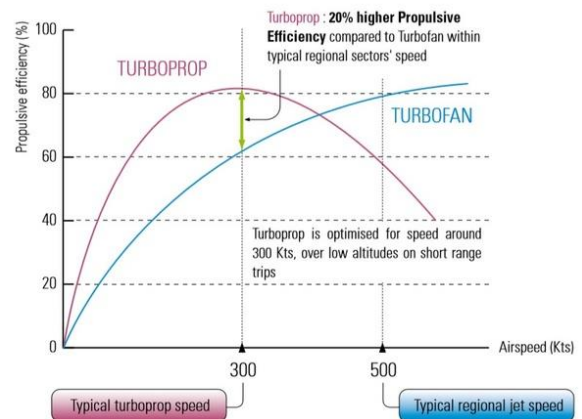
Účinnosť vrtule klesá s rýchlosťou letu a so zvyšovaním nadmorskej výšky, čo obmedzuje činnosť turbovrtuľového motora pod rýchlosť Mach 0,7 (450 uzlov) a nadmorskú výšku do 25 000 stôp [8]. Pri cestovných rýchlostiach okolo 300 uzlov sú turbovrtuľové lietadlá zhruba o 20% účinnejšie v porovnaní s prúdovými lietadlami na typických regionálnych letoch, ako vidieť na Obrázok [9].

Po stránke konštrukčnej efektívnosti (ktorá je hodnotená na základe pomeru prázdnej prevádzkovej hmotnosti (OEW) a maximálnej vzletovej hmotnosti (MTOW)) môžeme konštatovať, že turbovrtuľové lietadlá sú menej efektívne ako lietadlá s úzkym trupom. Je to najmä z dôvodu hmotnosti pohonnej jednotky, ktorá je výrazne väčšia (kvôli prevodovke a mechanizmu zmeny sklonu vrtule) vzhľadom ku dodávanej sile [8]. Aerodynamická efektívnosť, ktorá je daná pomerom vztaku ku odporu lietadla, je u turbovrtuľových lietadiel zrovnateľná s ostatnými typmi moderných lietadiel [8].

Turbovrtuľové lietadlá sú taktiež všestrannejšou voľbou, pretože sa lepšie hodia do náročných prevádzkových podmienok, ako sú horúce a vysoko umiestnené letiská, extrémne studené

podmienky alebo krátke a nespevnené dráhy [10]. Vďaka týmto vlastnostiam sa dajú použiť na menších regionálnych letiskách. Pre porovnanie, z viac ako 3 800 komerčných letísk sa 36% spolieha výlučne na turbovrtuľové lietadlá [11].

Napriek evidentnej efektívnosti turbovrtuľovej kategórie lietadiel na regionálnych tratiach, zámerom tejto práce bolo určiť, či sú dodatočné úspory dosiahnuteľné. V nasledujúcej časti práca skúmala prevádzkové postupy, ktoré by mohli prispieť k zvýšenej efektívnosti turbovrtuľových lietadiel.



Obrázok 2: Účinnosť turbovrtuľového lietadla v porovnaní s prúdovým lietadlom. Zdroj: [9].

4. Analýza vhodných operačných zlepšení pre turbovrtuľové lietadlá

Najefektívnejším spôsobom znižovania emisií CO₂ z prevádzky je minimalizáciou spotreby na danom lete, keďže emisie CO₂ sú generované proporcionálne k spotrebe paliva [12]. Dosiagnutá úspornosť je často výsledkom súčtu viacerých prevádzkových zmien s menším účinkom, ktoré sčítaním, majú za následok podstatné úspory pre prevádzkovateľov. Je dôležité poznamenať, že optimalizácia jednotlivých letových parametrov nemôže za žiadnych okolností ohroziť bezpečnosť letu [12].

V tejto časti sme sa zamerali na dva najvýznamnejšie modely turbovrtuľových lietadiel ATR 72-600 a DHC-8-400. Jednotlivé optimalizačné úsilie sme rozdelili do štyroch kategórií, ktoré sú stručne opísané v tejto časti.

4.1. Optimalizácia letového plánu a paliva

Fáza plánovania letu ponúka možnosť vyhodnotiť optimálnu letovú trasu, letovú hladinu, cestovnú rýchlosť, poveternostné podmienky a optimalizovať množstvo paliva potrebného pre let. V tejto fáze je tiež dôležité vziať do úvahy obmedzenia manažmentu letovej prevádzky, výkonové charakteristiky lietadla, dopady optimalizácie na dobu trvania letu a hospodárnosť jednotlivých úprav.

Ako príklad optimalizácie jedného z týchto faktorov uvádzame cestovnú letovú hladinu. Optimálna letová hladina je, podľa definície, nadmorská výška, ktorá poskytuje maximálny špecifický dolet pre danú hmotnosť lietadla [13].

Let vo vyšších letových hladinách má za následok nižší odpor vzduchu keďže hustota atmosféry klesá s nadmorskou výškou a tak poskytuje lepší špecifický dolet. Optimálna cestovná výška v prevádzke sa však môže líšiť v dôsledku rôznej hmotnosti

lietadla, dĺžky sektoru, rýchlosti letu, atmosférických podmienok (rýchlosti a smeru vetra, teploty okolitého vzduchu) a obmedzení ATC. Keďže turbovrtuľové lietadlá lietajú vo výškach okolo 20000 stôp, pravdepodobnosť stretnutia sa s nepriaznivými atmosférickými podmienkami (hmla, zrážky, mrznúce podmienky a nebezpečné typy oblakov), je výrazne väčšia, čo môže nepriaznivo ovplyvniť množstvo príležitostí na optimalizáciu ich prevádzky.

Na ilustráciu Tabuľka zobrazuje zmenu špecifický dolet so zmenou letovej hladiny. Príklad berie do úvahy ATR 72-600 s hmotnosťou 21 000 kg (zmeny hmotnosti lietadla v priebehu celého letu nie sú vzaté do úvahy).

Tabuľka 1: Špecifický dolet pre ATR 72-600 (21 000 kg) Zdroj: Vytvorené autorom]

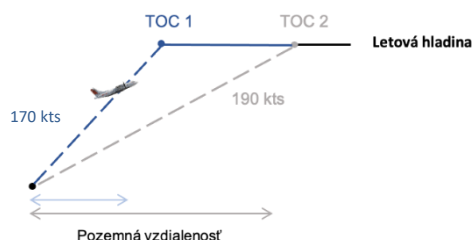
ATR 72-600	FL140	FL 160	FL 180	FL 200	FL 220
SAR (NM/kg)	0.3146	0.3270	0.3409	0.3572	0.3731

4.2. Optimalizácia za letu

Výkonové nastavenia v jednotlivých fázach letu poskytujú príležitosti k optimalizácii. Pre turbovrtuľové lietadlá to zahŕňa minimalizáciu použitia pomocnej pohonnej jednotky (APU) (DHC-8-400) alebo funkcie ‚Hotel Mode‘, ktorá nahrádza APU u ATR 72-600, možnosť rolovania po pristátí iba s jedným motorom (taxi-in), optimalizáciu rýchlosti stúpania, a tiež uhla a rýchlosti klesania. Ostatné parametre, ktoré boli zahrnuté v predchádzajúcej sekcii majú vplyv na optimalizáciu cestovnej časti letu v danej letovej hladine.

Na ilustráciu uvádzame možnosti na zvýšenie efektivity vo fáze stúpania. Táto fáza je energeticky najintenzívnejšia fáza letu a preto vhodné nastavenie rýchlosti stúpania môže priaznivo ovplyvniť spotrebu počas letu.

Vyššie nastavenie rýchlosti stúpania má za následok menej strmý profil a dlhšiu pozemnú vzdialenosť na dosiahnutie letovej hladiny (vrchol stúpania je označený bodom Top of Climb -TOC) a tiež celkovo rýchlejší letový výkon. Na druhej strane, nižšie nastavenie rýchlosti by malo za následok vyšší sklon stúpania a letová hladina je dosiahnutá v kratšej pozemnej vzdialenosti, čo je zobrazené na Obrázok.



Obrázok 3: Profily stúpania. Zdroj: Autori.

Napríklad operačný manuál ATR 72-600 uvádza výkony pre dve uvedené nastavenia rýchlosti - 170 a 190 uzlov [14]. Pre správne určenie výkonu pri rôznych rýchlostných nastaveniach je potrebné zhodnotiť výkony za rovnakú vzdialenosť, čo môže byť napríklad po spoločný bod TOC 2. Efekty týchto nastavení sú určené v praktickej časti práce.

4.3. Údržba lietadla

Dobrá stav motora, systémov a konštrukcie lietadla je dôležitým predpokladom dosiahnutia maximálnej palivovej účinnosti lietadla. V tejto časti zdôrazňujeme aspekty údržby lietadla, ktoré majú priamy vplyv na spotrebu paliva modelov ATR 72-600 a DHC-8-400.

- Odbavenie lietadla podľa Zoznamu Minimálneho Vybavenia a Zoznamu Odchýlok Konfigurácie
- Údržba draku lietadla
- Údržba motora

Na záver kapitoly diskutujeme doplnkové iniciatívy, ktoré môžu pomôcť prevádzkovateľom zvýšiť ich efektívnosť prostredníctvom vedomého zapojenia posádok do zvyšovania úspornosti a tiež prostredníctvom použitia metódy umývania lietadla, ktorá má výrazne menšie environmentálne dopady.

5. Aplikácia - Návrh na optimalizáciu prevádzky turbovrtuľových lietadiel vzhľadom na ich spotrebu paliva a emisií CO₂

5.1. Metodika

Z analýzy vykonanej v teoretickej časti, sme definovali päť prevádzkových úprav, ktorých efekt bolo možné určiť pomocou výkonnostných výpočtov. Praktická časť tejto práce sa zamerala na ich číselné vyjadrenie. Tieto úpravy sa týkali:

- Hmotnosti lietadla
- Rýchlosti stúpania
- Letovej hladiny
- Cestovnej rýchlosti
- Rýchlosti a sklonu zostupu

Na vykonanie výpočtov bolo nevyhnutné vytvoriť jednotný postup, ktorý by zabezpečil porovnateľnosť výsledkov. Z tohto dôvodu sme definovali tzv. štandardný let, ktorý reprezentuje typický let turbovrtuľového lietadla na regionálnej trase. Tento let slúžil ako referencia pre aplikáciu prevádzkových postupov s cieľom optimalizácie.

Pre analýzu sme zvolili jeden model lietadla, a to konkrétne ATR 72-600. Iné typy turbovrtuľových lietadiel (ako napríklad DHC-8-400) neboli zahrnuté najmä z dôvodu rozsahového obmedzenia práce. Informácie týkajúce sa výkonu ATR 72-600 použité v praktickej časti pochádzali zo zdrojov výrobcu (napr. Operačný manuál – FCOM [14]). Kapacita lietadla použitá v tejto štúdii bola 72 miest, čo predstavuje štandardné rozmiestnenie kabíny pre tento variant.

Na výpočty sme použili databázu Eurocontrol (BADA), verziu 3.14. BADA umožnila vykonanie výpočtov, ktoré odpovedajú výkonnostným údajom od výrobcu lietadla. Táto databáza bola sprístupnená akademickému personálu Žilinskej Univerzity. Výpočty boli vykonané v dvoch krokoch, v prvom rade ako čiastková analýza jednotlivých letových parametrov a následne ako celková optimalizácia letu. Výsledky z prvej časti pomohli identifikovať najúčinnejšie nastavenia, ktoré boli následne zvolené pre optimálny let.

5.1.1. Štandardný let – definícia

Dĺžka letu: 300 NM alebo 556 km zodpovedajúca priemernej dĺžke regionálnych letov [6].

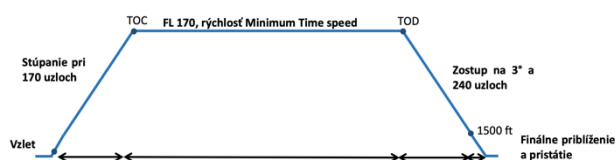
Vzletová hmotnosť lietadla: Užitočné zaťaženie bolo definované predpokladajúc váhu 97 kg na pasažiera podľa EASA AMC1 CAT.POL.MAB.100(e) (EASA, 2016) a faktor zaťaženia rovnajúci sa 100% a 78% pre dva rôzne varianty výpočtu. Množstvo celkového paliva bolo definované rešpektujúc požiadavky predpisov EASA AMC1CAT.OP.MPA.150(b) (EASA, 2016), a zahŕňalo palivo na vykonanie letu a požadované rezervy. Výsledná vzletová hmotnosť pre štandardný let s plnou obsadenosťou bola 21 940 kg, kým pre let so 78% obsadenosťou 20 368 kg.

Atmosférické podmienky: Štandardný let ako aj ostatné scenáre zahrnuté v analýze brali do úvahy podmienky medzinárodnej štandardnej atmosféry (ISA) s nulovou odchýlkou. Vietor ani mrznúce podmienky neboli súčasťou analýzy. Nadmorská výška pôvodného a cieľového letiská bola 0 ft.

Prevádzkové parametre: Prevádzkové parametre pre každú fázu štandardného letu boli definované pomocou predvolených hodnôt z operačného manuálu ATR 72-600:

- Vzletová hmotnosť = 21940 kg
- Stúpanie: začiatok pri 0 ft, rýchlosť 170 uzlov
- Let v hladine FL170 pri rýchlosti definovanej ako minimum time speed (najvyššie rýchlostné nastavenie v bežnej prevádzke)
- Rýchlosť a sklon zostupu: 240 uzlov pri 3°, od letovej hladiny až po 1500 ft

Fázy vzletu a tiež finálneho priblíženia a pristátia sú rátané do celkového trvania a dĺžky letu. Všetky fázy letu majú spolu 300 NM a spotreba paliva zahŕňa všetky tieto fázy letu. Ostatné časti letu (pred a po pristátí) neboli súčasťou optimalizácie. Profil definovaného štandardného letu je zobrazený na Obrázok.



Obrázok 4: Letový profil štandardného letu. Zdroj: Autori.

5.2. Výsledky analýzy optimalizácie jednotlivých parametrov

V tejto časti uvádzame dva konkrétne prípady optimalizácie jednotlivých letových parametrov.

5.2.1. Optimalizácia hmotnosti lietadla

V rámci tejto časti sme skúmali ako sa zníženie hmotnosti lietadla prejaví na celkovej spotrebe a následne sme výsledok porovnali so štandardným letom ako bol definovaný v 5.1.1. V tomto prípade išlo o optimalizáciu hmotnosti lietadla o 200 kg prostredníctvom výmeny sedadiel za novší, ľahší model. Ostatné parametre letu zostali nezmenené.

Na základe výsledkov prezentovaných v Tabuľka, je možné pozorovať, že 0.9% zníženie hmotnosti odpovedá 0.2% zníženiu

Tabuľka 2: Optimalizácia hmotnosti lietadla Zdroj: Vytvorené autorom s použitím databázy BADA.

ATR 72-600	Vzletová hmotnosť (kg)	Letový čas	Spotrebované palivo (kg)	Vzdialenosť (NM)
Štandardný let	21940	1 hour 13 min	904	300
Let s optimalizovanou hmotnosťou	21740	1 hour 13 min	902	300
Rozdiel (%)	-0,9%	-	-0,2%	0,0%

spotreby po celej dĺžke letu. Toto naznačuje, že vplyv hmotnosti na spotrebu za letu je menej výrazný.

5.2.2. Optimalizácia stúpania

V tejto časti sme skúmali dopad na spotrebu celkového letu dvoch vyšších rýchlostných nastavení – 180 uzlov a 190 uzlov a porovnávali ich so štandardným nastavením 170 uzlov.

Najvyššie nastavenie rýchlosti (190 uzlov) sa odrazilo na najnižšej spotrebe paliva na celkovom lete ako je možné vidieť v Tabuľka. V porovnaní so štandardným nastavením dodalo 1,1% zníženie spotreby a 1-minútové zníženie času letu. Nastavenie rýchlosti na 180 uzlov malo tiež za následok nižšiu spotrebu paliva, avšak v menšej miere. Podľa výsledkov analýzy, rýchlosť 190 uzlov bola zvolená ako vhodné nastavenie pre optimalizáciu celkového letu.

Tabuľka 3: Optimalizácia rýchlosti stúpania Zdroj: Vytvorené autorom s použitím databázy BADA.

ATR 72-600	Vzletová hmotnosť (kg)	Letový čas	Spotrebované palivo (kg)	Vzdialenosť (NM)
Štandardný let (170 uzlov)	21940	1 hour 13 min	904	300
180 kts	21940	1 hour 13 min	900	0
190 kts	21940	1 hour 12 min	894	0
Rozdiel 170 kts/190 kts (%)	0,0%	- 1 min	-1,1%	-100,0%

5.3. Výsledky celkovej optimalizácie letu

V tejto časti analýzy sme aplikovali všetky vhodné prevádzkové úpravy za účelom dosiahnutia najoptimálnejšieho letu. Tie zahŕňali:

- Zníženie hmotnosti o 200 kg
- Rýchlosť stúpania 190 uzlov
- Letová hladina FL 200
- Cestovná rýchlosť v nižšom nastavení
- Zostup pri 3°, a rýchlosti 220 uzlov

Tabuľka 4: Výsledky celkovej optimalizácie letu. Zdroj: Vytvorené autorom s použitím databázy BADA.

ATR 72-600	Vzletová hmotnosť (kg)	Letový čas	Spotrebované palivo (kg)	Vzdialenosť (NM)
Štandardný let	21940	1 hour 13 min	904	300
Optimalizovaný let	21740	1 hour 17 min	801	300
Rozdiel	-200	4 min	-103	0
Rozdiel (%)	-0,9%	5,5%	-11,4%	0,0%

Optimalizovaný let sme následne porovnali so štandardným letom so 100% ako aj 78% faktorom zaťaženia z dôvodu presnejšieho porovnania s hodnotami v reálnej prevádzke.

Tabuľka predstavuje výsledky optimalizovaného prípadu v porovnaní so štandardným letom s LF = 100%. Aplikácia upravených parametrov na optimalizovanom lete viedla k zníženiu spotreby paliva až o 11,4%, čo je pomerne významná

hodnota. Optimalizovaný let je len o 4 minúty dlhší v porovnaní so štandardným letom.

Druhý scenár porovnáva štandardný let so 78% obsadenosťou s optimalizovaným letom. Nižšia obsadenosť sa odrazila na menšej vzletovej hmotnosti (menšia o 1372 kg) a následne aj spotrebe (nižšia o 19 kg). V porovnaní s týmto scenárom, optimalizovaný let dosiahol o 9,5% lepšiu spotrebu paliva za 5 minútový nárast letového času ako je možné vidieť v Tabuľka.

Tabuľka 5: Výsledky celkovej optimalizácie letu Zdroj: Vytvorené autorom s použitím databázy BADA.

ATR 72-600	Vzletová hmotnosť (kg)	Letový čas	Spotrebované palivo (kg)	Vzdialenosť (NM)
Štandardný let (LF = 78%)	20368	1 hour 12 min	885	300
Optimalizovaný let	21740	1 hour 17 min	801	300
Rozdiel	1372	5 min	-84	0
Rozdiel (%)	6,7%	6,9%	-9,5%	0,0%

Výsledky optimalizácie boli ďalej vyhodnotené vzhľadom na intenzitu prevádzky. V tejto časti bolo najdôležitejším porovnanie optimalizovaného letu s letom s nižšou obsadenosťou. **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** poskytuje hodnoty spotrebovaného paliva, emisií vyprodukovaných počas letu dĺžky 556 km ako aj emisií na pasažiera na jeden kilometer. Posledný indikátor poukazuje na to, že CO₂ intenzita prevádzky sa optimalizáciou znížila o 27 gramov na pasažiera na kilometer, čo predstavuje 30% zlepšenie v porovnaní so štandardným letom s LF=78%. Je vhodné poznamenať, že podľa informácií uvedených v časti 2, je CO₂ intenzita v prevádzke ešte vyššia (127 g/Pax/km). Výsledky tejto časti analýzy naznačujú, že faktor zaťaženia hrá významnú úlohu v optimalizácii energetickej intenzity prevádzky a mal by byť zohľadnený pri celkovej optimalizácii.

V poslednom kroku sme určili ročné úspory vzhľadom na spotrebu paliva ako aj CO₂ emisie za predpokladu 2000 vykonaných letov za rok. Porovnávajúc štandardný let so 78% obsadenosťou a optimalizovaný let, ročné úspory môžu dosiahnuť 168 ton paliva a zamedziť vypusteniu 531 ton CO₂ do atmosféry ako je zobrazené v Tabuľka.

Tabuľka 6: Efekty optimalizácie na emisie CO₂ a CO₂ intenzitu prevádzky Zdroj: Vytvorené autorom s použitím databázy BADA.

ATR 72-600	Spotrebované palivo (kg)	CO ₂ emisie (kg)	Emisie/pax/km (g)
Štandardný let (LF = 78%)	885	2797	90
Optimalizovaný let	801	2531	63
Rozdiel	84	-266	-27
Rozdiel (%)	9,5%	-9,5%	-30,0%

Tabuľka 7: Výsledky optimalizácie letu na jeden rok. Zdroj: Vytvorené autorom s použitím databázy BADA.

ATR 72-600	Spotrebované palivo za rok (t)	Emisie za rok (t)
Štandardný let (LF = 78%)	1770	5593
Optimalizovaný let	1602	5062
Rozdiel	-168	-531
Rozdiel (%)	-9,5%	-9,5%

5.3.1. Diskusia

V praktickej časti tejto diplomovej práce navrhujeme úpravu piatich prevádzkových parametrov, ktoré môžu zaistiť až 11,4% pokles spotreby paliva a emisií CO₂. Okrem toho analýza ukazuje, že optimalizácia faktora zaťaženia zohráva významnú úlohu pri znížení CO₂ intenzity na jednotku výstupu (jeden cestujúci).

Podľa daných výsledkov vyvodzujeme, že najoptimálnejší výkon je zaručený úpravou letových parametrov ako aj maximalizáciou obsadenosti lietadla. Analýza úspešne preukázala, že optimalizácia prostredníctvom prevádzkových úprav je efektívna aj pre najúspornejšie lietadlo vo svojej kategórii.

Je vhodné poznamenať, že napriek tomu, že analýza prezentovaná v praktickej časti diplomovej práce bola vytvorená s cieľom, čo najbližšie reprezentovať typický let turbovrtulového lietadla, existujú možné rozdiely s reálnou prevádzkou. Aplikácia jednotlivých úprav prezentovaných v práci môže podliehať špecifickým podmienkam prevádzky jednotlivých operátorov, ale aj atmosférickým a environmentálnym podmienkam. Z tohto dôvodu sa rozsah uplatnenia jednotlivých úprav ako aj dosiahnutých úspor môže líšiť. To isté platí pre optimalizovaný faktor zaťaženia, keďže v prevádzke je náročné dosiahnuť priemernú hodnotou blížiacu sa k 100%.

Táto analýza bola limitovaná, použitým softvérom ako aj obmedzeným rozsahom, ktorý zahŕňal iba jeden typ lietadla.

6. Záver

Predmetom skúmania tejto práce boli environmentálne aspekty prevádzky turbovrtulových lietadiel. Táto kategória lietadiel nie je v popredí optimalizačného úsilia operátorov, pretože je zodpovedná za menšie prepravné objemy, a zároveň je vybavená najefektívnejšou technológiou vzhľadom na svoje určenie pre regionálny trh.

Ako vyplýva z analýzy vykonanej v rámci tejto diplomovej práce, environmentálna stopa turbovrtulového lietadla môže byť minimalizovaná starostlivým vyhodnotením vhodných prevádzkových postupov a optimalizáciou ich prevádzky, kde rozsah dosiahnuteľných úspor je rádovo 10%. V súvislosti s naliehavou potrebou obmedziť emisie CO₂ leteckej dopravy, takéto úspory poskytujú dôležitý prínos k cieľom stanovených samotným odvetvím.

Autori veria, že výskum vykonaný v tejto diplomovej práci objasnil možnosti optimalizácie prevádzky turbovrtulových lietadiel. Optimalizačné príležitosti sú významné a pohybujú sa od plánovania letu až po údržbu lietadla. Dodatočný výskum ich použitia u prevádzkovateľov by mohol poskytnúť cenný prehľad o reálnych úsporách v prevádzke. Výskum má ďalší potenciál, byť rozšírený aj o iné typy lietadiel.

PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov, kód ITMS 313011V465, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- [1] ICAO: Aircraft Engine Emissions [Online]. Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/aircraft-engine-emissions.aspx>. [Cit. 16 March 2021].
- [2] ATAG: Waypoint 2050 [Online]. Available: https://aviationbenefits.org/media/167187/w2050_full.pdf. [Cit. 22 March 2021].
- [3] NLR, SEO: Destination 2050; A Route To Net Zero European Aviation 2021.
- [4] Oliver Wyman: Global fleet and MRO market forecast 2021-2031 [Online]. Available: <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2021/jan/global-fleet-and-mro-market-forecast-2021-2031.html>. [Cit. 7 April 2021].
- [5] ICAO: Introduction to the ICAO Basket of Measures to Mitigate Climate Change [Online]. Available: https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019_pg111-115.pdf. [Cit. 16 March 2021].
- [6] GRAVER, B.; RUTHERFORD, D.; ZHENG, S.: CO2 emissions from commercial aviation 2013, 2018, and 2019 [Online]. Available: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/CO2-commercial-aviation-oct2020.pdf>. [Cit. 24 March 2021].
- [7] NASA: Turboprop Engine, [Online]. Available: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/Animation/turbtyp/etpm.html>. [Cit. 21 April 2021].
- [8] BABIKIAN, R. The historical fuel efficiency characteristics of regional aircraft from technological, operational, and cost perspectives. In *Journal of Air Transport Management*, ISSN 0969-6997, 2002. p. 389-400
- [9] CASCONI, L.: L'evoluzione nel tempo dei sistemi Propulsivi [Online]. Available: http://www.aeropolis.it/workshop2018/Seminario%202018%20-9%20giugno/DocumentazionePresentazioni/Evoluzione%20dei%20sistemi%20propulsivi%2009_06_18.pdf. [Cit. May 7 2021].
- [10] FORMICA, M. 2019. *Regional Marketing ENAC - study materials*, Toulouse , 2019.
- [11] ATR: Connecting the future, turboprop market forecast 2018-2037 [Online]. Available: https://1tr779ud5r1jg938wedppw-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2020/09/2018-MarketForecast_Digital.pdf. [Cit. 31 March 2021].
- [12] ICAO: Doc 10013 - Operational Opportunities to Reduce Fuel Burn and Emissions [Online]. Available: <http://www.icssc.org.cn/upload/file/20190102/Doc.10013-EN%20Operational%20Opportunities%20to%20Reduce%20Fuel%20Burn%20and%20Emissions.pdf>. [Cit. 28 March 2021].
- [13] MARCHAND B., *IATOM 18 - Flight Operations*, Toulouse : ENAC, 2019.
- [14] ATR: ATR Flight Crew Operating Manual [Online]. Available: <http://www.737ng.co.uk/atrf2fcom.pdf>. [Cit. 3 May 2021].
- [15] EASA: Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex IV - Part-CAT [Online]. Available: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Consolidated%20unofficial%20AMC%26GM_Annex%20IV%20Part-CAT.pdf. [Cit. 17 May 2021].

